

ВИСША АТЕСТАЦИОННА КОМИСИЯ
СПЕЦИАЛИЗИРАН НАУЧЕН СЪВЕТ
ПО МЕХАНИКА, МЕТАЛОЗНАНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОЗНАНИЕ
РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ”

маг. инж. Николай Тодоров Станков

РАЗРАБОТВАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА КОМБИНИРАНИ ИНСТРУМЕНТИ ЗА
ОБРАБОТВАНЕ НА РЕЗБОВИ ОТВОРИ

АВТОРЕФЕРАТ

На дисертация за присъждане на образователната и научна степен
„ДОКТОР”

Научна специалност:

02.01.13. Рязане на материалите и режещи инструменти

Научен ръководител:

проф. д-р инж. Велико Колев Иванов

Рецензенти:

1.
2.

Русе
2010 г.

Дисертационния труд е обсъден и насочен за защита от обединено научно звено, формирано от хабилитирани специалисти и катедра ТММРМ, на Русенски университет „Ангел Кънчев“, на 17.06.2010 г.

Докторантът е зачислен в редовна докторантура към катедра ТММРМ при Русенски университет „Ангел Кънчев“.

Изследванията по дисертационния труд са извършени в катедра ТММРМ.

Автор: маг. инж. Николай Тодоров Станков

Заглавие: Разработване и изследване на комбинирани инструменти за обработване на резбови отвори

Тираж: 70 бр.

Печатна база при Русенски Университет „Ангел Кънчев“

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

1. АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА.

Формирането на вътрешни резби е трудоемък технологичен процес, реализиращ се в последно време с нови конструкции комбинирани инструменти. Това високопроизводително формообразуване на вътрешни резби в глухи и светли отвори на корпусни детайли става възможно чрез използване възможностите на обработващите центри с ЦПУ с три и повече управляеми оси, осигуряващи сложна траектория на относителното движение на инструмента и обработвания детайл. За разлика от обработването с размерен инструмент, освен главното и подавателното осово движение се извършва и ротационно формообразуващо движение.

Комбинираните инструменти се използват за цялостната обработка на резбовите отвори, като процесът включва преходите свредловане на отвор, формиране на фаска и формообразуване на вътрешна резба чрез фрезозане. Комбинирането на различните преходи води до значително увеличаване на производителността и ефективността на обработването, при постигане на висока точност и значително намаляване на машинните времена. Също така при евентуално разрушаване, комбинираният инструмент лесно се отстранява и заменя с друг без обработваното изделие да се повреди необратимо.

Поради тези причини, използването на комбинирани инструменти за обработване на резбови отвори е актуално за много фирми, работещи в областта на машиностроенето.

2. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.

Целта на дисертационния труд е повишаване на ефективността на обработващите центри с ЦПУ при обработване на резбови отвори чрез разработване и използване на комбинирани инструменти.

За постигане на целта се решават следните основни задачи:

- 1. Разработване на методика за конструиране на комбинирани инструменти за обработване на резбови отвори.**
- 2. Изследване на технологичните и конструктивните грешки при фрезозане на вътрешни резби.**
- 3. Анализиране на движенията, извършвани от комбинираните инструменти и разработване на подходящи варианти на технологични схеми за обработване на резбови отвори.**
- 4. Разработване на технология за обработване на резбови отвори с комбинирани инструменти.**
- 5. Провеждане на експериментални изследвания за определяне на силовото натоварване на комбинираните инструменти.**
- 6. Изследване на напрегнато-деформираното състояние на комбинираните инструменти.**

3. НАУЧНА ЗНАЧИМОСТ И НОВОСТ.

Разработена е методика и са изведени зависимостите за определяне на конструктивните и геометричните параметри на комбиниран инструмент за обработване на резбови отвори.

Разработена е програма на *Microsoft Office Excel*, за автоматизирано пресмятане на конструктивните и геометричните параметри на комбинирания инструмент.

Разработени са нови конструкции комбинирани инструменти за формообразуване на вътрешни резби, създадени са методики за определяне на

конструктивните и геометричните им параметри и чрез CAD системата *SolidWorks* е разработена конструктивната им документация.

Разработен е нов аналитичен метод за определяне на профила на инструменталната повърхнина на фрези за фрезозане на вътрешни резби.

Разработен е нов графичен метод чрез CAD системата *SolidWorks*, за определяне на профила на инструменталната повърхнина на фрези за фрезозане на вътрешни резби.

Разработен е нов графичен метод чрез CAD системата *SolidWorks*, за определяне влиянието на различни конструктивни параметри, върху профила на инструменталната повърхнина на фрези за фрезозане на вътрешни резби.

4. ПРАКТИЧЕСКА ПОЛЕЗНОСТ И ПРИЛОЖИМОСТ.

Разработени са варианти на технологичните схеми на обработване на резбови отвори и формообразуване на вътрешни резби с комбинирани инструменти.

Разработена е технология за обработване на резбови отвори с комбинирани инструменти.

Чрез експериментални изследвания е определено влиянието на диаметъра, стъпката и дължината на вътрешната резба, както и на елементите на режима на рязане върху момента и силата на рязане, които възникват при фрезозане на вътрешни резби.

Чрез числен експеримент е определено влиянието на определени конструктивни параметри върху изменението на еквивалентните напрежения и преместванията на конструкцията на комбинирания инструмент.

5. АПРОБАЦИЯ НА РАБОТАТА

Основните резултати, получени при разработване на дисертацията, както и отделни части от дисертацията, са докладвани и обсъждани на Научни конференции на Русенски университет „Ангел Кънчев“, Русе през 2006, 2007 и 2009. Публикуван е и доклад в списание „Машини, технологии, материали“ на VII международен конгрес „Машини, технологии, материали“, София, 2010.

6. ПУБЛИКАЦИИ

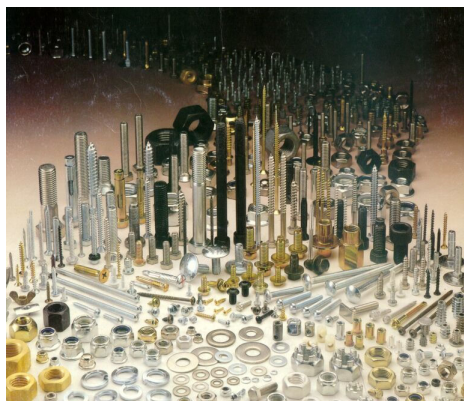
Основните резултати по дисертационния труд са отразени в 5 публикации.

7. СТРУКТУРА И ОБЕМ НА РАБОТАТА

Дисертационният труд съдържа шест глави, основни приноси, списък с литературните източници, включващ 160 заглавия, от които 95 на кирилица и 65 на латиница, и приложения.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ФОРМООБРАЗУВАНЕ НА ВЪТРЕШНИ РЕЗБИ.



Фиг. 1.1. Скрепителни елементи с резбови повърхнини.

Формообразуването на резби и други винтови повърхнини е една от най-разпространените технологични задачи в машиностроенето. Резбите намират широко приложение в разнообразни конструкции на машини, механизми, апарати и множество различни по форма детайли и скрепителни елементи (фиг. 1.1). Над 60% от детайлите на различни машини и съоръжения са с резбови или други винтови повърхнини.

Изделията с винтова повърхнина са основно три групи:

- скрепителни детайли, които се използват за реализиране на разглобяеми неподвижни съединения на машинни детайли;
- детайли за предаване на въртеливи движения или за преобразуването им в постъпателни;
- специални изделия.

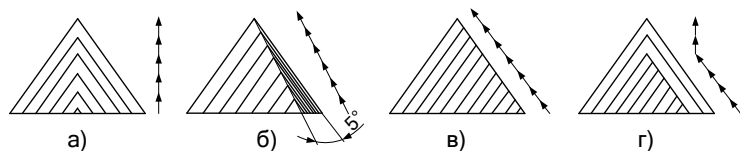
Голямото разнообразие на машиностроителни детайли с различна форма, размери и точност на винтовите повърхнини, както и многообразието на материалите, от които се изработват, предопределя и многообразието на методите за формообразуване на резби, които се свеждат до следните три групи:

- методи за формообразуване на резби чрез стружкоотнемане;
- методи за формообразуване на резби чрез пластично деформиране на обработваемия материал в ненагрято състояние;
- методи за формообразуване на резби при първичното формообразуване на детайлите.

Основни и най-разпространени са първите два метода. Изборът им, освен от осигуряваната точност, производителност и ефективност, основно зависи от стойностите на механичните характеристики на обработваемия материал – твърдост по Бринел (HB), якост на опън (R_m) и относителното удължение (A_5 %).

Реализирането на първата група методи е възможно по технологии, използващи различни инструменти като резбонарезни ножове, метчици и гребеновидни фрези.

Резбонарезните ножове са най-разпространените инструменти с проста конструкция, които се използват за нарязване на вътрешни резби с различни профили на универсални стругове, полуавтомати, автомати и машини с ЦПУ. Работната част на ножовете е с профил, съответстващ на профила на формираната резба.



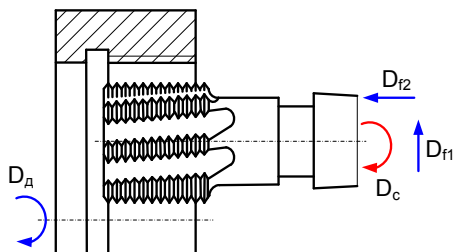
Фиг. 1.2. Схеми на изрязване на прибавката с резбонарезни ножове – а) профилна с радиално подаване, б) профилна с наклонено под 5° радиално подаване, в) генераторна и г) комбинирана.

Пълният профил на резбата се формира след многопроходно изрязване на прибавката по една от схемите показани на фиг. 1.2. Многопроходността на резбонарязването се явява основен недостатък на този метод, което предопределя и ниската производителност.

Метчиците са инструменти, за ръчно или машинно нарязване на вътрешни резби в светли и глухи отвори с диаметри и под 10 mm .

Изрязването на прибавката от метчиците се реализира по генераторна и рядко по профилна или комбинирана схема на рязане.

Метчиците работят в тежки условия и поради това до 80% от тях, особено тези с малки диаметри, се разрушават в процеса на работа, преди да са достигнали допустимото си износване. Изследванията показват, че с намаляване на диаметрите на тези инструменти се увеличава вероятността работната им част да се разруши. Вероятността метчикът да се разруши се увеличава, когато нарязваната резба е с дължина по-голяма от $1,5\div 2$ от диаметъра на метчика.



Фиг. 1.3. Фрезозане на вътрешна резба с опашкова гребеновидна фреза.

Формообразуването на вътрешни резби чрез фрезозане с диаметри над 15 mm се реализира с гребеновидни фрези (фиг. 1.3). Изработват се къси вътрешни резби със ситна и нормална стъпка.

Върху работните им части са оформени зъби с профил, съответстващ на профила на резбата.

Тези инструменти се ориентират така, че осите им да са успоредни на осите на заготовката.

Напоследък се формират и резби с малки диаметри, достигащи до $1\div 2\text{ mm}$. Използват се еднопрофилни или многопрофилни фрези.

За повишаване ефективността при използването на машини с ЦПУ и в частност на обработващите центри се използват комбинирани инструменти за формообразуване на вътрешни резби.



Фиг. 1.4. Комбиниран инструмент, формиращ фаска и вътрешна резба.

На фиг. 1.4 е показан комбиниран инструмент за формообразуване на вътрешна резба и формиране на фаска.

Инструментът първоначално формира фаската на отвора след което фрезова вътрешната резба, при извършване на комбинирано кръгово подавателно движение и осево преместване,

съгласувано със стъпката на резбата. Необходимо е обработваният отвор предварително да бъде свредлован.



Фиг. 1.5. Комбиниран инструмент, формиращ отвор и вътрешна резба.

Така също на фиг. 1.5 е показан комбиниран инструмент за формиране на отвор и формообразуване на вътрешна резба.

Инструментът едновременно формира отвора и формообразува чрез фрезозане вътрешната резба, навивка след навивка, при извършване на комбинирано кръгово подавателно движение и осево преместване, съгласувано със стъпката на резбата.

Инструментите най-често са твърдосплавни и с висока цена, но това се компенсира с производителността която имат, поради намаляване на времената за смяна на инструментите, за поднастройване и за празни ходове на машината с ЦПУ.

Използването на комбинирани инструменти за формообразуване на вътрешни резби е нов технологичен подход, развиващ се с високи темпове през последните години.

На база на направения анализ са обобщени следните изводи:

1. Формообразуването на вътрешни резби чрез рязане се реализира по различни методи при използването на инструменти като резбонарезни ножове, метчици и гребеновидни фрези.

2. Висока производителност и ефективност при формообразуване на вътрешни резби се постига при фрезозане с гребеновидни фрези.

3. С комбинирания инструмент за формообразуване на вътрешни резби се избягват недостатъците на разпространените методи за формиране на вътрешни резби.

4. Не са открити публикувани данни за комбинирания инструмент, относно:

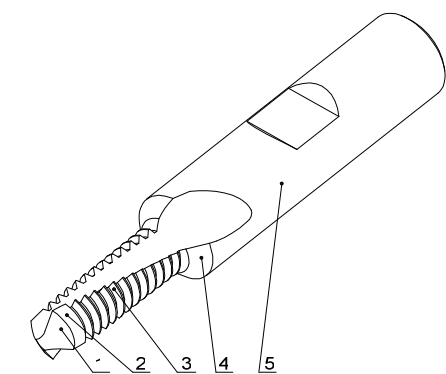
- конструктивното оформление на отделните съставни части на инструмента;
- профилирането на инструменталната повърхнина на фрезозата част;
- какво трябва да бъде съотношението между диаметрите на комбинирания инструмент и обработвания резбови отвор, за да се запази ефективността при използването му;
- проведени теоретични или експериментални изследвания на инструментите във връзка със силовото натоварване на отделните им съставни части, работещи с различни режими на рязане и при различни условия;
- технологичните схеми на обработване с тези инструменти;
- особеностите свързани с програмното осигуряване;
- каква е производителността, която се постига при използването на комбинирания инструмент.

2. РАЗРАБОТВАНЕ НА НОВА КОНСТРУКЦИЯ КОМБИНИРАН ИНСТРУМЕНТ ЗА ОБРАБОТВАНЕ НА РЕЗБОВИ ОТВОРИ.

2.1. КОНСТРУКЦИЯ НА КОМБИНИРАН ИНСТРУМЕНТ.

Комбинираният инструмент е предназначен за обработване на резбови отвори и формообразуване на вътрешни резби с диаметри от 6 до 25 mm на обработващи центри.

Разработената конструкция на този инструмент е показана на [фиг. 2.1](#). Изградена е от работна и съединителна (5) части. Работната част се състои от свредловаща част (1), разстъргваща част (2), явяваща се и калибруваща част за свредлото, фрезозаща част (3), изпълнена като двузъба фреза за фрезозане на резби и конусна част (4), формираща фаска на резбовия отвор.

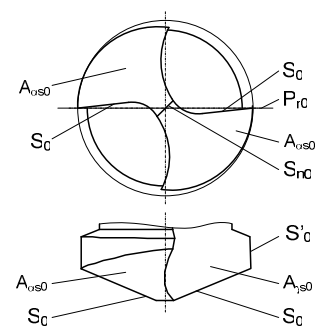


Фиг. 2.1. Конструкция на комбиниран инструмент за обработване на резбови отвори.

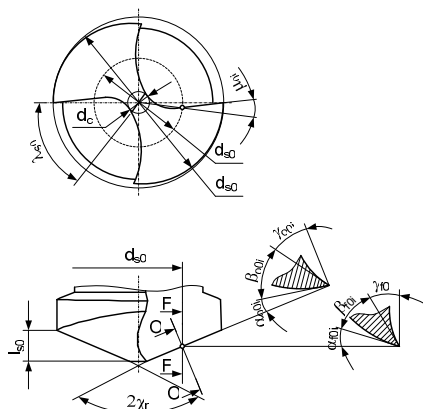
2.2. КОНСТРУИРАНЕ НА КОМБИНИРАН ИНСТРУМЕНТ ЗА ОБРАБОТВАНЕ НА РЕЗБОВИ ОТВОРИ.

2.2.1. СВРЕДЛОВАЩА ЧАСТ.

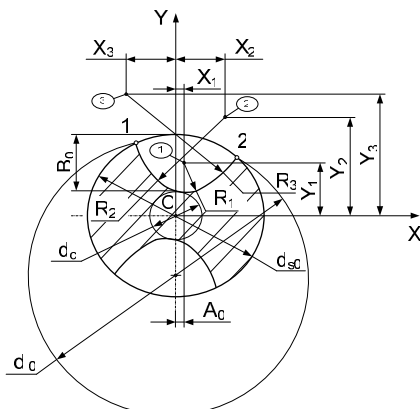
Свредловащата част на комбинирания инструмент се оформя като режещата част на спирално свредло. Изградена е от два винтови режещи зъба, свързани посредством сърцевина. На [фиг. 2.2](#) са показани предните A_{ys0} и задните A_{as0} повърхнини, както и режещите ръбове S_0 и S_{n0} . Двата винтови стружкови канала се изработват с ъгъл на наклона ω_0 и оформят предните повърхнини A_{ys0} , явяващи се такива и за останалите части на комбинирания



Фиг. 2.2. Параметри на свредловащата част.



Фиг. 2.3. Геометрия на свредловащата част.



Фиг. 2.4. Профил на стружковия канал в нормално сечение.

инструмент. Тези винтови предни повърхнини гарантират формирането на преден ъгъл в периферната точка γ_{f0i} (фиг. 2.3), в диапазона $5 \div 7^\circ$.

Главните задни повърхнини A_{as0} се оформят като части от конусна или равнинна повърхнина, като трябва да гарантират заден ъгъл α_{f0i} в

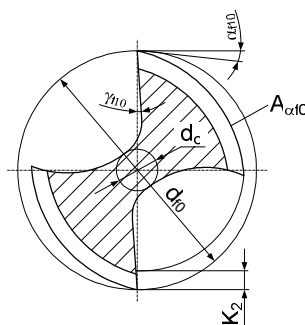
същата точка в диапазона $6 \div 8^\circ$ при удвоен главен установъчен ъгъл $2\chi_r$. Стойностите на предния и установъчния ъгъл зависят от физико-механичните характеристики на обработвания материал, а стойността на ω_0 се определя от условията на рязане на фрезовата част.

Профилът на стружковия канал в нормално сечение, показан на фиг. 2.4, се оформя така, че при пресичането на задните конусни повърхнини с предните винтови повърхнини да се получават праволинейни режещи ръбове S_0 . Съответно при пресичането на двете задни повърхнини A_{as0} – напречния режещ ръб S_{n0} . Този профил е изграден от дъги на окръжности с радиуси R_1 , R_2 и R_3 , чиито координати са посочени в координатната система „ОХУ“, центърът на която съвпада с центъра на елиптичното нормално сечение на стружковия канал.

За определяне на стойностите на параметрите на свредловащата част се предлагат зависимостите, посочени в табл. 2.1.

Табл. 2.1. Зависимости за определяне на параметрите на свредловащата част.

Параметър	Зависимост
Преден ъгъл	$\gamma_{f0i}=5 \div 7^\circ$
Заден ъгъл	$\alpha_{f0i}=6 \div 8^\circ$
Ъгъл на наклона на стружковите канали	$\omega_0=10 \div 15^\circ$
Ъгъл на наклона на напречния режещ ръб	$\lambda_{s0}=55^\circ$
Удвоен главен установъчен ъгъл	$2\chi_r$ (Отчита се от табл. 2.2 в т. 2.3.2 от Дисертацията)
Диаметър на свредловащата част	$d_{s0} = D_1 - \delta_s, mm$
Коефициент, отчитащ разбиването при свредловане	$\delta_s=0,2 \div 0,3 mm$
Дължина на свредловащата част	$l_{s0} = tg\chi_r \cdot \frac{d_{s0}}{2}, mm$
Диаметър на сърцевината	$d_c = d_{s0} \cdot k_{s1}, mm$
Коефициент k_{s1}	$k_{s1}=0,19 \div 0,15, d_{s0}=1,25 \div 12 mm$ $k_{s1}=0,145 \div 0,125, d_{s0}=13 \div 80 mm$
Брой на зъбите	$z_0=2$
Параметри определящи положението на фрезата, формираща стружковия канал	$A_0 = 0, mm ; B_0 = 1,683 \cdot d_c \cdot k_{s2}, mm$
Коефициент k_{s2}	$k_{s2} = \frac{k_{si}}{k_{s1}} = \frac{k_{si}}{0,15}$
Радиуси, формиращи профила на стружковия канал	$R_1 = 0,107 \cdot d_{s0} \cdot k_{s2}, mm$ $R_2 = 0,630 \cdot d_{s0} \cdot k_{s2}, mm$ $R_3(\gamma_{f0i} = 5^\circ) = 1,464 \cdot d_{s0} \cdot k_{s2}, mm$



Фиг. 2.7. Геометрия на фрезоващата част.

Диаметърът на фрезоващата част d_{f0} е по-малък с δ_f от диаметъра на свредловащата част d_{s0} , за да не контактува с формираната при свредловането на отвора повърхнина.

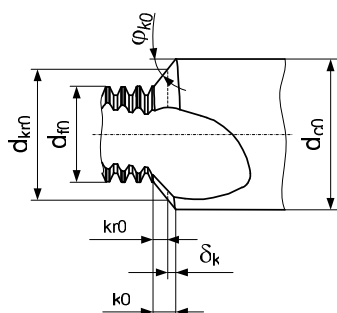
Напречният профил, оформен от два стружкови канала и два радиално затиловани зъба е показан на [фиг. 2.7](#). Височината на затиловане K_2 гарантира заден ъгъл α_{f10} в диапазона $6 \div 8^\circ$.

За определяне стойностите на параметрите на фрезоващата част са изведени зависимостите, посочени в [табл. 2.3](#).

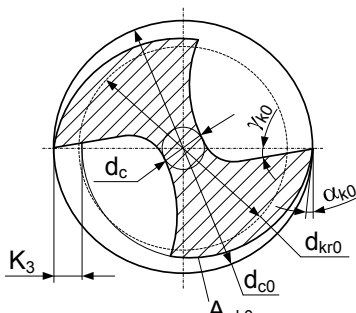
Табл. 2.3. Зависимости за определяне на параметрите на фрезоващата част.

Параметър	Зависимост
Преден ъгъл	$\gamma_{f10} = \gamma_{f0i}$
Заден ъгъл	$\alpha_{f10} = 6 \div 8^\circ$
Ъгъл на профила на фрезоващата част *	$\alpha_{f0} = \alpha = 60^\circ$ (метрични резби)
Външен диаметър на фрезоващата част	$d_{f0} = d_{s0} - 2 \cdot \delta_f, mm$
Коефициент, отчитащ прехода от свредловащата към фрезоващата част	$\delta_f = 0,1 \div 0,15 mm$
Среден диаметър на фрезоващата част	$d_{f20} = d_{f0} - 0,649519053 \cdot P, mm$
Вътрешен диаметър на фрезоващата част	$d_{f10} = d_{f0} - 1,082531755 \cdot P, mm$
Дължина на фрезоващата част	$l_{f0} = 1,5 \cdot D, mm$ $l_{f0} = 2 \cdot D, mm$
Стъпка на профила на фрезоващата част	$P_{f0} = P, mm$
Параметри на профила на фрезоващата част	$f_{a0} = 2 \cdot \frac{H}{8} \cdot \tan \frac{\alpha}{2}, mm$; $f_{a0} = \frac{P_{f0}}{8}, mm$ $f_{f0} = 2 \cdot \frac{H}{4} \cdot \tan \frac{\alpha}{2}, mm$; $f_{f0} = \frac{P_{f0}}{4}, mm$
Теоретична височина на профила на резбата	$H = 0,866025404 \cdot P, mm$
Височина на затиловане	$K_2 = \frac{\pi \cdot d_{f0}}{z_0} \cdot \tan \alpha_{f10}, mm$
Стъпка на Архимедовата спирала	$P_{AS20} = K_2 \cdot z_0 - 1, mm$

* Профилният ъгъл α_{f0} със стойност 60° се приема за начално оформяне на параметрите на фрезвата част, но за всеки инструмент се коригира по методиката посочена в [Глава 3](#).



Фиг. 2.8. Параметри на конусната част.



Фиг. 2.9. Геометрия на конусната част.

2.2.4. КОНУСНА ЧАСТ.

Конусната част е предназначена за формиране на фаска на свредлования отвор.

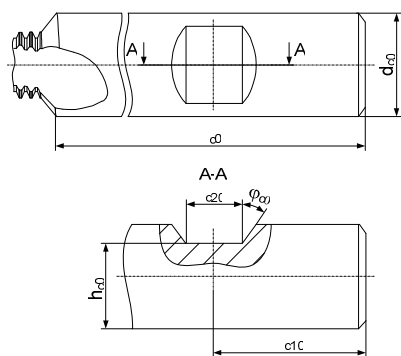
На [фиг. 2.8](#) са показани основните параметри на конусната част. Диаметърът d_{kr0} и дължината l_{kr0} определят работния участък на тази част. Необходимо е дължината l_{kr0} да е равна на дължината на формираната фаска.

В сечението, отстоящо на тази дължина се дефинира параметъра на осевото затиловане – височина на затиловане K_3 , гарантираща задните ъгли α_{k0} да са в диапазона $3 \div 4^\circ$ (фиг. 2.9).

За определянето стойностите на параметрите на конусната част са изведени зависимостите от табл. 2.4.

Табл. 2.4. Зависимости за определяне на параметрите на конусната част.

Параметър	Зависимост
Преден ъгъл	$\gamma_{ko} = \gamma_{foi}$
Заден ъгъл	$\alpha_{k0} = 3 \div 4^\circ$
Работен диаметър на конусната част	$d_{kr0} = d_{f0} + 2 \cdot l_{kr0}, mm$
Работна дължина на конусната част	$l_{kr0} = L_k, mm$; L_k – дължината на формираната фаска
Дължина на конусната част	$l_{k0} = l_{kr0} + \delta_k, mm$
Дължина на преходния участък	$\delta_k = \frac{d_{c0} - d_{kr0}}{2}, mm$
Височина на затиловане	$K_3 = \frac{P_{VL10}}{z_0}, mm$
Стъпка на Винтовата линия	$P_{VL10} = (S_{z0} + \Delta P_{k0}) - l, mm$, S_{z0} – подаване на зъб $\Delta P_{k0} = \pi \cdot d_{c0} \cdot \tan \alpha_{k0}, mm$



Фиг. 2.10. Параметри на соединителната част.

2.2.5. СЪЕДИНИТЕЛНА ЧАСТ.

Чрез соединителната част комбинираният инструмент директно или индиректно се присъединява към машината. Служи за ориентация на инструмента спрямо заготовката и за предаване на въртящ момент и осева сила.

Определящи параметри на цилиндричната соединителна част са дължината l_{c0} , диаметърът d_{c0} и параметрите на установъчната повърхнина (плоскостен изрез) l_{c10} , l_{c20} , h_{c0} и ϕ_{c0} , показани в сечение А-А на фиг. 2.10. Стойностите им се определят съгласно приетия стандарт БДС 15458-82 (СТ на СИВ2822-80) и са посочени в табл. 2.5.

Табл. 2.5. Стойности на конструктивните параметри на соединителната част на комбинирания инструмент.

d_{c0}, mm	h_6	l_{c0}, mm	± 1	l_{c10}, mm	$\pm 0,5$	l_{c20}, mm	$+0,05$ 0	h_{c0}, mm	0 $-0,4$	$\phi_{c0}, ^\circ$	$+1^\circ$ 0
8		36		18		5,5		6,6		45	
10		40		20		7		8,4			
12		45		22,5		8		10,4			
16		48		24		10		14,2			
20		50		25		11		18,2			
25		56		32		12		23			
32		60		36		14		30			

2.2.6. ДЪЛЖИНА НА РАБОТНАТА ЧАСТ И ОБЩА ДЪЛЖИНА НА КОМБИНИРАНИЯ ИНСТРУМЕНТ.

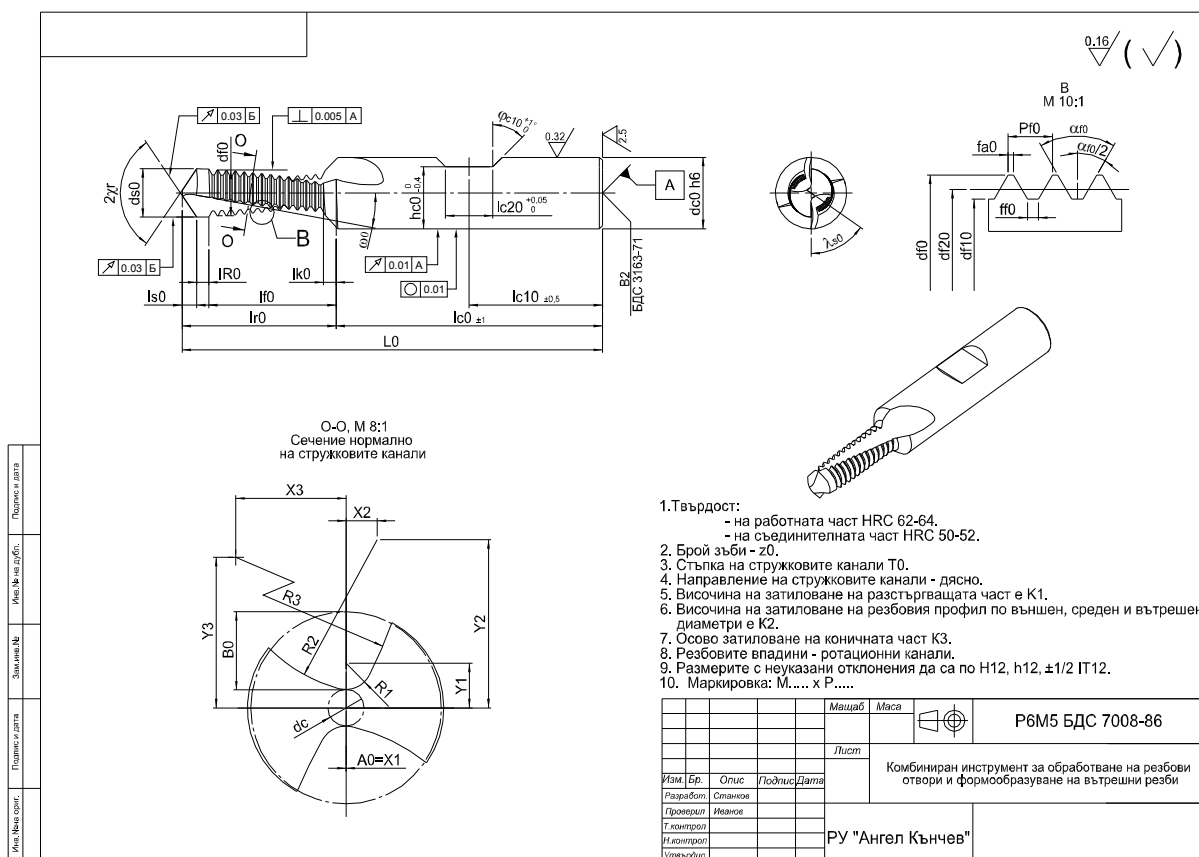
Дължината на работната част l_{r0} и общата дължина на комбинирания инструмент L_0 се определят по зависимостите:

$$l_{r0} = 0,5 \cdot l_{s0} + l_{R0} + l_{f0} + l_{k0}, mm \quad (2.1)$$

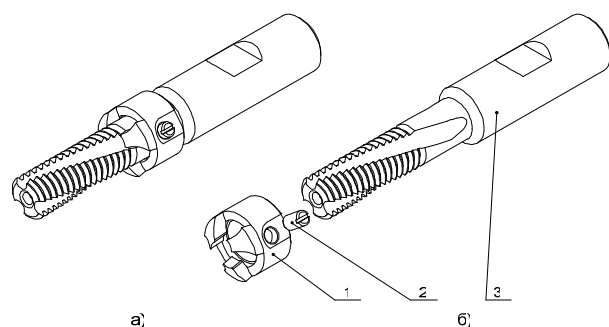
$$L_0 = l_{r0} + l_{c0}, mm \quad (2.2)$$

Коефициентът пред l_{s0} , отчита изменението на дължината на свредловащата част вследствие на заточването по на конусните главни задни повърхнини $A_{\alpha s0}$.

По разработената по-горе методика е съставена програма на *Microsoft Office Excel* за автоматизирано определяне на конструктивните параметри на комбинирания инструмент. Чрез *CAD* системата *SolidWorks* е съставена конструктивна документация на инструмента. На [фиг. 2.11](#) е показан чертеж на комбинирания инструмент.



Фиг. 2.11. Комбиниран инструмент за обработване на резбови отвори.

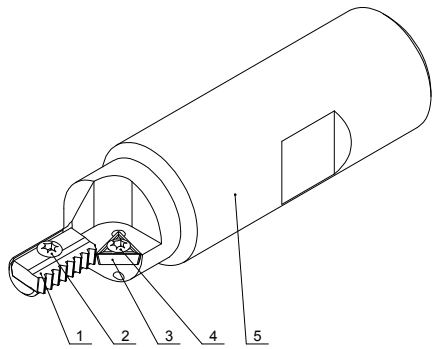


Фиг. 2.12. Конструкция на комбиниран инструмент гребеновидна фреза-конусен зенкер – а) общ вид и б) разглобен вид.

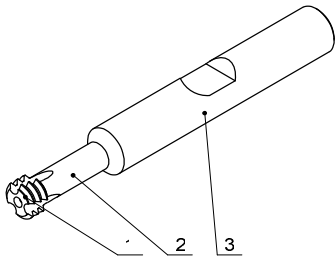
2.3. ДРУГИ ИНСТРУМЕНТИ ЗА ФОРМООБРАЗУВАНЕ НА ВЪТРЕШНИ РЕЗБИ.

На базата на натрупания опит и разработените методики по конструиране на комбинирани инструменти, са разработени и други конструкции комбинирани инструменти.

На [фиг. 2.12](#) е показан комбиниран инструмент гребеновидна фреза-конусен зенкер, предназначен за



Фиг. 2.13. Конструкция на комбиниран инструмент със сменяеми твърдосплавни пластини.



Фиг. 2.14. Конструкция на гребеновидна фреза със скъсена фрезоваща част.

формообразуване на вътрешни резби с диаметри от 10 до 25 mm и формиране на фаска в отвори. Конструкцията му включва от конусен зенкер (1), стопорен винт (2) и гребеновидна фреза (3).

Комбиниран инструмент със сменяеми твърдосплавни пластини е показан на [фиг. 2.13](#). Инструмент е предназначен за формообразуване на вътрешни резби с диаметри от 10 до 58 mm и формиране на фаска в отвори. Конструкция му е изградена е от работна и съединителна (5) части. Работната част включва сменяема твърдосплавна резбонарезна пластина (1) за формообразуване на вътрешната резба, закрепена със стопорен винт (2) и сменяема твърдосплавна триъгълна пластина (3) за формиране на фаска, закрепена със стопорен винт (4).

За формообразуване на вътрешни резби с диаметри от 2 до 10 mm в отвори е разработена гребеновидна фреза със скъсена фрезоваща част, показана на [фиг. 2.14](#). Конструкция на инструмента включва работна и съединителна (3) части. Работната част се състои от фрезоваща част (1) и преходна част (2) с дължина $2D$, където D е външния диаметър на резбата.

2.4. ИЗВОДИ.

1. Разработена е методика и са изведени зависимостите за определяне на конструктивните и геометричните параметри на комбиниран инструмент за обработване на резбови отвори.

2. Разработена е програма на *Microsoft Office Excel*, за автоматизирано пресмятане на конструктивните и геометричните параметри на комбинирания инструмент.

3. Чрез CAD системата *SolidWorks* е разработена конструктивната документация на инструмента.

4. Разработени са нови конструкции комбинирани инструменти за формообразуване на вътрешни резби, създадени са методики за определяне на конструктивните и геометричните им параметри и чрез CAD системата *SolidWorks* е разработена конструктивната им документация.

3. ПРОФИЛИРАНЕ НА ИНСТРУМЕНТИ ЗА ФРЕЗОВАНЕ НА ВЪТРЕШНИ РЕЗБИ.

3.1. МЕТОД ЗА АНАЛИТИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПРОФИЛА НА ИНСТРУМЕНТАЛНАТА ПОВЪРХНИНА НА ФРЕЗИ ЗА ФРЕЗОВАНЕ НА ВЪТРЕШНИ РЕЗБИ.

Задачата за определянето на профила на инструменталната повърхнина, върху която се разполагат режещите ръбове на зъбите, при известен профил на формообразуваната повърхнина е прието да се нарича права задача на профилирането. Тази задача се налага да се решава, за да се определи такъв профил на производящата повърхнина, който да гарантира получаването на зададения профил на резбата.

Резба, чиито профил в осево сечение е праволинеен се дефинира като архимедова винтова повърхнина. Всяко нейно сечение, нормално на геометричната ѝ ос, например сечение A-A на [фиг. 3.1](#), е архимедова спирала с уравнение в полярни координати:

$$R_i = a \cdot \varphi_i, mm \quad (3.1)$$

където R_i е радиус-вектор на архимедовата спирала в mm ;

a – параметър на архимедовата спирала, mm/rad ;

φ_i – ъгъл на завъртане на спиралата, rad .

Тези напречни сечения са еднакви, но са завъртени едно спрямо друго на ъгъл ε , зависещ от винтовия параметър на винтовата повърхнина:

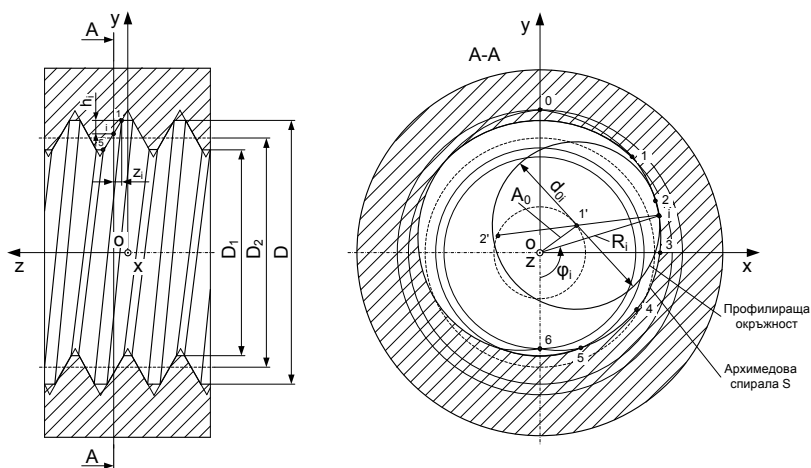
$$\varepsilon = \frac{z_i}{p}, rad \quad (3.2)$$

където $p = \frac{n \cdot P}{2 \cdot \pi}$ е винтов параметър;

P – стъпка на резбата, mm ;

n – брой ходове на резбата;

z_i – изместване на секущата равнина по ос „ z ” ([фиг. 3.1](#)), mm .



Фиг. 3.1. Схема за определяне на профила на инструменталната повърхнина при фрезоване на вътрешни резби.

Секущата равнина A-A пресича и ориентираната в координатната система „ $Oxyz$ ” ротационна инструментална повърхнина. Сечението ѝ в същата секуща равнина е окръжност с диаметър d_{0i} , явяващ се допирателен към архимедовата спирала S в точка i , в която имат обща нормала, минаваща през точки i и $1'$ ([фиг. 3.1](#)). Това сечение се явява профилиращо сечение на инструменталната

повърхнина. Тъй като ротационната инструментална повърхнина има по-малък диаметър от вътрешния диаметър на резбата, се задава междуцентровото разстояние A_0 , което се определя по зависимостта:

$$A_0 = R - r_0, mm \quad (3.3)$$

където R е радиус на външния диаметър на резбата;

r_0 – радиус на окръжността от инструмента, допираща се до външния диаметър на резбата, mm .

Окръжността, очертана с радиус A_0 се явява траекторията на кръговото подавателно движение D_{fm7} ([фиг. 4.1](#)). За да се реализира фрезоването, е необходимо нормалният вектор в коя и да е точка от спиралата, описваща напречния профил на резбата, да пресича тази окръжност.

Отчитайки, че при известни стъпка P , брой на ходовете n , среден диаметър D_2 и профилен ъгъл на резбата α , всяка винтова повърхнина е определена, то са определени и архимедовите спирали, очертаващи различните сечения, до които се допира инструментът. Параметърът им a може да бъде определен чрез равенствата:

$$R_0 = a \cdot \varphi_0, mm \quad (3.4)$$

$$R_6 = a \cdot \varphi_6, mm \quad (3.5)$$

$$H = R_0 - R_6 = \frac{P}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, mm \quad (3.6)$$

където R_0 е радиус-вектор на точка 0 от архимедовата спирала, очертана при ъгъл φ_0 в mm ;

R_6 – радиус-вектора на точка 6 на същата спирала, но при ъгъл φ_6 , mm ;

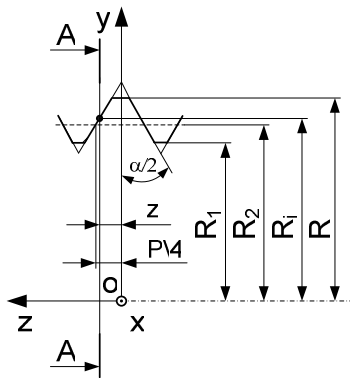
H – височина на теоретичния профил на резбата, mm .

Тогава:

$$H = a \cdot \varphi_0 - a \cdot \varphi_6 = a \cdot (\varphi_0 - \varphi_6), mm \quad (3.7)$$

Радиус-векторите на спиралите нарастват от R_6 до стойност R_0 за ъгъл $\varphi_6 - \varphi_0 = \frac{\pi}{n}$. Тогава от зависимост (3.7) се получава, че $H = \frac{a \cdot \pi}{n}$, а отчитайки зависимост (3.6), за параметъра на спиралата се получава:

$$a = \frac{n \cdot P}{2 \pi \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, m/rad \quad (3.8)$$



Фиг. 3.2. Схема за определяне на координатата z_i на инструменталната повърхнина.

При определен параметър на спиралата a и зададени радиус-вектори R_i в различни точки в диапазона $R_1 \div R_6$, се определя ъгълът на завъртане на спиралата φ_i . За всяка стойност на φ_i , се определя и положението на секущата равнина z_i в координатната система „Охуз“ по зависимостта (фиг. 3.2):

$$z_i = \frac{P}{4} - (R_i - R_2) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, mm \quad (3.9)$$

За да се определят радиусите на допирателните (профилиращите) окръжности в коя и да е точка i , е необходимо да се знаят координатите на центъра на инструмента. За определянето им се използват уравнението на окръжността с радиус A_0 , описваща траекторията на центъра на инструменталната повърхнина и уравнението на нормалата към архимедовата спирала в i -тата точка в координатна система „Охуз“.

Уравнението на окръжността е:

$$A_0^2 = x^2 + y^2, mm \quad (3.10)$$

Уравнението на нормалата, в коя и да е контактна точка i се определя с уравнението:

$$(y - y_i) = -\frac{dx_i}{dy_i} \cdot (x - x_i) = -k \cdot (x - x_i), \quad (3.11)$$

където:

$$x_i = R_i \cdot \cos \varphi_i, \quad (3.12)$$

$$y_i = R_i \cdot \sin \varphi_i, \quad (3.13)$$

$$k = -\frac{a \cdot \cos \varphi_i - R_i \cdot \sin \varphi_i}{a \cdot \sin \varphi_i + R_i \cdot \cos \varphi_i}. \quad (3.14)$$

От съвместното решаване на (3.10) и (3.11), при отчитане на (3.12), (3.13) и (3.14), след преработване се получава квадратното уравнение:

$$(1+k^2).x_0^2 + 2.k.(y_i - k.x_i).x_0 + k^2.x_i^2 + y_i^2 - A_0^2 - 2.k.x_i.y_i = 0. \quad (3.15)$$

След полагане:

$$a_I = 1 + k^2, \quad (3.16)$$

$$b_I = 2.k.(y_i - k.x_i), \quad (3.17)$$

$$c_I = k^2.x_i^2 + y_i^2 - A_0^2 - 2.k.x_i.y_i = (k.x_i - y_i)^2 - A_0^2, \quad (3.18)$$

уравнение (3.15) добива вида:

$$a_I.x_0^2 + b_I.x_0 + c = 0. \quad (3.19)$$

Корените на уравнението са:

$$x_{1'} = \frac{-b_I + \sqrt{b_I^2 - 4.a_I.c_I}}{2.a_I}, \quad (3.20)$$

$$x_{2'} = \frac{-b_I - \sqrt{b_I^2 - 4.a_I.c_I}}{2.a_I}. \quad (3.21)$$

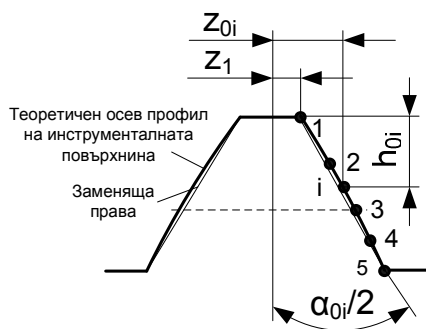
Това са абсциси на пресечните точки 1' и 2' на нормалата с траекторията на центъра на инструмента (фиг. 3.1).

Използвайки уравнение (3.11), при известни абсциси $x_{1'}$ и $x_{2'}$, се определят и стойностите на ординатите на пресечните точки $y_{1'}$ и $y_{2'}$. За да се определи диаметъра на профилиращата окръжност d_{0i} се определят разстоянията $l_{1'}$ и $l_{2'}$ между тези точки и точка i по зависимостите:

$$l_{1'} = \sqrt{(x_{1'} - x_i)^2 + (y_{1'} - y_i)^2}, \quad (3.22)$$

$$l_{2'} = \sqrt{(x_{2'} - x_i)^2 + (y_{2'} - y_i)^2}. \quad (3.23)$$

Радиусът на профилиращата окръжност r_{0i} се приема да е равен на по-малката стойност от $l_{1'}$ или $l_{2'}$.



Фиг. 3.3. Профил на инструменталната повърхнина.

Образуващата на профила на дисковия инструмент се получава от поредицата стойности на z_{0i} и r_{0i} , и изчертаване на симетричния профил (фиг. 3.3).

Пренебрегвайки незначителната криволинейност на страничната образуваща на профила и заменяйки я с права линия, която да минава през точки 1 и 5, се определя и профилният ъгъл на осевия профил на производящата инструментална повърхнина.

По така разработената методика е съставена програма на *Microsoft Office Excel* за определяне на профила на инструменталната

повърхнина. Прието е да се изчисляват координатите на пет точки от профила на резбата.

След замяна на получената крива на профила с права линия, минаваща през точки 1 и 5 (фиг. 3.3), се определя разликата между профилния ъгъл на резбата α и профилния ъгъл на инструменталната повърхнина $\alpha_{0i(i=5)}$. Тази разлика се приема като необходима корекция $\Delta\alpha_0$ на профила на инструменталната повърхнина и се определя по зависимостите:

$$z_{0i} = z_i - z_{l,mm} \quad (3.24)$$

$$h_i = R_{imax} - R_{i,mm} \quad (3.25)$$

$$h_{0i} = r_{0imax} - r_{0i,mm} \quad (3.26)$$

$$\alpha_{0i} = 2 \cdot \arctg \left(\frac{z_{0i}}{h_{0i}} \right), ^\circ \quad (3.27)$$

$$\Delta \alpha_0 = \alpha - \alpha_{0i}, ^\circ \quad (3.28)$$

където z_1 е апликата на точка 1 от профила, определена по зависимост (3.9) при $i=1$ в mm;

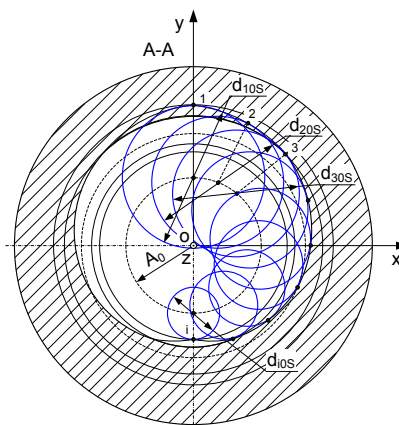
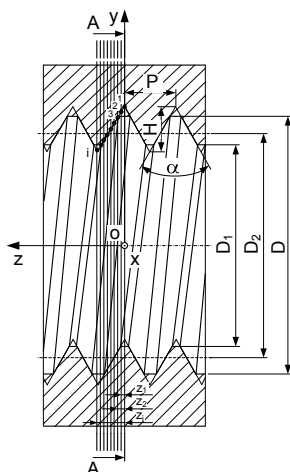
R_{imax} – максималния радиус от всички радиус-вектори R_i , определен по зависимост (3.1), mm;

r_{0imax} – максималния радиус от всички радиуси на профилиращата окръжност r_{0i} , определен по зависимости (3.22) и (3.23), mm.

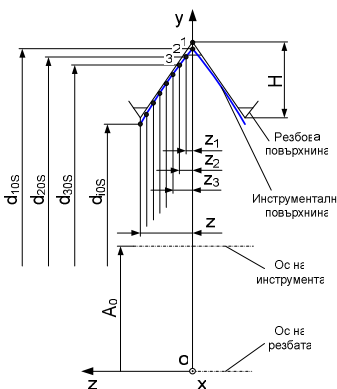
3.2. МЕТОД ЗА ГРАФИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПРОФИЛА НА ИНСТРУМЕНТАЛНАТА ПОВЪРХНИНА НА ФРЕЗИ ЗА ФРЕЗОВАНЕ НА ВЪТРЕШНИ РЕЗБИ.

За проверка на аналитичният метод за профилиране на инструменталната повърхнина е разработен и графичен метод, чрез CAD системата *SolidWorks*.

Профилирането се извършва в следната последователност:



Фиг. 3.4. Определяне на диаметрите на окръжностите, формиращи инструменталната повърхнина.



Фиг. 3.5. Построяване на инструменталната повърхнина.

- дефинират се основните параметри на формообразуваната вътрешна резба D, D_2, D_1, P и α ;

- построява се примерен модел на вътрешната резба по определените параметри;

- дефинират се основните конструктивни параметри на фрезоващата част на инструмента d_0, d_{20}, d_{10}, P_0 и α_0 ;

- определя се радиусът A_0 по зависимост (3.3) и се построява траекторията, която описва центъра на фрезоващата част на инструмента при фрезование;

- построяват се секущи равнини, пресичащи теоретичния профил на резбата с височина H от точка 1 до точка i на разстояния от z_1 до z_i по оста на резбата (фиг. 3.4);

По-големият брой на секущите равнини, определя по-големия брой точки за описване на профила на инструменталната повърхнина. Това води до повишаване на неговата точност.

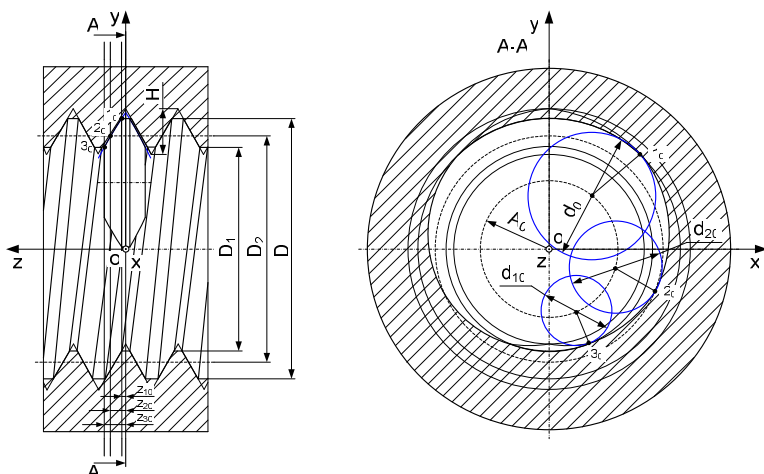
- във всяка секуща равнина се построяват окръжности с диаметри $d_{10s}, d_{20s}, d_{30s}, \dots, d_{i0s}$ от инструменталната повърхнина, които са допирателни в точки 1, 2, 3, ... i от Архимедовата спирала и имат център, лежащ на окръжността с радиус A_0 (фиг. 3.4);

На фиг. 3.4 тези окръжности са начертани само в

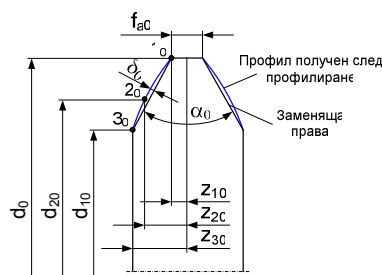
сечение A-A, поради което са завъртени на определен ъгъл ε_i , пропорционален на разстоянията z_i и определен по зависимост (3.2).

- определят се координатите на точки 1, 2, 3, ... i в координатна система „Oxyz“, необходими за построяване на инструменталната повърхнина, получени в различните сечения и съответстващи на диаметрите d_{10S} , d_{20S} , d_{30S} , ... d_{i0S} (фиг. 3.5);

- построява се нормалният профил на инструменталната повърхнина чрез свързване на точки 1, 2, 3, ... i със *Spline* линия (фиг. 3.5);



Фиг. 3.6. Определяне на точките от инструменталната повърхнина, съответстващи на основните диаметри от профила на фрезовата част на инструмента.



Фиг. 3.7. Профил на инструменталната повърхнина на инструмента, получен след профилиране.

- определят се координатите на точките от инструменталната повърхнина, съответстващи на основните диаметри на профила на инструмента d_0 , d_{20} и d_{10} (фиг. 3.6);

При известен радиус A_0 на окръжността, която описва фрезоващата част, се определя положението на диаметрите на инструмента d_0 , d_{20} и d_{10} в секущи равнини, през получената чрез профилиране инструментална повърхнина в точки 10, 20 и 30. Точките се намират на разстояния z_{10} , z_{20} и z_{30} , отговарящи на разположението на диаметрите на вътрешната резба D , D_2 и D_1 (фиг. 3.6).

- замяна на получения след профилиране профил на инструменталната повърхнина с прави линии (фиг. 3.7).

Определеният профил е с криволинейни образуващи. Те се заменят с прави линии, от точка 10 до точка 30 (фиг. 3.7). В резултат на замяната се получава отклонение на профила δ_0 .

Профилът на новата инструментална повърхнина се получава с профилен ъгъл $\alpha_0 < \alpha$, както и с ширина при върха $f_{a0} < f_f$, където f_f е ширина на падината на вътрешната резба.

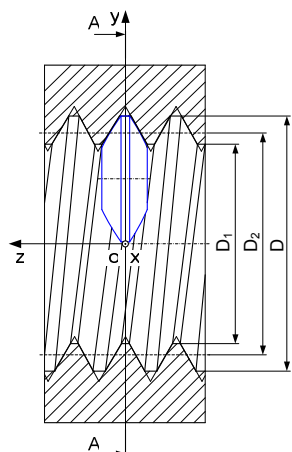
Направена е съпоставка на аналитичния и графичния метод. От получените резултати се налага извода, че стойности на параметрите на профила на инструменталната повърхнина получените и по двата метода се различават минимално. Причината за това е използването на входящи данни със стойности с точност до четвъртия знак след запетаята при изчертаване на тримерните модели, което води до натрупване на грешки, както и допустимите минимални отклонения, които дава *SolidWorks* при изчертаване на винтови линии и от там на архимедовите спирали.

3.3. МЕТОД ЗА ГРАФИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ПРЕДНИЯТ ЪГЪЛ И ВИСОЧИНАТА НА ЗАТИЛОВАНЕ ВЪРХУ ИНСТРУМЕНТАЛНАТА ПОВЪРХНИНА НА ФРЕЗИ ЗА ФРЕЗОВАНЕ НА ВЪТРЕШНИ РЕЗБИ.

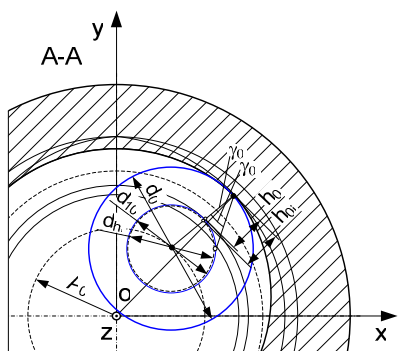
Графичният метод за определяне влиянието на предния ъгъл γ_0 и на височината на затиловане K_0 е разработен чрез *CAD* системата *SolidWorks*.

Като изходен се приема профилът на инструменталната повърхнина, получен чрез методите за аналитично или графично профилиране, описани в т. 3.1 и т. 3.2.

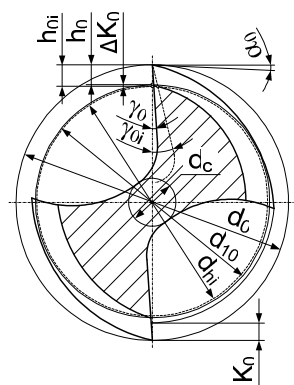
Графичните построения се извършват в следната последователност:



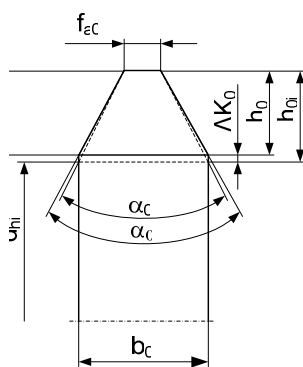
Фиг. 3.8. Дефиниране на основните конструктивни параметри на инструмента.



Фиг. 3.9. Определяне влиянието на предния ъгъл γ_0 върху височината на профила h_0 по предната повърхнина.



Фиг. 3.10. Изменение на височината на профила h_0 при наличие на преден ъгъл γ_0 и височина на затиловане K_0 .



Изменение на височината h_0 и на профилния ъгъл γ_0 при наличие на преден ъгъл γ_0 и височина на затиловане K_0 .

Ъгъла $\Delta\alpha_0$ при постоянна ширина на зъба b_0 (фиг. 3.11).

За да се формира точен профил на резбата е необходимо да се отчете отклонението $\Delta\alpha_0$ в профилния ъгъл:

$$\Delta\alpha_0 = \alpha_0 - \alpha_{0i},^\circ \quad (3.29)$$

- определят се координатите на точките от инструменталната повърхнина, съответстващи на основните диаметри на профила на инструмента d_0 , d_{20} и d_{10} (фиг. 3.8);

При известен радиус на окръжността A_0 , която описва фрезоващата част, се определя положението на диаметрите на инструмента d_0 , d_{20} и d_{10} в секущи равнини, през получената чрез профилиране инструментална повърхнина. Секущите равнини се намират

на разстояния, отговарящи на разположението на диаметрите на вътрешната резба D , D_2 и D_1 .

- построява се секуща равнина A-A в точка, съответстваща на външния диаметър d_0 на фрезоващата част на инструмента (фиг. 3.8);

- извършват се графични построения в секущата равнина при различен преден ъгъл, изменящ се от γ_0 до γ_{0i} , за определяне на височините на профила по предната повърхнина, изменящи се от h_0 до h_{0i} (фиг. 3.9).

С увеличаването на предния ъгъл γ_0 се увеличава и височината на профила, като ширината му остава постоянна.

Влиянието на височината на затиловане K_0 върху профилния ъгъл α_0 се изразява при наличието и на преден ъгъл γ_0 . Използвайки графичните построения, показани на фиг. 3.9, се добавя и височината на затиловане K_0 (фиг. 3.10). При изменение на предния ъгъл от γ_0 до γ_{0i} и наличие на височина на затиловане K_0 , височината на профила на инструменталната повърхнина се променя от h_0 до h_{0i} , което променя профилния ъгъл от α_0 до α_{0i} и води до получаване на отклонение на

Получаваната разлика ΔK_0 не влияе върху точността на резбата, тъй като последната зависи от точността на реализиране на междуцентровото разстояние.

3.4. ИЗВОДИ.

1. Разработен е нов аналитичен метод за определяне на профила на инструменталната повърхнина на фрези за фрезозване на вътрешни резби.

2. Разработен е нов графичен метод чрез CAD системата *SolidWorks*, за определяне на профила на инструменталната повърхнина на фрези за фрезозване на вътрешни резби.

3. Доказано е, че замяната по технологични съображения на криволинейната образуваща на профила на инструменталната повърхнина, получен след профилиране по аналитичен или графичен път с права линия, предизвиква незначителни отклонения на профила δ_0 .

4. Разработен е нов графичен метод чрез CAD системата *SolidWorks*, за определяне влиянието на конструктивните параметри – преден ъгъл γ_0 и височина на затиловане K_0 , върху профила на инструменталната повърхнина на фрези за фрезозване на вътрешни резби.

5. Доказано е, че за да се получи точен профил на вътрешната резба е необходимо профилът на инструменталната повърхнина на да се коригира а с $\Delta\alpha_0$ и ΔK_0 .

4. РАЗРАБОТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ОБРАБОТВАНЕ НА РЕЗБОВИ ОТВОРИ С КОМБИНИРАНИ ИНСТРУМЕНТИ.

4.1. КЛАСИФИКАЦИЯ НА ВИДОВЕТЕ ДВИЖЕНИЯ, ИЗВЪРШВАНИ ОТ КОМБИНИРАНИТЕ ИНСТРУМЕНТИ.

Направена е класификация на движенията, които се извършват от комбинираните инструменти при реализиране на различни технологични схеми на обработване на резбови отвори. Тези движения са главно въртеливо, кръгово подавателно, праволинейни подавателни и спомагателни.

Движенията са показани в табл. 4.1, а обозначението им е съгласно стандарта *ISO 3002/1, ISO 3002/2*.

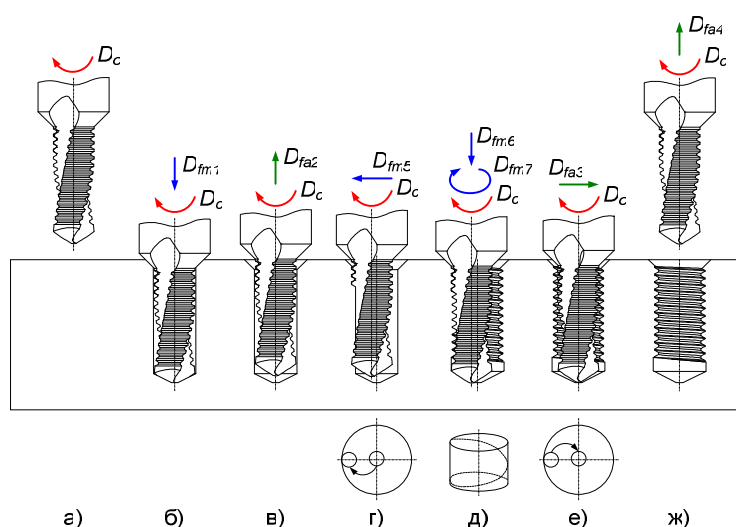
Табл. 4.1. Движения, извършвани от комбинирания инструмент при обработване на резбови отвори.

№	Схема	Означение	Описание
1.		D_c	Главно въртеливо движение
2.		D_{fm1}	Подавателно осево движение при свредловане на отвор
3.		D_{fm2}	Подавателно радиално движение за врязване на инструмента при фрезозване (разсвредловане) на обработен отвор
4.		D_{fm3}	Подавателно осево движение при фрезозване (разсвредловане) на обработен отвор
5.		D_{fm4}	Кръгово подавателно движение при фрезозване (разсвредловане) на обработен отвор
6.		D_{fm5}	Подавателно радиално движение за врязване на инструмента при фрезозване на вътрешна резба
7.		D_{fm6}	Подавателно осево движение при фрезозване на вътрешна резба (дясна или лява)
8.		D_{fm7}	Кръгово подавателно движение при фрезозване на вътрешна резба

9.		D_{fa1}	Спомагателно осево движение за извеждане на инструмента на позиция за фрезозане (разсвердловане) на отвор
10.		D_{fa2}	Спомагателно осево движение за извеждане или въвеждане на инструмента на позиция за фрезозане на вътрешна резба
11.		D_{fa3}	Спомагателно радиално движение за извеждане на инструмента от зоната на рязане до оста на отвора
12.		D_{fa4}	Спомагателно осево движение за извеждане на инструмента извън отвора

Също така е направена е класификация на различните варианти технологични схеми на обработване и на преходите в последователността, в която се изпълняват от комбинираните инструменти.

4.2. ОБОБЩЕНА СХЕМА ЗА ОБРАБОТВАНЕ НА РЕЗБОВИ ОТВОРИ С КОМБИНИРАНИ ИНСТРУМЕНТИ.

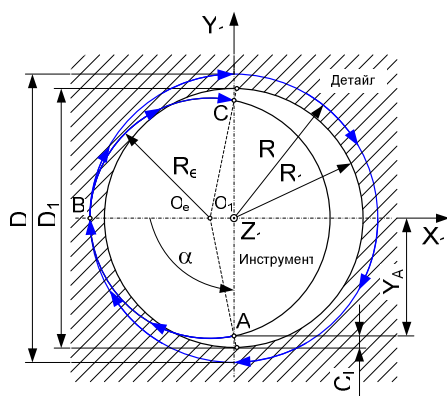


Фиг. 4.1. Обобщена схема за обработване на резбови отвори с комбинирани инструменти.

На база на направения анализ на видовете движения, които извършва комбинираният инструмент, както и на вариантите на технологичните схеми на обработване в зависимост от типа на отвора и параметрите на резбата, е съставена обобщена технологична схема за обработване на резбови отвори с комбинирани инструменти, показана на [фиг. 4.1](#).

Схемата включва следните преходи:

- извеждане на инструмента в позиция за обработване и включване на главното движение ([фиг. 4.1.а](#));



Фиг. 4.2. Параметри, определящи врязването и извеждането на инструмента при фрезозане на вътрешна резба.

- свердловане на отвор с определена дължина и формиране на фаска ([фиг. 4.1.б](#));

- извеждане на инструмента на височина, равна на 1-2 стъпки на резбата или на височина, съответстваща на дължината на фрезозаната вътрешна резба ([фиг. 4.1.в](#));

- врязване на инструмента по определена траектория до достигане пълната дълбочината на профила на резбата ([фиг. 4.1.г](#));

- формообразуване на резбата чрез насрещно фрезозане при извършване на кръгово подавателно движение и осево преместване на инструмента ([фиг. 4.1.д](#));

- извеждане на инструмента от зоната на рязане по определена траектория до оста на отвора (фиг. 4.1.е);
- извеждане на инструмента извън отвора и изключване на главното движение (фиг. 4.1.ж).

Преходите на фиг. 4.1.г, д и е се реализират по схемата показана на фиг. 4.2. За определяне на параметрите на връзване и извеждане са изведени зависимости.

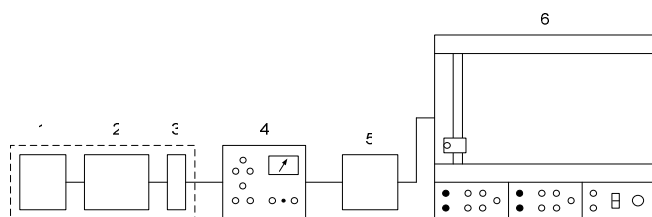
Разработена е и управляваща програма за обработване на резбови отвори с комбинирани инструменти на обработващи центри с управление *FANUC*. Използван е програмния език *MACRO*.

4.3. ИЗВОДИ.

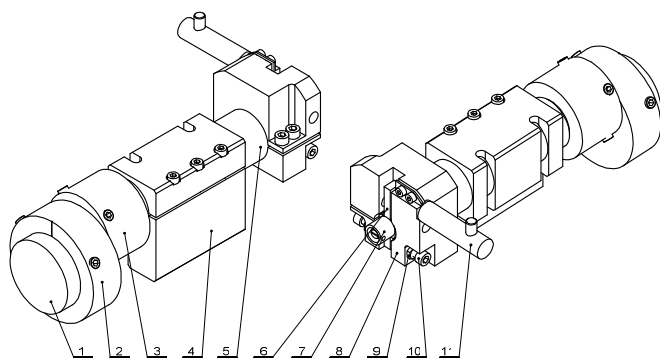
1. Направена е класификация на видовете работни и спомагателни движения, извършвани от комбинираните инструменти при обработване на резбови отвори и формообразуване на вътрешни резби.
2. Разработени са варианти на технологичните схеми на обработване на резбови отвори и формообразуване на вътрешни резби с комбинирани инструменти.
3. Разработена е технология за обработване на резбови отвори с комбинирани инструменти.
4. Съставена е примерна управляваща програма за обработване на резбови отвори на обработващи центри, чрез използване възможностите на езика *MACRO*.

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ.

5.1. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА.



Фиг. 5.1. Схема на експерименталната измервателна уредба.



Фиг. 5.2. Динамометрична установка.

1 – заготовка, 2 – ексцентрикова втулка, 3 – преходна втулка, 4 – корпус, 5 – вретено, 6 – еластичен палец, 7 – фиксираща втулка, 8 – динамометър, 9 – гайка, 10 – винт за настройване, 11 – индуктивен датчик

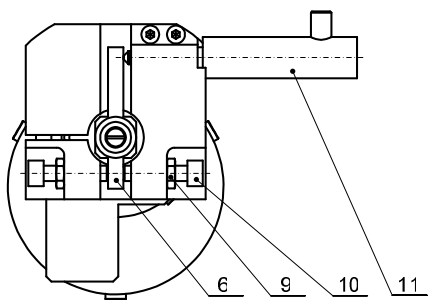
динамометъра. Чрез вретеното се гарантира завъртане на заготовката в определена посока и минимални осеви премествания, което е необходимо за по-точното отчитане на въртящия момент при фрезование.

Динамометърът се закрепва чрез корпуса 4 във стиска, базирана върху масата на обработващия център.

- експериментална измервателна уредба;

На фиг. 5.1 е показана схема на експерименталната измервателна уредба. Състои се от заготовка 1, динамометър 2, индуктивен датчик 3 (*IWT 102* – Германия), аналогов усилвател на сигнала 4 (*UM 111* – Германия), нискофреkwотен филтър 5 и плотер 6 (*SEFRAM-TGM.164* – Франция).

На фиг. 5.2 е показана разработената динамометрична установка. Динамометърът 8 и датчикът 11 са установени от едната страна на вретеното 5, а обработвана заготовка 1 е установена от другата страна в ексцентрикова втулка 2. Втулката 2 позволява по-рационално използване на площта на заготовката и гарантира съвпадане на осите на обработвания отвор, вретеното и еластичния палец 6 на



Фиг. 5.3. Динамометър за регистриране на въртящ момент.

На [фиг. 5.3](#) е показан динамометъра за регистриране на въртящия момент, който е изработен в лабораторията по „Технология на инструменталното производство“ на РУ „Ангел Кънчев“. Еластичният му елемент е палеца 6, изработен от пружинна стомана 65Г. Палецът е установен върху вретеното 5 с фиксираща втулката 7 и е базиран в определено положение чрез винтовете 10, служещи за настройка на динамометъра. Гайките 9 не позволяват на винтовете 10 да се саморазвият и по този начин да

нарушат настройката му. Чувствителността на динамометъра може да се променя, чрез промяна на дебелината на частта от палеца, намираща се между винтовете 10, която се явява деформиращо звено.

Принцип на работа на измервателната уредба:

При обработване на даден отвор, заготовката 1 се стреми да се завърти. Това движение се предава през вала на вретеното на палеца 6, като частта му намираща се между винтовете 10 се деформира, в резултат на което горната част на палеца се завърта. Датчикът 11 отчита преместване и подава сигнал. Полученият сигнал се предава през усилвателя и нискочестотния филтър на плотера, който го визуализира графично в съответен мащаб.

За подтискане на колебанията с висока амплитуда, които затрудняват точното отчитане на стойностите на въртящия момент, след усилвателя се включва нискочестотен RC филтър.

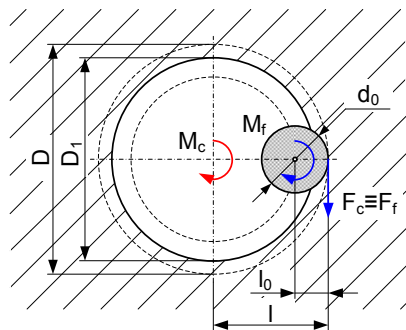
- *металорежеща машина;*

Експерименталните изследвания са проведени в лабораториите по „Управление на машиностроителна техника“ и „Технология на машиностроенето“ на РУ „Ангел Кънчев“. Използваната машина с ЦПУ е обработващ център MC 032, който е с пет управляеми оси и управление FANUC 6 M-B.

- *обработван материал.*

Обработваният материал е алуминиева сплав Д16 (ГОСТ 4784-74) със следните механични характеристики – $\sigma_B=450$ МПа, твърдост НВ 107, коефициент на удължение $A_5=17$ %.

5.2. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МОМЕНТА И СИЛАТА ПРИ ФРЕЗОВАНЕ НА ВЪТРЕШНИ РЕЗБИ.



Фиг. 5.4. Схема за определяне на въртящия момент и силата нарязане при фрезовање.

С разработената експериментална измервателна установка се определят въртящият момент M_c и тангенциалната сила нарязане F_c , съгласно схемата показана на [фиг. 5.4](#). За изчисляване на момента и силата при фрезовање, които се отчитат от измервателната установка се използват зависимостите:

$$M_c = F_c \cdot l, Nm \quad (5.1)$$

$$F_c = \frac{M_c}{l}, N \quad (5.2)$$

където l е разстояние в mm:

$$l = \frac{D}{2}, mm \quad (5.3)$$

При фрезовање на вътрешни резби, инструментът изпълнява планетно движение и не се намира в центъра на обработвания отвор, т.е. въртящия момент M_f

и силата на рязане при фрезозане F_f , които се създават от инструмента ще са различни от тези, които се отчитат с измервателната уредба. При известен, определен експериментално момент M_c , момента M_f и силата F_f се изчисляват по зависимостите:

$$M_f = \frac{M_c}{l} \cdot \frac{d_0}{2} = \frac{M_c \cdot d_0}{D}, Nm \quad (5.4)$$

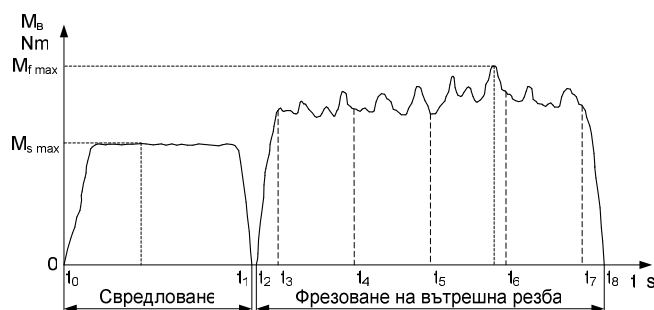
$$F_f = \frac{M_f}{l_0}, N \quad (5.5)$$

където l_0 е разстояние в mm :

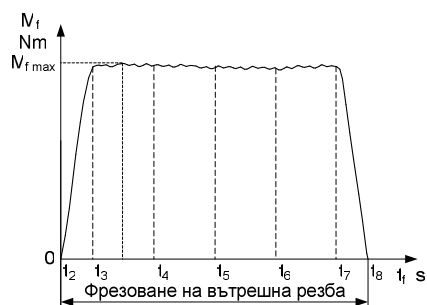
$$l_0 = \frac{d_0}{2}, mm \quad (5.6)$$

5.3. РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ.

5.3.1. ПРЕДВАРИТЕЛНИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ.



Фиг. 5.5. Изменение на въртящия момент при обработване на резбови отвори с комбиниран инструмент.



Фиг. 5.6. Въртящ момент при фрезозане на вътрешни резби с комбиниран инструмент.

Изменението на въртящия момент при проведените експериментални изследвания на процеса на обработване на резбови отвори с комбинирани инструменти, графично е илюстрирано на [фиг. 5.5](#). Графиката е получена без RC филтър. Изследван е комбиниран инструмент за формообразуване на вътрешни резби $M6 \times 1$, като дължината на фрезозаната резба е $2 \times D$, където D е външен диаметър на резбата.

Обработването включва етапите свредловане и формиране на фаска от t_0 до t_1 , и фрезозане на вътрешната резба от t_2 до t_8 за един оборот. На [фиг. 5.6](#) е показана как изглежда графиката само на процеса фрезозане при наличие на RC филтър.

От графиката на [фиг. 5.5](#) е видно, че при фрезозане на вътрешни резби се създава момент M_f , по-голям от момента при свредловане M_s . Затова експерименталните изследвания са проведени само за етапа фрезозане, като се цели да се определи въртящия момент, възникващ при фрезозане на вътрешни резби.

При експериментите вместо комбинирани инструменти са използвани палчеви фрези с параметри на работната част, идентични с параметрите на фрезоващата част на комбинираните инструменти.

В подкрепа на допустимостта на тази замяна са резултатите от проведения сравнителен експеримент, чрез който са сравнени максималните стойности на въртящите моменти при фрезозане M_f при еднакви реални условия. Резултатите от експеримента са дадени в [табл. 5.1](#).

Табл. 5.1. Резултати, получени за сравнителния експеримент при фрезозане на вътрешна резба M6x1.

Инструмент	Комбиниран инструмент M6x1		Палцева фреза Ø5		Разлика, %	
	Измерена стойност	Средна стойност	Измерена стойност	Средна стойност	Измерена стойност	Средна стойност
M _f , Nm	0,82	0,82	0,96	0,95	15	13
	0,79		0,91		13	
	0,84		0,98		14	

Палцевите фрези имат непрекъснат режещ ръб, което е предпоставка за получаването на по-голям въртящ момент. Както се вижда от табл. 5.1, моментът, който възниква при фрезозане с палчеви фрези е до 15% по-голям от момента при фрезозане на вътрешни резби с комбинирани инструменти. Това дава основание експерименталните изследвания да се проведат с инструменти с по-ниска цена, а получените резултати да се приложат при якостната проверка на разработените комбинирани инструменти, извършена в Глава 6.

5.3.2. ЕКСПЕРИМЕНТ I – ОПРЕДЕЛЯНЕ НА $M_f=f(D, L_f)$.

С първият експеримент е определена зависимостта на въртящият момент M_f при фрезозане на вътрешни резби от диаметъра D и дължината L_f на формообразуваната резба, т.е. $M_f=f(D, L_f)$.

Елементите на режима на рязане (скорост на рязане V_c и подаване на зъб f_z) са постоянни, т.е. $V_c=const$ ($V_c=30\text{ m/min}$) и $f_z=const$ ($f_z=0,015\text{ mm/зъб}$).

Същността на експеримента се състои в това, че с фреза с постоянен външен диаметър се обработват вътрешни резби с различна дължина в отвори с различни диаметри при постоянни режими на рязане. Отворите се свредловат предварително в съответствие с предварителните диаметри и дължини на резбите. С фрезата се обработва вътрешната повърхнина на отвора, до достигане диаметъра на резбата D .

След обработка на графичните данни, получените резултати за първия експеримент са дадени в табл. 5.2, табл. 5.3 и табл. 5.4. Продължителността на процеса фрезозане е означена с t_f и се измерва в s. Всеки един от опитите е извършен по три пъти, като в таблиците са дадени средните стойности на параметрите.

Табл. 5.2. Резултати от Експеримент I при изследване на фреза с диаметър Ø5 mm.

Резба	L _f , mm	M _c , Nm	F _c , N	M _f , Nm	F _f , N	t _f , s
M6x1	9	1,15	38,29	0,96	38,29	4,6
	6	0,71	23,82	0,60	23,82	4,6
	3	0,56	18,68	0,47	18,68	4,6
M8x1	9	1,10	27,49	0,69	27,49	7,6
	6	0,56	14,01	0,35	14,01	7,6
	3	0,36	9,11	0,23	9,11	7,6
M10x1	9	1,05	21,01	0,53	21,01	14,6
	6	0,38	7,57	0,19	7,57	14,6
	3	0,15	3,08	0,08	3,08	14,6

Табл. 5.3. Резултати от Експеримент I при изследване на фреза с диаметър Ø6 mm.

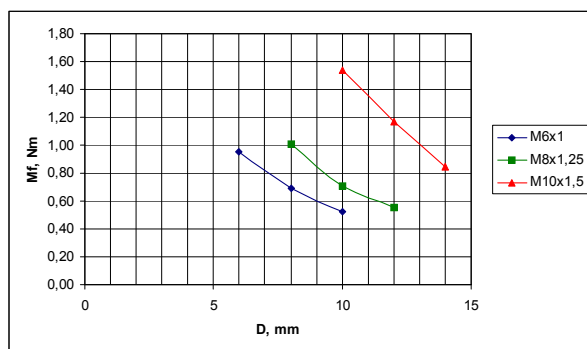
Резба	L _f , mm	M _c , Nm	F _c , N	M _f , Nm	F _f , N	t _f , s
M8x1,25	12	1,34	33,62	1,01	33,62	7,4
	8	0,74	18,56	0,56	18,56	7,4
	4	0,46	11,56	0,35	11,56	7,4

M10x1,25	12	1,18	23,54	0,71	23,54	14,4
	8	0,60	12,05	0,36	12,05	14,4
	4	0,31	6,16	0,18	6,16	14,4
M12x1,25	12	1,10	18,33	0,55	18,33	22,4
	8	0,49	8,17	0,25	8,17	22,4
	4	0,15	2,57	0,08	2,57	22,4

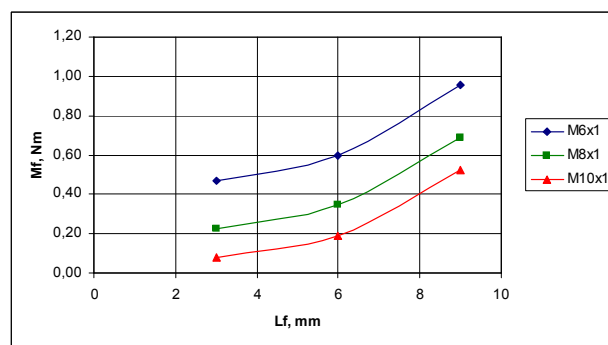
Табл. 5.4. Резултати от Експеримент I при изследване на фреза с диаметър $\varnothing 8 \text{ mm}$.

Резба	$L_f, \text{ mm}$	$M_c, \text{ Nm}$	$F_c, \text{ N}$	$M_f, \text{ Nm}$	$F_f, \text{ N}$	$t_f, \text{ s}$
M10x1,5	15	1,92	38,39	1,54	38,39	10
	10	1,33	26,62	1,06	26,62	10
	5	0,99	19,89	0,80	19,89	10
M12x1,5	15	1,76	29,30	1,17	29,30	20
	10	1,15	19,15	0,77	19,15	20
	5	0,84	14,01	0,56	14,01	20
M14x1,5	15	1,48	21,11	0,84	21,11	30
	10	0,78	11,21	0,45	11,21	30
	5	0,46	6,60	0,26	6,60	30

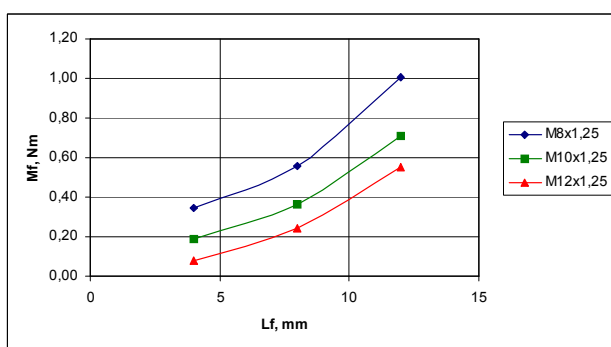
На фиг. 5.7, фиг. 5.8, фиг. 5.9 и фиг. 5.10 са представени в графичен вид получените резултати.



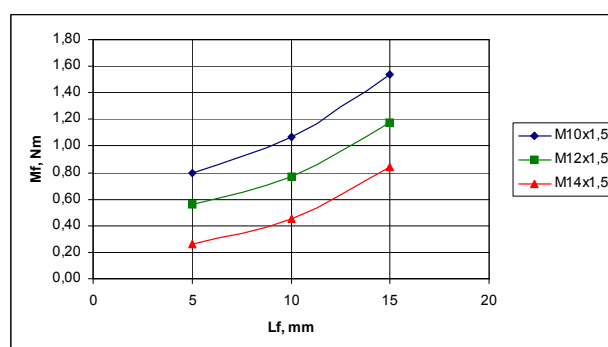
Фиг. 5.7. Зависимост на момента, възникващ при фрезозане от диаметъра на вътрешната резба.



Фиг. 5.8. Зависимост на момента, възникващ при фрезозане с фреза с диаметър $\varnothing 5$, от диаметъра и дължината на вътрешната резба.



Фиг. 5.9. Зависимост на момента, възникващ при фрезозане с фреза с диаметър $\varnothing 6$, от диаметъра и дължината на вътрешната резба.



Фиг. 5.10. Зависимост на момента, възникващ при фрезозане с фреза с диаметър $\varnothing 8$, от диаметъра и дължината на вътрешната резба.

5.3.3. ЕКСПЕРИМЕНТ II – ОПРЕДЕЛЯНЕ НА $M_f=f(V_c, f_f)$.

С вторият експеримент е определена зависимостта на въртящият момент M_f при фрезозане на вътрешни резби от елементите на режима на рязане (скорост на рязане V_c и подаване на зъб f_f), т.е. $M_f=f(V_c, f_f)$.

Диаметъра D и дължината L_f на формообразуваната резба са постоянни, т.е. $D=const$ и $L_f=const$.

Същността на експеримента се състои в това, че с фреза с постоянен външен диаметър се обработват вътрешни резби с постоянна дължина в отвори с еднакви диаметри при различни режими на рязане. Отворите се свредловат предварително в съответствие с предварителните диаметри и дължини на резбите. С фрезата се обработва вътрешната повърхнина на отвора, до достигане диаметъра на резбата D .

Проведен е пълен факторен експеримент от типа 2^2 .

След обработка на графичните данни, получените резултати за втория експеримент са дадени в табл. 5.5 и табл. 5.6. Продължителността на процеса на фрезозане е означена с t_f и се измерва в s. Всеки един от опитите е извършен по три пъти, като в таблиците са дадени средните стойности на параметрите.

Табл. 5.5. Резултати от Експеримент II при изследване на фреза с диаметър $\varnothing 6$ mm.

№ на опита	Фактори		Резба	L _f , mm (1,5xD)	M _c , Nm	F _c , N	M _{f1} , Nm	F _f , N	t _f , s
	V _c , mm/min	f _f , mm/зъб							
	Реална стойност								
1	30	0,015	M8x1,25	12	1,34	33,62	1,01	33,62	7,8
2	20	0,015			1,19	29,77	0,89	29,77	11,6
3	30	0,005			1,13	28,37	0,85	28,37	22,8
4	20	0,005			1,02	25,57	0,77	25,57	33,5
5	25	0,015			1,27	31,87	0,96	31,87	9,2
6	25	0,005			1,08	26,97	0,81	26,97	26,2
7	30	0,010			1,24	31,00	0,93	31,00	11,2
8	20	0,010			1,11	27,67	0,83	27,67	17,2

Табл. 5.6. Резултати от Експеримент II при изследване на фреза с диаметър $\varnothing 8$ mm.

№ на опита	Фактори		Резба	L _f , mm (1,5xD)	M _c , Nm	F _c , N	M _{f2} , Nm	F _f , N	t _f , s
	V _c , mm/min	f _f , mm/зъб							
	Реална стойност								
1	30	0,015	M10x1,5	15	1,92	38,39	1,54	38,39	10,0
2	20	0,015			1,71	34,18	1,37	34,18	14,2
3	30	0,005			1,30	26,06	1,04	26,06	27,6
4	20	0,005			1,06	21,29	0,85	21,29	40,5
5	25	0,015			1,81	36,14	1,45	36,14	11,5
6	25	0,005			1,18	23,54	0,94	23,54	32,5
7	30	0,010			1,61	32,22	1,29	32,22	14,2
8	20	0,010			1,39	27,74	1,11	27,74	21,2

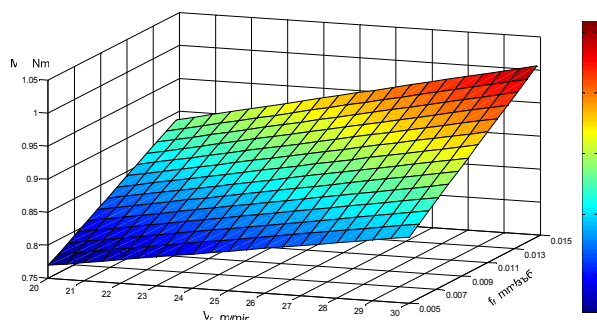
Чрез статистически анализ е определено влиянието на факторите V_c и f_f върху въртящия момент M_f , възникващ при фрезозане на вътрешни резби. За описване на влиянието на факторите съгласно табл. 5.5 и табл. 5.6, и за определяне на въртящите моменти, се използват математични модели, получени чрез регресионен анализ. Значимостта на коефициентите на моделите е определена по критерия на Стюдънт, а адекватността на моделите е определена по критерия на Фишер. Статистическата обработка на данните е извършена с програмата STATGRAPHICS Centurion.

Получени са следните математични модели за определяне на въртящите моменти M_{f1} и M_{f2} :

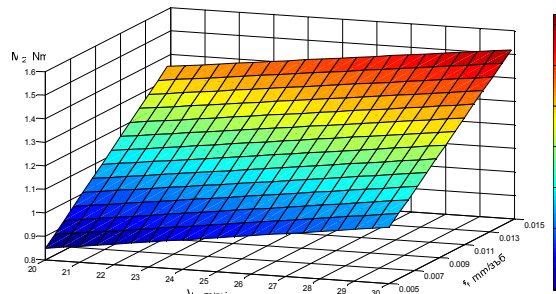
$$M_{f1} = 0,5879166 + 0,006.V_c + 4,3334.f_f + 0,4.V_c.f_f \quad (5.7)$$

$$M_{f2} = 0,18875 + 0,02 \cdot V_c + 56 \cdot f_f - 0,2 \cdot V_c \cdot f_f \quad (5.8)$$

Графична интерпретация на получените резултати след решаване на уравнения (5.7) и (5.8) е направена с програмата *MATLAB*, като получените графики са показани на [фиг. 5.11](#) и [фиг. 5.12](#).



Фиг. 5.11. Разпределение на момента M_{f1} .



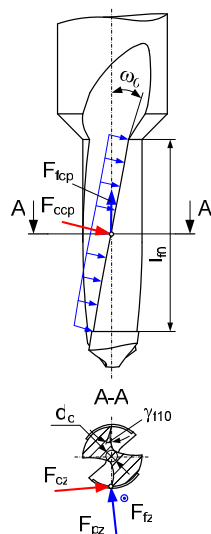
Фиг. 5.12. Разпределение на момента M_{f2} .

5.4. ИЗВОДИ.

1. Установено е, че с увеличаване на диаметъра на вътрешната резба D при постоянна стъпка P и дължина L_f , и постоянен външен диаметър на инструмента d_0 , моментът при фрезозване M_f намалява.
2. Доказано е, че с увеличаване дължината на вътрешната резба L_f при постоянен диаметър D и стъпка P , моментът при фрезозване M_f нараства.
3. Увеличаването на стъпката на вътрешната резба P , води до нарастване на момента при фрезозване M_f .
4. Установено е, че моментът при фрезозване M_f нараства с увеличаването на елементите на режима на рязане – скорост на главното движение V_c и подаване на зъб f_f , като влиянието на подаването е по-силно.

6. ЧИСЛЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ.

Чрез тези изследвания е определено якостното поведение на разработените комбинирани инструменти. Проведено е изследване на напрегнато-деформираното състояние на тримерни модели на комбинирани инструменти по метода на крайните елементи, чрез програмата *COSMOSWorks*.



Фиг. 6.1. Сили действащи на фрезоващата част на инструмента.

6.1. МОДЕЛИРАНЕ НА СИЛОВОТО НАТОВАРВАНЕ.

Изследва се комбиниран инструмент за обработване на резбови отвори и вътрешни резби $M6 \times 1$. Дължината на фрезоващата част е $1,5 \times D$, т.е. $l_{f0} = 9 \text{ mm}$, където D е номинален диаметър на формообразуваната вътрешна резба.

Разглежда се този инструмент, тъй като той е с най-малки размери и с конструкция най-застрашена от приложеното силово натоварване.

Разпределението на силите, действащи върху фрезоващата част, е съгласно схемата, показана на [фиг. 6.1](#), където:

- F_{ccp} е средна тангенциална сила в N ;
- F_{fcp} – средна осова сила, N ;
- F_{cz} – тангенциална сила, действаща на един зъб от фрезоващата част, N ;

- F_{pz} – радиална сила, действаща на един зъб от фрезоващата част, N ;
- F_{fz} – осова сила, действаща на един зъб от фрезоващата част, N .

Прието е изследването да бъде реализирано при стойност на средната тангенциална сила $F_{csp}=100N$, която е около два пъти по-голяма от експериментално определената тангенциална сила в Глава 5.

Определят се тангенциалната, радиалната и осевите сили, действащи на всеки профилен зъб z_0 при три различни стойности на $\omega_0=5^\circ$, 15° и 25° . Броят на профилните зъби при дължина на фрезоващата част $1,5xD$ е $z_0=8$. Тогава силите, действащи върху един профилен зъб са:

$$F_{cz} = \frac{F_{csp}}{z_0} = \frac{100}{8} = 12,5 N \quad (6.1)$$

$$F_{pz} = 0,8.F_{cz} = 0,8.12,5 = 10 N \quad (6.2)$$

$$F_{fz} = 0,28.F_{cz}.tg\omega_0 \quad (6.3)$$

$$F_{fz} = 0,28.12,5.tg5 = 0,306 N \quad (6.4)$$

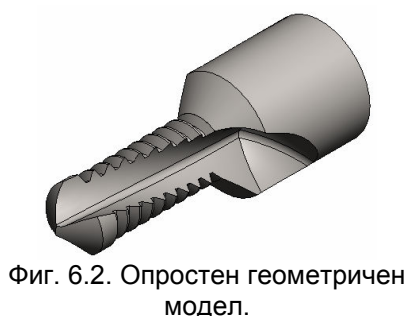
$$F_{fz} = 0,28.12,5.tg15 = 0,938 N \quad (6.5)$$

$$F_{fz} = 0,28.12,5.tg25 = 1,632 N \quad (6.6)$$

6.2. ИЗСЛЕДВАНЕ ПО МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ.

Изследването се реализира чрез изпълнение на следните етапи:

- опростяване на примерния модел – [фиг. 6.2](#);



За реализиране на изследванията по метода на крайните елементи е необходимо опростяване на модела. Това намалява времето за обработка на данните. Времето за обработка се влияе и от вида и големината на избраните крайни елементи.

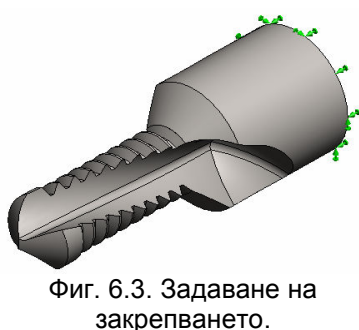
За опростяването на модела са пренебрегнати и премахнати затилованията на свредловащата, фрезоващата и конусната част. Намалена е и дължината на съединителната част.

- избор на материал за инструмента;

Материалът, от който се изработва инструмента е бързорежеща стомана $P6M5$ с характеристики – твърдост $HRC\ 64\div65$ и модул на еластичност $E=190\ 000\div210\ 000\ Mpa$.

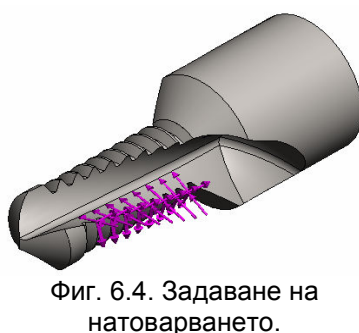
Материалът приет в *COSMOSWorks*, който съответства на стомана $P6M5$ е инструментална стомана от типа *AISI Type A2 Tool Steel*.

- задаване на закрепването – [фиг. 6.3](#);

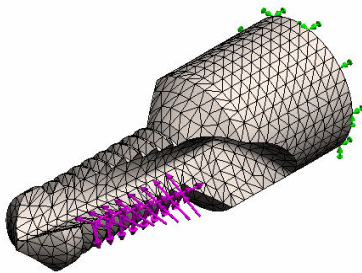


Прието е закрепването да е реализирано чрез ограничаване на всички степени на свобода на напречната равнина, представляваща окръжност. Предпоставка за това е принципът на Сен-Венан.

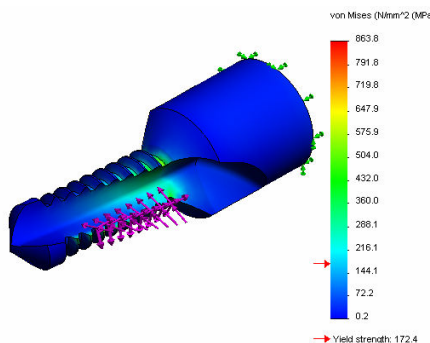
- задаване на натоварването – [фиг. 6.4](#);



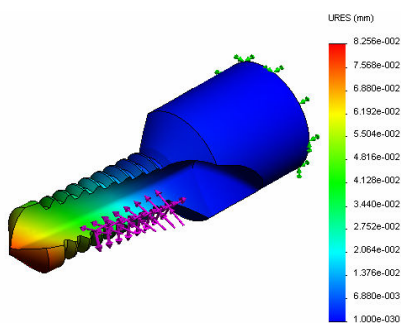
Задават се съсредоточени сили върху всеки зъб, действащи по режещия ръб и насочени в три



Фиг. 6.5. Дискретизиране на модела.



Фиг. 6.6. Разпределение на еквивалентните напрежения $\sigma_{екв}^{IV}$.



Фиг. 6.7. Разпределение на преместванията u .

направления – нормално на цилиндричната повърхнина, тангенциално на цилиндричната повърхнина и по надлъжната ос. COSMOSWorks преобразува тези сили в равномерно разпределен товар

- дискретизиране на модела – [фиг. 6.5](#).

За дискретизирането на модела са използвани тетраедърни изопараметрични крайни елементи. Прието е изчисления да се проведат при две гъстоти на мрежата. При първата, големината на крайните елементи е 0.750 mm , а при втората $0,325 \text{ mm}$.

Резултатите, които се получават чрез COSMOSWorks са илюстрирани на [фиг. 6.6](#) и [фиг. 6.7](#).

На [фиг. 6.6](#) е показано разпределението на еквивалентните напрежения $\sigma_{екв}^{IV}$, чрез които се определя застрашеното сечение. Както се очаква, това е сечението между фрезоващата и конусната част.

На [фиг. 6.7](#) е показано разпределението на преместванията u на конструкцията. Максимални премествания се получават при върха на инструмента.

В дясно на фигурите се намира цетова скала, по която се отчитат стойностите на еквивалентните напрежения и преместванията. Местата от конструкцията, които са в най-ярки цветове, съответстват на максималните напрежения или премествания.

6.3. РЕЗУЛТАТИ ОТ ЧИСЛЕНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ.

Факторите, които са изследвани и оказващи влияние върху якостното поведение на конструкцията на комбинираните инструменти са:

- ъгъл на наклона на стружковите канали ω_0 в $^\circ$;
- преден ъгъл на фрезоващата част γ_{f10} , $^\circ$;
- диаметър на сърцевината на инструмента d_c , mm .

Численият експеримент е проведен при използване на пълен факторен експеримент от типа 2^3 . Чрез експеримента се отчитат максималните еквивалентни напрежения $\sigma_{екв}^{IV} = f(\omega_0, \gamma_{f10}, d_c)$, определени по IV якостна теория в MPa , преместванията на конструкцията $u = f(\omega_0, \gamma_{f10}, d_c)$ в μm и мястото, където се намира застрашеното сечение на конструкцията на инструмента.

Резултатите, получени за $\sigma_{екв}^{IV}$ и u от изследването по метода на крайните елементи, са дадени в [табл. 6.1](#).

Табл. 6.1. Резултати, получени за еквивалентните напреженията $\sigma_{екв}^{IV}$ и преместванията u , при изследване на тримерни модели.

№ на опита	Конструктивни фактори			Резултати			
				Решение 1, големина на KE – $0,750 \text{ mm}$		Решение 2, големина на KE – $0,325 \text{ mm}$	
	ω_0 , $^\circ$	γ_{f10} , $^\circ$	d_c , mm	$\sigma_{екв}^{IV}$, MPa	u , μm	$\sigma_{екв}^{IV}$, MPa	u , μm
	Реална стойност						

1	25	10°	0,877	560	58.9	700	60.1
2	5°	10°	0,877	852	90.2	960	93.5
3	25°	0°	0,877	600	56.8	690	58.4
4	5°	0°	0,877	680	86.5	920	89.4
5	25°	10°	0,693	690	64.3	780	66.2
6	5°	10°	0,693	962	96.2	1160	100
7	25°	0°	0,693	690	61.5	760	63.5
8	5°	0°	0,693	1009	91	1120	94.6
9	25°	5°	0,785	630	61	720	62.9
10	5°	5°	0,785	865	89.3	1050	92.5
11	15°	10°	0,785	835	81.9	960	84.6
12	15°	0°	0,785	825	78.4	920	81.0
13	15°	5°	0,877	825	77.5	880	80.0
14	15°	5°	0,693	855	82.6	1010	85.4

Чрез статистически анализ е определено влиянието на факторите върху еквивалентните напрежения и преместванията на конструкцията на инструмента. За описване на взаимното влияние на факторите, съгласно табл. 6.1 и за определяне на еквивалентните напрежения $\sigma_{екв}^{IV}$ и преместванията u се използват математични модели, получени чрез регресионен анализ. Значимостта на коефициентите на моделите е определена по критерия на Стюдънт, а адекватността на моделите е определена по критерия на Фишер. Статистическата обработка на данните е извършена с програмата *STATGRAPHICS Centurion*.

Използвани са резултатите получени за *Решение 2*, при големина на крайните елементи 0.325 mm , където еквивалентните напрежения $\sigma_{екв}^{IV}$ и преместванията u са получени с по-висока точност.

Получени са следните математични модели за определяне на $\sigma_{екв}^{IV}$ и u :

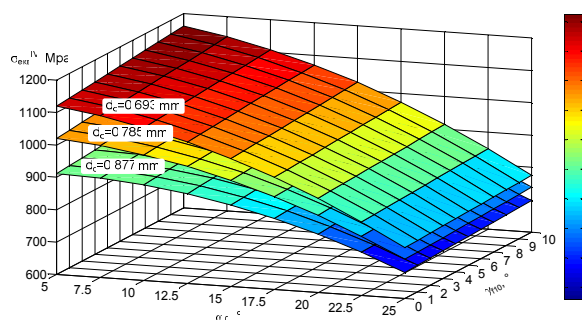
$$\sigma_{екв}^{IV} = 2005,628375 - 24,690625.\omega_0 + 4,875.\gamma_{f10} - 1248,576375.d_c - 0,125.\omega_0.\gamma_{f10} + 33,965625.\omega_0.d_c - 0,565.\omega_0^2 \quad (6.7)$$

$$u = 117,58714 - 0,13325.\omega_0 + 0,54125.\gamma_{f10} - 30,75927.d_c - 0,01275.\omega_0.\gamma_{f10} - 0,0464.\omega_0^2 \quad (6.8)$$

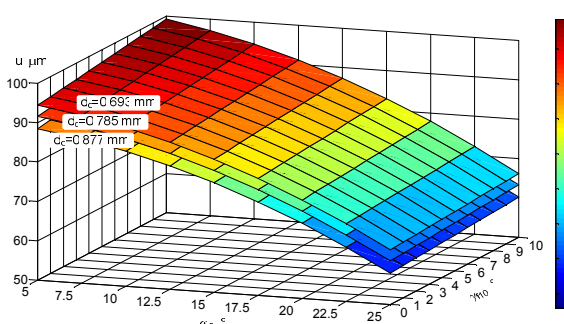
Направено е изследване за определяне на фактора, влияещ най-силно върху изменението на еквивалентните напрежения $\sigma_{екв}^{IV}$ и преместванията u на конструкцията на инструмента, т.е. фактора с най-голяма остатъчна дисперсия S_y^2 .

Това е ъгълът на наклона на стружковите канали ω_0 .

Графична интерпретация на получените резултати след решаване на уравнения (6.7) и (6.8) е направена с програмата *MATLAB*, като получените графики са показани на фиг. 6.8 и фиг. 6.9.



Фиг. 6.8. Разпределение на еквивалентните напрежения $\sigma_{екв}^{IV}$.



Фиг. 6.9. Разпределение на преместванията u .

6.4. ИЗВОДИ.

1. Установено е, че с намаляване на ъгъла на стружковите канали ω_0 и диаметъра на сърцевината d_c , и увеличаване на предния ъгъл на зъбите на фрезоващата част γ_{f10} , еквивалентните напрежения $\sigma_{екв}^{IV}$ и преместванията u на конструкцията на инструмента, нарастват.

2. Определени са факторите, влияещи най-силно върху изменението на еквивалентните напрежения $\sigma_{екв}^{IV}$ и преместванията u на конструкцията на инструмента. Първи по значимост е ъгълът на наклона на стружковите канали ω_0 , втори е диаметърът на сърцевината d_c и трети е предният ъгъл на зъбите на фрезоващата част γ_{f10} .

НАУЧНО – ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно-приложни приноси:

1. Разработени са нови конструкции комбинирани инструменти за формообразуване на вътрешни резби и са създадени методики за определяне на конструктивните и геометричните им параметри. Чрез CAD системата *SolidWorks* е разработена конструктивната им документация.

2. Разработени са програми на *Microsoft Office Excel*, за автоматизирано пресмятане на конструктивните и геометричните параметри на комбинираните инструменти.

3. Разработен е нов аналитичен метод за определяне на профила на инструменталната повърхнина на фрези за фрезозане на вътрешни резби.

4. Разработен е нов графичен метод чрез CAD системата *SolidWorks*, за определяне на профила на инструменталната повърхнина на фрези за фрезозане на вътрешни резби.

5. Разработен е нов графичен метод чрез CAD системата *SolidWorks*, за определяне влиянието на конструктивните параметри – преден ъгъл и височина на затиловане, върху профила на инструменталната повърхнина на фрези за фрезозане на вътрешни резби.

6. Установено е, че с увеличаване на диаметъра на резбата, при постоянна стъпка на резбата и постоянен външен диаметър на инструмента, отклонението на профилния ъгъл на инструменталната повърхнина намалява.

7. Доказано е, че замяната по технологични съображения на криволинейната образуваща на профила на инструменталната повърхнина, получен след профилиране по аналитичен или графичен път с права линия, предизвиква незначителни отклонения на профила.

8. Установено е, че при фрезозане на вътрешни резби с инструменти с постоянен външен диаметър и височина на затиловане, с увеличаване на предния ъгъл на зъбите на фрезоващата част, височината на профила и отклонението на профилния ъгъл на инструменталната повърхнина нарастват, като ширина на зъбите се запазва постоянна.

9. Установено е, че с увеличаване на диаметъра на вътрешната резба при постоянна стъпка на резбата и постоянен външен диаметър на инструмента, височината на профила и отклонението на профилния ъгъл на инструменталната повърхнина намаляват.

Приложни приноси:

1. Разработени са варианти на технологичните схеми на обработване на резбови отвори и формообразуване на вътрешни резби с комбинирани инструменти.

2. Разработена е технология за обработване на резбови отвори с комбинирани инструменти.

3. Съставена е примерна управляваща програма за обработване на резбови отвори на обработващи центри, чрез използване възможностите на езика *MACRO*.
4. Установено е, че с увеличаване на диаметъра на вътрешната резба при постоянна стъпка и дължина, и постоянен външен диаметър на инструмента, моментът при фрезозане намалява.
5. Доказано е, че с увеличаване дължината на вътрешната резба при постоянен диаметър и стъпка, моментът при фрезозане нараства.
6. Установено е, че моментът при фрезозане нараства с увеличаването на елементите на режима на рязане – скорост на главното движение и подаване на зъб, като влиянието на подаването е по-силно.
7. Определено е якостното поведение на разработените комбинирани инструменти, като е изследвано напрегнато-деформираното състояние на тримерни модели по метода на крайните елементи.
8. Установено е, че с намаляване на ъгъла на стружковите канали и диаметъра на сърцевината, и увеличаване на предния ъгъл на зъбите на фрезоващата част, еквивалентните напрежения и преместванията на конструкцията на инструмента, нарастват.
9. Определени са факторите, влияещи най-силно върху изменението на еквивалентните напрежения и преместванията на конструкцията на инструмента. Първи по значимост е ъгълът на наклона на стружковите канали, втори е диаметърът на сърцевината и трети е предният ъгъл на зъбите на фрезоващата част.

ПУБЛИКАЦИИ

1. Иванов В., Н. Станков. **Високопроизводително формообразуване на вътрешни резби с комбинирани инструменти.** Сборник научни трудове, том 45, серия 2.1, „Машиностроителни технологии и механика“, Русе, 2006, стр. 115-120.
2. Иванов В., Н. Станков. **Конструирание на комбинирани инструменти за формообразуване на вътрешни резби.** Сборник научни трудове, том 46, серия 1, „Машиностроителни технологии“, Русе, 2007, стр. 196-206.
3. Иванов В., Н. Станков, А. Иванов. **Профилиране на гребеновидни фрези.** Сборник научни трудове, том 46, серия 1, „Машиностроителни технологии“, Русе, 2007, стр. 207-212.
4. Станков Н. **Технология за обработване на резбови отвори с комбинирани инструменти и особености на програмното осигуряване при използването им.** Сборник научни трудове, том 48, серия 2, „Машиностроителни технологии и механика“, Русе, 2009, стр. 52-57.
5. Станков Н., А. Иванов, И. Драганов. **Изследване на напрегнато-деформираното състояние на комбинирани инструменти за обработване на резбови отвори.** Списание „Машини, технологии, материали“, година IV, брой 6, София, 2010, стр. 60-62.

РАЗРАБОТВАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА КОМБИНИРАНИ ИНСТРУМЕНТИ ЗА ОБРАБОТВАНЕ НА РЕЗБОВИ ОТВОРИ

Резюме

Николай Тодоров Станков
Русенски Университет „Ангел Кънчев”

Разработена е нова конструкция комбинирани инструменти за обработване на резбови отвори и формообразуване на вътрешни резби в корпусни детайли. Процесът на обработване включва преходите свредловане, формиране на фаска и фрезование на вътрешната резба. Комбинирането на различните преходи води до значително увеличаване на производителността и ефективността на обработването, постига се висока точност и се намаляват машинните времена.

Разработена е методика и са изведени зависимостите за определяне на конструктивните и геометричните параметри на отделните съставни части на комбинираните инструменти.

Профилът на инструменталната повърхнина на фрезоващата част на инструмента е определен чрез нов аналитичен и графичен метод. По графичен път е определено и влиянието на някои геометрични параметри върху профила на инструменталната повърхнина, получена след профилиране.

Определени са движенията, които извършват комбинираните инструменти, технологичните схеми, по които работят и е разработена технология за обработване на резбови отвори.

Чрез експериментални изследвания са определени въртящите моменти и силите на рязане, които възникват при фрезование на вътрешни резби.

По метода на крайните елементи е определено якостното поведение на комбинираните инструменти, като е изследвано напрегнато-деформираното състояние на тримерни модели на комбинирани инструменти.

Бих желал да изразя своята благодарност към научния си ръководител проф. д-р Велико Колев Иванов, който ме насочи към интересната проблематика, както и за неговата подкрепа, отзивчивост и насърчаване в работата.

Издавам и сърдечни благодарности на всички колеги, които оказваха съдействие с ценни препоръки, забележки и позитивна критика към работата ми по дисертационния труд.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF COMBINED TOOLS FOR MACHINING OF THREADED HOLES

Abstract

Nikolay Todorov Stankov
Ruse University "Angel Kanchev"

New combined tools for machining of threaded holes and shaping of internal threads in the housings are developed. The machining process involves the following transitions – drilling, countersinking and thread milling. The combination of different transitions leads to a significant increase in productivity and efficiency of the machining process. High accuracy is also achieved and the machine times are reduced.

A methodology is developed and formulas for determining the structural and geometric parameters of the separate parts of the combined tools are derived.

The tool surface profile of the milling part is determined with new analytical and graphical method. The influence of some geometrical parameters on the tool surface profile which is obtained after profiling is graphically defined.

The movements performed by the combined tools and the technological schemes for machining are determined. A technology for machining of threaded holes is developed.

The rotating moments and the cutting forces arising from the internal thread milling are determined by the experimental researches.

The strength behavior of the combined tools is determined with the finite element method by researching the stress-strain state of 3D models of the combined tools.

I would like to express my gratitude to my PhD supervisor Prof. Veliko Kolev Ivanov DSc., who introduced me to the interesting problem and his supported and encourage me in this work.

Also express warm gratitude to all colleagues who helped me with valuable advice, comments and positive criticism of my work on the PhD thesis.