



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ФИЛИАЛ ПЛОВДИВ

ФАКУЛТЕТ ПО МАШИНОСТРОЕНЕ И УРЕДОСТРОЕНЕ
КАТЕДРА МАШИНОСТРОИТЕЛНА ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

маг. инж. МИРОСЛАВ СТАНИСЛАВОВ АЛЕКСИЕВ

ОБРАБОТВАНЕ ЧРЕЗ РЯЗАНЕ С ВЪРТЯЩИ СЕ
ИНСТРУМЕНТИ НА МАШИНИ С ЦПУ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за получаване на образователна и научна степен
“ДОКТОР”

Научна област 5. Технически науки
Професионално направление 5.1. Машинно инженерство
Специалност “ Рязане на материалите и режещи инструменти ”

Научен ръководител:

доц. д-р инж. Ангел Стоилов Попаров

ПЛОВДИВ 2017

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „МТТ“ към Факултет ФМУ на ТУ-София ф-л Пловдив на редовно заседание, проведено на 17.10.2017г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 12.03.2018 г. от 15.30 часа в : ТУ- София, Филиал Пловдив, ул. "Цанко Дюстабанов" № 25, IV корпус, зала 4425 на открито заседание на научното жури, определено със заповед №: ОЖ-333 от 09.11.2017г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Доц. д-р Румен Димитров Митев – председател
2. Доц. д-р Ангел Стоилов Попаров – научен секретар
3. Проф. д-тн Васил Стефанов Костадинов
4. Проф. д-р Ангел Антонов Диков
5. Доц. Евстати Лефтеров Лефтеров

Рецензенти:

1. Проф. д-р Ангел Антонов Диков
2. Доц. Евстати Лефтеров Лефтеров

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет МУ на ТУ-София филиал Пловдив.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „МТТ“ на факултет МУ. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Дисертантът е разработил дисертационния труд като редовен докторант към катедра “Машиностроителна техника и технологии” на Технически университет – София, филиал Пловдив.

С помощта на докторантски проект към ТУ – София на тема “ Обработване чрез рязане с въртящи се инструменти на машини с ЦПУ“, договор **№152ПД0057-24**.

Автор: маг. инж. Мирослав Алексиев

Заглавие: ОБРАБОТВАНЕ ЧРЕЗ РЯЗАНЕ С ВЪРТЯЩИ СЕ ИНСТРУМЕНТИ НА МАШИНИ С ЦПУ

Обща характеристика на дисертационния труд.

Актуалност:

През последните няколко десетилетия металоурежещите машини с ЦПУ и съвременните инструменти позволяват високоскоростно рязане с въртящи се инструменти. Този тип обработки се характеризира с едновременното въртене на инструмента и заготовката. Сложността на кинематиката на процеса води до сложно определяне на основните параметри на процеса на рязане. Налага се да се разработят нови методи за обработка, които да отговорят на нарасналите изисквания за висока производителност, което обуславя актуалността на настоящата разработка.

Обект на изследването:

Настоящия дисертационен труд е разработен за три високопроизводителни метода за обработка на стругови детайли, като са определени геометричното място на точка от урежещия ръб, геометрични параметри на урежещия клин, параметри на режима на рязане и качествените характеристики на получените повърхнини. Разгледни са основни кинематични схеми на рязане с въртящи се инструмент, когато той и заготовката са с успоредни, пресичащи се и кръстосани оси на въртене;

Научна новост и практическа значимост

Разработените методи за определяне на изменението на инструменталните ъгли в работни на инструмента са удобни за по-бързо и същевременно много точно определяне на геометричните параметри на инструмента. Точността на методите се определя от това, че са използвани общоприети математически похвати, чрез които е изведен ъгълът с който се променят инструменталните ъгли в работни. Друга основна значимост е разработения метод за определяне на качествените характеристики на получените повърхнини. Основно преимущество на този метод е, че чрез извеждане на уравнението на повърхнината образувана от съответния урежещ ръб, може да се определи формата и размерите на получената повърхнина. Лесно може да се определи кой от параметрите на режима на рязане оказва най-съществено влияние на грапавостта на получената повърхнина.

Апробация на резултатите

Основни резултати от дисертационния труд са докладвани, обсъдени и публикувани в:

1. Алексиев М. Ст, "Графо-аналитичен метод за определяне на работните ъгли на стругарски ножове ", Списание на ТУ София филиал Пловдив том 21, книга 2, 2015 "ТЕХСИС-2015", Пловдив, България, стр. 61, ISSN-1310-8271.
2. Stanislav Aleksiev, Miroslav Aleksiev, Angel Poparov, "Shape of the teeth of gears transferring great torque for made from plastics", 11th International Conference on Tribology", vol. 5, number 05, pp. 287-290, 2015, Sozopol, Bulgaria, Technical University of Sofia. ISSN: 1313-9878
3. Stanislav Aleksiev, Miroslav Aleksiev, "Theoretical justification for the selection of curves engage manufacturing of gears from polymer material", 11th International Conference on Tribology", vol. 5, number 05, pp. 291-295, 2015, sozopol, bulgaria, technical university of sofia. ISSN: 1313-9878
4. Miroslav Aleksiev, Stanislav Aleksiev, "High-processing methods for lathes details using cnc machines", 15th "international scientific conference", vol. 1, issue 1, pp. 89-91, 2016, smolyan - bulgaria , isbn 978-619-7180-78-7.

Публикации

Резултатите от научните изследвания са отразени в 4 публикации.

Обем и структура на дисертацията

Дисертационният труд съдържа 165 страници, от които 154 стр. е основен текст, 4 стр. съдържание, 7 стр. литература. Основният текст е оформен в 6 глави и има 113 фигури и 4 таблици. Използваните литературни източници са 137, от които 61 – на кирилица, 76 – на латиница.

Съдържание на дисертационния труд.

ГЛАВА ПЪРВА: Съвременно състояние на проблема, съвременни технологии, машини, инструменти и теоретични разработки.

Направен е обзор на съвременно състояние на проблема, съвременни технологии, машини, инструменти и теоретични разработки.

Основна цел и задачи.

На базата на направения литературен обзор беше формулирана **ОСНОВНАТА ЦЕЛ** на дисертационния труд: **Да се разработят методи за обработване на детайли върху стругови центри, чрез събиране на въртения на инструмент и заготовка и се създадат условия за практическата им реализация.**

За постигане на поставената цел е необходимо да се решат следните **ЗАДАЧИ**:

1. Да се разработи метод за обработване на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато той и заготовката са с успоредни оси.

Да се изведат:

- Уравнения на тректорията на точка от режещия ръб на инструмента;
- Методи за определяне на ъгъла на работното направление η , с който се променят инструменталните ъгли в работни ъгли;
- Зависимости за определяне на стойностите на параметрите на режима на рязане;
- Начини за определяне на качествените характеристики на обработената повърхнина:

2. Да се разработи метод за обработване на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато той и заготовката са с пресичащи се оси под 90° .

Да се изведат:

- Уравнения на тректорията на точка от режещия ръб на инструмента;
- Методи за определяне на ъгъла на работното направление η , с който се променят инструменталните ъгли в работни ъгли;
- Зависимости за определяне на стойностите на параметрите на режима на рязане;
- Начини за определяне на качествените характеристики на обработената повърхнина:

3. Да се разработи метод за обработване на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато той и заготовката са с кръстосани оси под 90° .

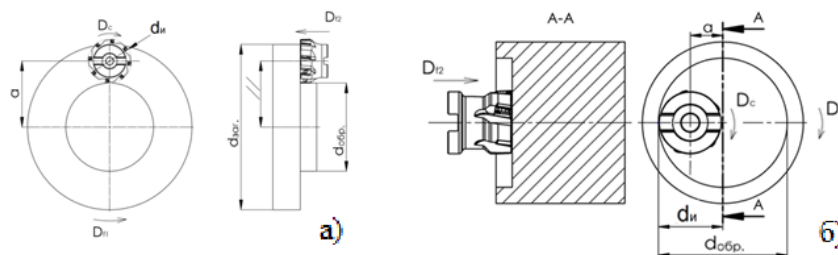
Да се изведат:

- Уравнения на тректорията на точка от режещия ръб на инструмента;
- Методи за определяне на ъгъла на работното направление η , с който се променят инструменталните ъгли в работни ъгли;
- Зависимости за определяне на стойностите на параметрите на режима на рязане;
- Начини за определяне на качествените характеристики на обработената повърхнина:

ВТОРА ГЛАВА: Обработване на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с успоредни оси.

При обработване на стругови повърхнини с въртящ се инструмент разположен, така че оста на вътене на заготовката и инструментът да са успоредни, се разглеждат три основни случая - обработване на цилиндрични, конусни и челни повърхнини. Повърхнините биват външни и вътрешни.

В точка 2.1.1 са разгледани кинематични схеми за обработване на външни а) и вътрешни б) цилиндрични повърхнини;



Фиг. 2.1.1. Фрезование на цилиндрична повърхнина, когато осите на въртене на инструментът и заготовката са успоредни – а) външна б) вътрешна.

Изведена е траектория на точка от режещия ръб на инструмента в пространството на заготовката, която се описва с уравнение 2.1.1.

$$\begin{aligned} x &= a \cdot \cos(\varphi_1) + (d_i/2) \cdot \cos((i_{12} \pm 1) \cdot \varphi_1) \\ y &= a \cdot \sin(\varphi_1) - (d_i/2) \cdot \sin((i_{12} \pm 1) \cdot \varphi_1) \\ z &= (h/360) \cdot \varphi_1 \end{aligned} \quad 2.1.1$$

където:

a – междуосово разстояние на инструмента и заготовката.

При обработване на външна цилиндрична повърхнина – $a = (d_{обр.} + d_i)/2$;

При обработване на вътрешна цилиндрична повърхнина – $a = (d_{обр.} - d_i)/2$;

$d_{обр.}$ – диаметър на обработената повърхнина;

d_i – диаметър на инструмента;

$d_{заг.}$ – диаметър на заготовката;

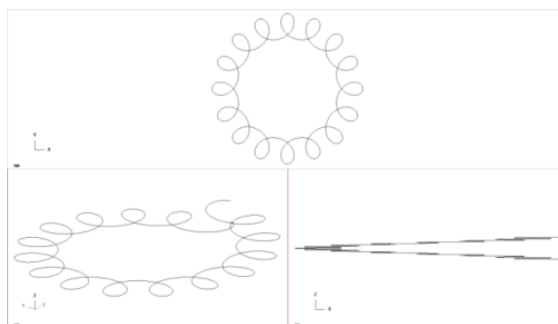
i_{12} – предавателно отношение показващо колко пъти инструмента се е завъртял около оста си за един оборот на заготовката. $i_{12} = \varphi_2 / \varphi_1$;

h – стъпка на винтовата линия;

φ_1 – ъгъл на завъртане на заготовката. φ_1 се променя от 0 до 360°;

φ_2 – ъгъл на завъртане на инструмента. $\varphi_2 = i_{12} \cdot \varphi_1$;

На фиг. 2.1.2. е показано графично траекторията на точка от режещия ръб описана с уравнение 2.1.1. – кривата представлява винтова линия описвана от удължена епициклоида.



Фиг. 2.1.2. Траектория на точка от режещия ръб която се описва с уравнение 2.1.1.

В точка 2.1.2 се определят геометричните параметри и изменението на инструменталните ъгли в работни ъгли, при обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент, когато осите на въртене на инструментът и заготовката са успоредни.

Обработването на цилиндрични повърхнини се извършва с челно-цилиндрични фрези. Цилиндричната част на инструмента обработва цилиндричната част от заготовката и нейния вид е показан на фиг. 2.1.1. в координатната равнина Oxy . Челната част на инструмента се движи по удължена епициклоида по винтова линия което е показано на фиг. 2.1.1. в координатната равнина Oxz .

За определяне на работните ъгли е необходимо да се определят ъглите с които се променят инструменталните. Тези ъгли променят геометрията на режещия клин, както по челната повърхнина на фрезата, така и по цилиндричната. За тяхното определяне е необходимо да се дефинират скоростта на рязане V_c и работната скорост V_e и се намери ъгълът между тях η . С този ъгъл ще се изменят инструменталните ъгли в работни. Тъй като фрезата работи както с челната, така и с цилиндричната част, то трябва да се намери изменението и по двете части.

В тази глава са разгледани четири начина за определянето на ъгъл η и то само в равнината Oxy , т.е. ъгъл η_{xy} .

Първи начин.

Графо-аналитичен метод: изхождайки от параметричното уравнение се определя ъгъл η_{xy} с помощта на аналитичното определяне на първите производни. След което се построява графика на изменение на ъгъл η_{xy} за един оборот на инструмента и от нея се отчита $\eta_{xy \max}$. Този ъгъл трябва да е по-малък от инструменталния заден ъгъл на подбрения инструмент за извършване на операцията.

Геометричният смисъл на понятието първа производна е $-\dot{f}(x_0) = \tan \nu$, т.е. стойността на първата производна на една функция в дадена точка е равна на тангенса от ъгъла, който сключва допирателната към графиката на функцията в същата точка с положителната абсисна ос.

За определянето на ъгъл η_{xy} в координатната равнина Oxy се използва геометричният смисъл на първите производни на траекторията на точка от режещия ръб и описаната окръжност около външния диаметър на инструмента (фиг 2.1.5.). Фигурата е построена по следния начин:

- Построява се траекторията (3) на точка от режещия ръб в съответната координатната система.
- Определят се ъгла μ , който сключва моментното направление на скоростта рязане V_c (1) с положителната ос x .
- Определят се ъгла ν , който сключва моментното направление на работната скорост V_e (2) с положителната ос x .
- Ъгъл $\eta_{xy} = \mu - \nu$ ъгълът с който се изменят инструменталните ъгли по цилиндричната част на фрезата.

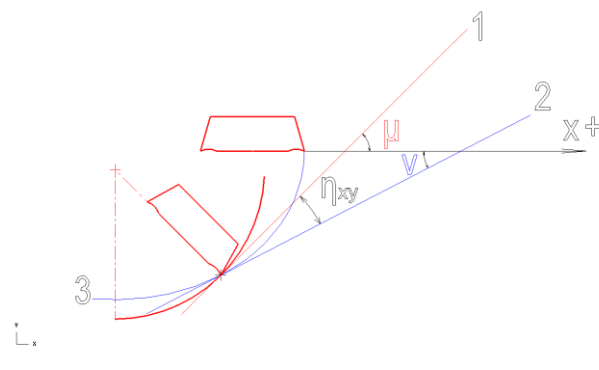
Траекторията на точка от режещия ръб в равнина Oxy се описва с уравнение 2.1.2:

$$x = a \cdot \cos(\varphi_1) + (d_w/2) \cdot \cos((i_{12}-1) \cdot \varphi_1)$$

$$y = a \cdot \sin(\varphi_1) - (d_w/2) \cdot \sin((i_{12}-1) \cdot \varphi_1)$$

$$z = 0$$

2.1.2



Фиг. 2.1.3. Схема за определяне на ъгъл η_{xy} по цилиндричната част на инструмента.

Уравнение 2.1.3 представлява уравнение на окръжност, която описва точка от режещия ръб при въртеливото движение на инструмента:

$$\begin{aligned}x &= (d_w/2) \cdot \cos((i_{12} \pm 1) \cdot \varphi_1) \\y &= - (d_w/2) \cdot \sin((i_{12} \pm 1) \cdot \varphi_1)\end{aligned} \quad 2.1.3$$

От фиг. 2.1.3 се вижда че ъгъл μ е ъгълът който сключва моментното направление на скоростта рязане V_c (1) с положителната ос x . Моментното направление на скоростта на рязане V_c е допирателна на окръжността която описва режещия ръб повреме на въртене на инструмента около собствената си ос.

Уравнение 2.1.3 представлява уравнение на окръжност, която описва точка от режещия ръб при въртеливото движение на инструмента и за първите производни на x и y се получават уравнения 2.1.4:

$$\begin{aligned}x' &= - (d_w/2) \cdot (i_{12}-1) \cdot \sin((i_{12}-1) \cdot \varphi_1) \\y' &= - (d_w/2) \cdot (i_{12}-1) \cdot \cos((i_{12}-1) \cdot \varphi_1)\end{aligned} \quad 2.1.4$$

Ъгъл μ се определя от уравнение 2.1.5:

$$\mu = \text{atan}(y'/x') = \text{atan}((- (d_w/2) \cdot (i_{12}-1) \cdot \cos((i_{12}-1) \cdot \varphi_1)) / (- (d_w/2) \cdot (i_{12}-1) \cdot \sin((i_{12}-1) \cdot \varphi_1))) \quad 2.1.5$$

От фиг 2.1.3 се вижда че ъгъл ν е ъгълът който сключва моментното направление на работната скорост V_e (2) с положителната посока на абцисната ос „ x “. Моментното направление (2) на проекцията на работната скорост V_{exy} е допирателната на траекторията (3) в разглежданата точка.

На уравнение 2.1.2 се определят първите производни и се получава уравнение 2.1.6.

$$\begin{aligned}x' &= -a \cdot \sin(\varphi_1) - (d_w/2) \cdot (i_{12}-1) \cdot \sin((i_{12}-1) \cdot \varphi_1) \\y' &= a \cdot \cos(\varphi_1) - (d_w/2) \cdot (i_{12}-1) \cdot \cos((i_{12}-1) \cdot \varphi_1)\end{aligned} \quad 2.1.6$$

Ъгъл ν се определя от уравнение 2.1.7:

$$\begin{aligned}\nu &= \text{atan}(y'/x') \\ \nu &= \text{atan}((a \cdot \cos(\varphi_1) - (d_w/2) \cdot (i_{12}-1) \cdot \cos((i_{12}-1) \cdot \varphi_1)) / (-a \cdot \sin(\varphi_1) - (d_w/2) \cdot (i_{12}-1) \cdot \sin((i_{12}-1) \cdot \varphi_1)))\end{aligned} \quad 2.1.7$$

От фиг.2.1.3 се разглежда триъгълника получен от моментните направления на двете скорости и положителната ос x . Ъгъл μ е външен за триъгълника. От този триъгълник се определя ъгъл η_{xy} по уравнение 2.1.8:

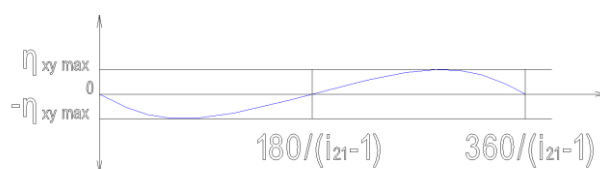
$$\eta_{xy} = \mu - \nu \quad 2.1.8$$

Като се замести в 2.1.8 μ и ν съответно с уравнения 2.1.5 и 2.1.7 се получава уравнение 2.1.9:

$$\begin{aligned}\eta_{xy} &= (\text{atan}((- (d_w/2) \cdot (i_{12}-1) \cdot \cos((i_{12}-1) \cdot \varphi_1)) / (- (d_w/2) \cdot (i_{12}-1) \cdot \sin((i_{12}-1) \cdot \varphi_1)))) - \\ &- (\text{atan}((a \cdot \cos(\varphi_1) - (d_w/2) \cdot (i_{12}-1) \cdot \cos((i_{12}-1) \cdot \varphi_1)) / (-a \cdot \sin(\varphi_1) - (d_w/2) \cdot (i_{12}-1) \cdot \sin((i_{12}-1) \cdot \varphi_1))))\end{aligned} \quad 2.1.9$$

Следователно ъгъл η_{xy} зависи от параметрите (a , i_{12} , d_w , φ_1).

Фигура 2.1.4 е показана графика на изменение на ъгъл η_{xy} за един оборот на инструмента.



Фиг. 2.1.4. Графика на изменение на ъгъл η_{xy} за един оборот на инструмента.

С ъгъл η_{xy} ще се изменят работните ъгли по цилиндричната част на инструмента (2.1.10).

$$\begin{aligned}\alpha_{fe} &= \alpha_f - \eta_{xy} \\ \gamma_{fe} &= \gamma_f + \eta_{xy}\end{aligned} \quad 2.1.10$$

Втори начин.

Аналитичен метод:

1. Извеждат се уравнения 2.1.1 на траекторията на точка от режещия ръб в равнината Oxy .
2. Извеждат се уравнение 2.1.3, с които се описва окръжността, по която се движи точката от режещия ръб около оста на въртене на инструмента.
3. Извеждат се първите производни на уравнения 2.1.3 и са получени уравнения 2.1.5.
4. Извеждат се първите производни на уравнения 2.1.1 и са получени уравнения 2.1.7.
5. Определя се ъгълът μ , който сключва скоростта на рязане V_c с положителната посока на ос x . Ъгъл $\mu = \arctan(y'/x')$, използват се първите производни от уравнение 2.1.5.
6. Определя се ъгълът ν_{xy} , който сключва проекцията на работната скорост V_{exy} с положителната посока на ос x . Ъгъл $\nu_{xy} = \arctan(y'/x')$, използват се първите производни от уравнение 2.1.7.
7. Определя се ъгълът η_{xy} , който е заключен между направлението на скоростта на рязане V_c и направлението на проекцията на работната скорост V_{exy} . Ъгъл $\eta_{xy} = \mu_{xy} - \nu_{xy}$.
8. Определят се максималната и минималната стойност на ъгъл η_{xy} , като първата производна на ъгъл η_{xy} се приравни на „0“ - $\eta'_{xy} = 0$ (2.1.11).
9. След намирането на максималната стойност на ъгъл $\eta_{xy \max}$ се определя как се изменят стойностите на работните ъгли на точките от режещите ръбове, разположени по цилиндричната част на инструмента уравнение 2.1.11.

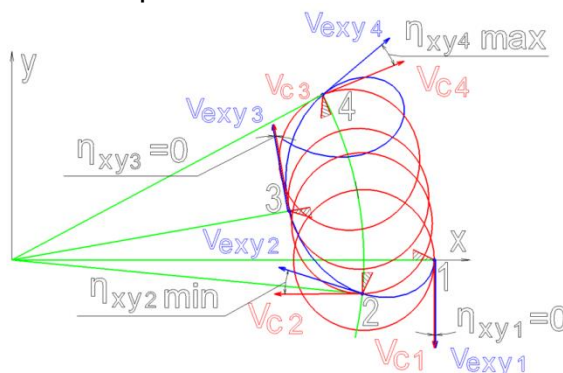
Описания метод може да се осъществи с помощта на програма разработена на програмен продукт Wolfram Mathematica.

Трети начин.

Графо-аналитичен метод: Построява се графика с уравнение 2.1.12 на траекторията на точка от режещия ръб в равнината Oxy , което се получава от уравнение 2.1.1.

$$\begin{aligned}x &= a \cdot \cos(\varphi_1) + (d_n/2) \cdot \cos((i_{12} \pm 1) \cdot \varphi_1) \\ y &= a \cdot \sin(\varphi_1) - (d_n/2) \cdot \sin((i_{12} \pm 1) \cdot \varphi_1)\end{aligned} \quad 2.1.12$$

Построяват се в четири характерни точки от моментното положение на фрезата, така както е показано на фиг. 2.1.5:



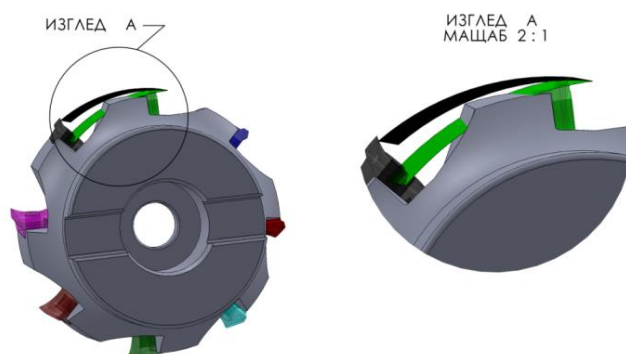
Фиг. 2.1.5. Моментно положение на фрезата в 4 точки:

- т.1.- $\eta_{xy} = 0^0$
- т.2.- $\eta_{xy} = \eta_{xy \min}$
- т.3.- $\eta_{xy} = 0^0$
- т.4.- $\eta_{xy} = \eta_{xy \max}$

Четвърти начин.

Схемата на фиг. 2.1.6 се построява, като се използва 3D изображението на фрезата от сайта на фирмата производител на инструмента и във върха на режещата пластина се постави част от повърхнината на траекторията на един спомагателен режещ ръб по цилиндричната повърхнина с ширина l_p (фиг. 2.1.11). На фиг. 2.1.6 е изобразена 3D фреза и следа от един спомагателен режещ ръб по цилиндричната повърхнина с ширина l_p , когато изменението на ъгъл $\eta_{xy} = \eta_{xy \max}$ (отнася се за точка 4 от фиг. 2.1.5).

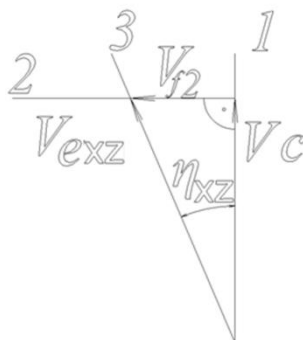
От фигурата се вижда, че траекторията на следата от спомагателен режещ ръб по цилиндричната повърхнина с ширина l_p пресича тялото на фрезата. Това е недопустимо и е необходимо да се намали подаването или се увеличат оборотите на фрезата.



Фиг. 2.1.6. 3D фреза и следа от един спомагателен режещ ръб по цилиндричната повърхнина с ширина l_p , когато изменението на ъгъл $\eta_{xy} = \eta_{xy \max}$ (отнася се за точка 4 от фиг. 2.1.5).

Определяне на ъгъл η_{xz} .

За определянето на ъгъл η_{xz} в равнина Oxz се използва фиг. 2.1.7.



Фиг. 2.1.7. Схема за определяне на ъгъл η_{xz} в равнина Oxz .

Ъгъл η_{xz} може да се определи с уравнение 2.1.13.

$$\eta_{xz} = \arctan((h/i_{12})/(\pi \cdot d_n)) \quad 2.1.13$$

Ъгъл η_{xz} променя работните ъгли по челната част на инструмента с у-ние 2.1.14:

$$\begin{aligned} \alpha_{fe} &= \alpha_f - \eta_{xz} \\ \gamma_{fe} &= \gamma_f + \eta_{xz} \end{aligned} \quad 2.1.14$$

В точка 2.1.3. се определят параметрите на режима на рязане при обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с успоредни оси.

Обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструмента са с успоредни оси, е челно-цилиндрично фрезозане. При челно-цилиндрично фрезозане параметрите на режима на рязане са:

Скоростта на рязане V_c при челно-цилиндрично фрезозане се определя от уравнение 2.1.15:

$$V_c = \frac{\pi \times D_c \times n_z}{1000} \quad 2.1.15$$

Подаването f – пътът изминат от инструмента в направлението на подаване за един оборот на движението на рязане. За обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с успоредни оси, се разглеждат две подавания:

- f_1 – кръгово подаване – в координатната равнина Oxy ;
- f_2 – линейно подаване – в координатната равнина Oxz :

Подаването f_1 (фиг. 2.1.8) е равно на дължината на дъгата l , която описва оста на инструмента за един оборот от движението на рязане.

$$f_1 = \frac{P}{i_{12}} \quad 2.1.16$$

Подаването на зъб f_{z1} се определя като подаването f_1 се раздели на броя на режещите зъби „ z “ (2.1.17):

$$f_{z1} = f_1 / z \quad 2.1.17$$

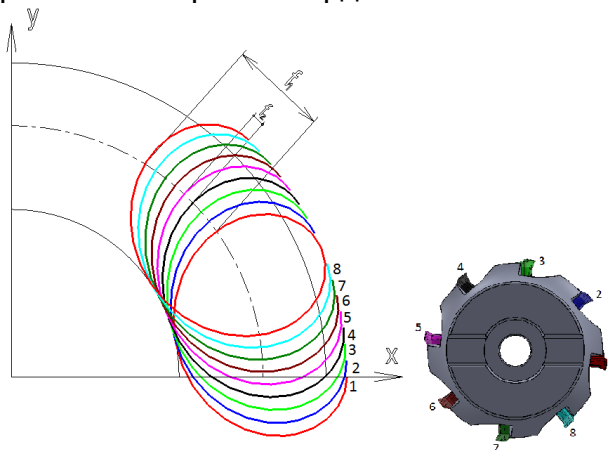
Подаването f_2 определя разстоянието, което изминава оста на инструмента по оста z за един оборот от движението на рязане. Подаването f_2 се определя от уравнение 2.1.18:

$$f_2 = h / i_{12} \quad 2.1.18$$

Подаването на зъб f_{z2} – се определя като подаването f_2 се раздели на броя на режещите зъби „ z “ (2.1.19):

$$f_{z2} = f_2 / z \quad 2.1.19$$

На фиг. 2.1.8 е показано определянето на подаванията f_1 и f_{z1} в координатната система Oxy на челно-цилиндрична фреза с осем режещи зъба. Инструмента е челно-цилиндрична фреза с монтирани твърдосплавни пластини.



Фиг. 2.1.8. Подаванията f_1 и f_{z1} за инструмент с 8 режещи зъба разглеждано в координатната система Oxy .

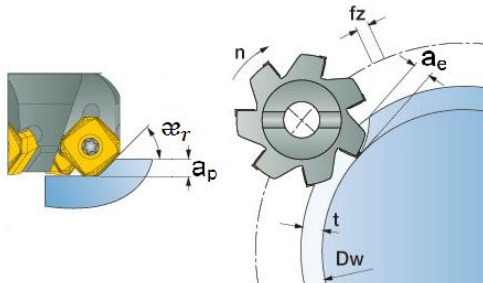
Определяне на дълбочината на рязане „ a “ при обработване на стругови повърхнини с въртящ се инструмент разположен, така че оста на вътене на заготовката и инструмента да са успоредни (фиг 2.1.9).

Осовата дълбочина на рязане a_p – врязването на главния режещ ръб в заготовката, измервано успоредно на оста на инструмента. Осовата дълбочина на рязане a_p се определя от уравнение 2.1.20:

$$a_p = h / i_{12} \quad 2.1.20$$

Радиална дълбочина на рязане a_e - врязването на главния режещ ръб в заготовката, измервано перпендикулярно на оста на инструмента. Радиална дълбочина на рязане a_e се определя от t – радиалната разлика между диаметъра на заготовката и диаметър на обработената външна цилиндрична повърхнина. Радиална дълбочина на рязане a_e се определя от 2.1.21:

$$a_e = t = \frac{D_{\text{зар.}}}{2} - \frac{D_{\text{обр.}}}{2} \quad 2.1.21$$



Фиг. 2.1.9. Схема за определяне на радиална дълбочина на рязане a_e и осовата дълбочина на рязане a_p при обработване на външна цилиндрична повърхнина когато осите на въртене на заготовката и инструментът са успоредни.

Общата подавателна скорост V_f се определя от уравнение 2.1.22.

$$V_f = \sqrt{V_{f1}^2 + V_{f2}^2} \quad 2.1.22$$

Производителността Q при обработване на стругови повърхнини с въртящ се инструмент разположен, така че оста на въртене на заготовката и инструмента да са успоредни се определя от уравнение 2.1.23:

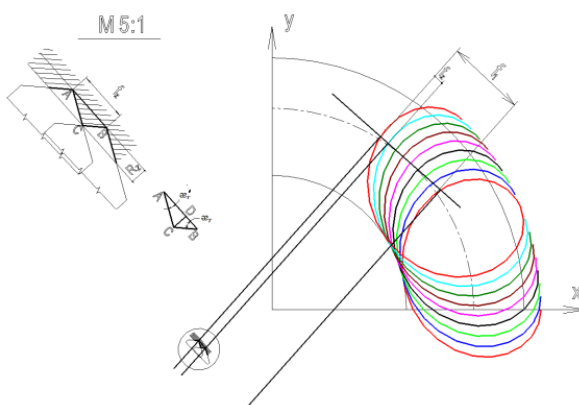
$$Q = \frac{a_p \times a_e \times V_f}{1000} \quad 2.1.23$$

В точка 2.1.4. са определени качествените характеристики при обработване на стругови повърхнини с въртящ се инструмент разположен, така че оста на въртене на заготовката и инструмента да са успоредни.

Термините които се използват за оценка на грапавостта са посочени в БДС ISO 4287. Възможно е теоретично да се определи само R_z , другите параметри за оценка на грапавостта R_a и R_t се определят на действителни реални повърхнини.

Определянето на теоретичната грапавост R_z по челната повърхнина на обработваната заготовка става с помощта на фиг. 2.1.10. От фиг 2.1.10 се извежда уравнение 2.1.24:

$$R_z = \frac{f_z \times \sin \alpha_r \times \sin \alpha'_r}{\sin(\alpha_r + \alpha'_r)} \quad 2.1.24$$

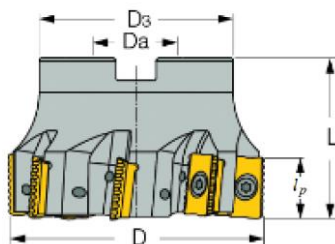


Фиг. 2.1.10. Определяне на теоретичната грапавост R_z при обработване на външни цилиндрични повърхнини по челната повърхнина на заготовката.

Изведени са зависимости на дебелината на стружката h_m и подаването на зъб f_{z1} в зависимост от формата на режещия зъб.

Определяне на отклонението на формата на получената цилиндрична повърхнина при струговане с въртящ се инструмент, когато осите на въртене на заготовката и инструментът са успоредни. За да се изобрази получената форма на цилиндричната повърхнина трябва да се разгледа траекторията на всеки отделен режещ ръб. Формата на обвиваната цилиндричната повърхнина се получава от дължината на спомагателния режещ ръб l_p , стъпката h на винтовата линия по която се движи центъра на въртене на инструмента, предавателното отношение i_{12} .

На фиг. 2.1.11 е показана фреза с дължина на спомагателния режещ ръб l_p . Дължината на спомагателния режещ ръб е равна на дължината на пластината по цилиндричната част на инструмента.



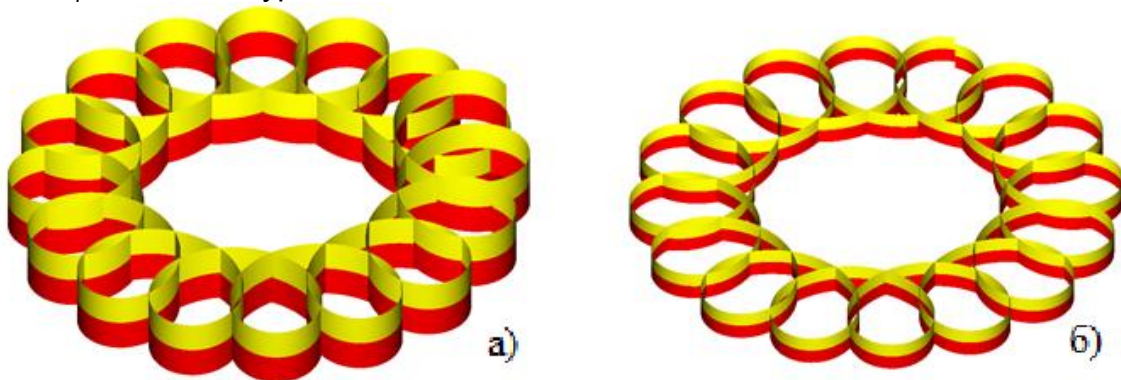
Фиг. 2.1.11. Определяне на дължината на спомагателния режещ ръб l_p .

Определянето на отклонението на формата на получената повърхнина при струговане с въртящ се инструмент, когато осите на въртене на инструментът и заготовката са успоредни, се разглеждат два основни случая:

Случай 1. Определяне на отклонението на формата на получената повърхнина при струговане с въртящ се инструмент, когато осите на въртене на инструмента и заготовката са успоредни, а предавателното отношение i_{21} е цяло число. За да се изобрази получената форма на цилиндричната повърхнина трябва да се разгледа траекторията на всеки отделен режещ ръб. Траекторията се описва с уравнение 2.1.25:

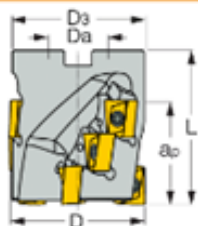
$$\begin{aligned} r &= a \\ x &= r \cdot \cos(\varphi_1) + d_w/2 \cdot \cos((i_{12} \pm 1) \cdot \varphi_1) \\ y &= r \cdot \sin(\varphi_1) - d_w/2 \cdot \sin((i_{12} \pm 1) \cdot \varphi_1) \\ z &= ((l_p/360) \cdot t_2) + ((h/360) \cdot \varphi_1) \end{aligned} \quad 2.1.25$$

На фиг. 2.1.12 е показано траектория на един спомагателен режещ ръб с дължина l_p , описана с уравнение 2.1.25:



Фиг. 2.1.12. Траектория на един спомагателен режещ ръб с дължина l_p , когато предавателното отношение i_{12} е цяло число, а) стъпката h на винтовата линия е равна на дължината на спомагателния режещ ръб l_p , б) стъпката h на винтовата линия е по-малка от дължината на спомагателния режещ ръб l_p .

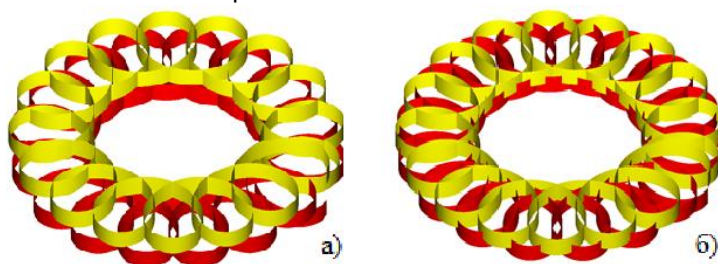
Случая, когато стъпката h на винтовата линия е по-голяма от дължина на спомагателния режещия ръб l_p , се използва когато инструмента е с повече от един ред пластини на режещия ръб (фиг 2.1.13):



Фиг. 2.1.13. Инструмент с три реда пластини на всеки режещ ръб.

Случай 2. Обработване на цилиндрична повърхнина, когато предавателното отношение не е цяло число;

На фиг. 2.1.14 е показана получената повърхнина с уравнение 2.1.25, когато предавателното отношение не е цяло число.



Фиг. 2.1.14. Получената повърхнина с уравнение 2.1.25, когато предавателното отношение не е цяло число, **а)** стъпката h на винтовата линия е равна на дължина на спомагателния режещия ръб l_p , **б)** стъпката h на винтовата линия е по-малка от дължина на спомагателния режещия ръб l_p

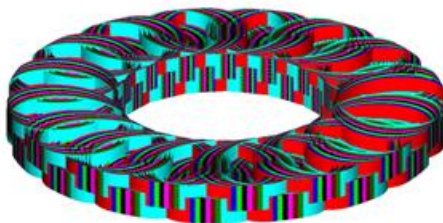
Обработката на цилиндричната повърхнина се извършва с инструмент със $z = 8$ брой режещи зъби. Всеки режещ зъб ще се движи по траектория описана с уравнение 2.1.26:

$$\begin{aligned} r &= a \\ x &= r \cdot \cos(\varphi_1) + d_w/2 \cdot \cos((i_{12} \pm 1) \cdot (\varphi_1 + \xi)) \\ y &= r \cdot \sin(\varphi_1) - d_w/2 \cdot \sin((i_{12} \pm 1) \cdot (\varphi_1 + \xi)) \\ z &= ((l_p/360) \cdot t_2) + ((h/360) \cdot \varphi_1) \end{aligned} \quad 2.1.26$$

където:

$\xi = 360^\circ / z$ - централния ъгъл на който се намира режещия ръб на съответния режещ зъб. Централния ъгъл се определя от конструкцията на инструмента.

На фиг. 2.1.15 е показана получената „цилиндрична повърхнина“, като обвивка при струговане с фреза със $z = 8$ брой режещи зъби разположени на централен ъгъл $\xi = 45^\circ$. Предавателното отношение не е цяло число, а стъпката h на винтовата линия е по-малка от дължината на спомагателния режещия ръб l_p .



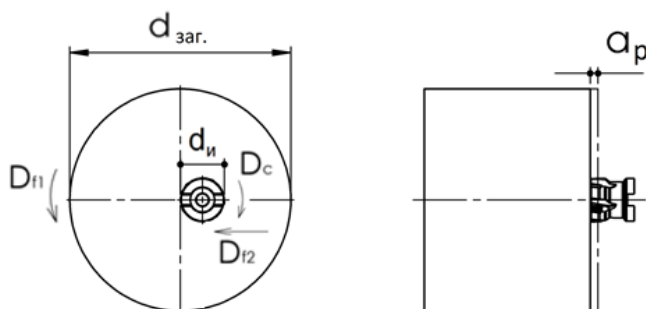
Фиг. 2.1.15. Получаване на „цилиндрична повърхнина“, като обвивка при струговане с фреза със $z = 8$ брой режещи зъби, когато предавателното отношение не е цяло число, а стъпката h на винтовата линия е по-малка от дължината на спомагателния режещия ръб l_p .

В точка 2.1.5 е разгледано фрезоване на челен канал когато инструментът и заготовката са с успоредни оси на въртене.

В точка 2.2. е разгледано обработване на челни повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с успоредни оси.

В точка 2.2.1 е определено геометрично място на точка от режещия ръб на инструмента при обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент когато осите на въртене на инструментът и заготовката са успоредни.

Построена е кинематична схема на рязане показана на фиг. 2.2.1:

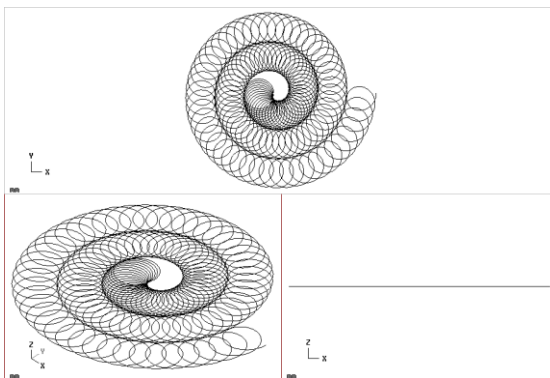


Фиг. 2.2.1. Кинематична схема на фрезоване на челна повърхнина на стругов център, когато осите на въртене на инструментът и заготовката са успоредни.

Изведено е уравнение 2.2.1 на траекторията на точка от режещия ръб на инструмента:

$$\begin{aligned} x &= h \cdot (1/360) \cdot \varphi_1 \cdot \cos(\varphi_1) + (d_{и}/2) \cdot \cos((i_{12} \pm 1) \cdot \varphi_1) \\ y &= h \cdot (1/360) \cdot \varphi_1 \cdot \sin(\varphi_1) - (d_{и}/2) \cdot \sin((i_{12} \pm 1) \cdot \varphi_1) \end{aligned} \quad 2.2.1$$

На фиг. 2.2.2 е показана траекторията на точка от режещия ръб описана с уравнение 2.2.1 – кривата представлява челна винтова линия описана от удължена епициклоида.



Фиг. 2.2.2. Траектория на точка от режещия ръб описана с уравнение 2.2.1.

2.2.2 Определяне на геометричните параметри и изменението на инструменталните ъгли в работни ъгли, при обработване на челни повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с успоредни оси.

Тъй като подаването на инструмента става само по челната повърхнина на заготовката промяна на работните ъгли ще има само по цилиндричната част на инструмента. Промяната на работните ъгли ще се определя в координатната система 0ху. За определяне на работните ъгли е необходимо да се определят ъгълът с който се променят инструменталните ъгли. Тези ъгли променят режещия ръб на цилиндричната част на фрезата. Њгъл η_{xy} се определя от методите разгледани в точка 2.1.2.

Ъгъл η_{xy} се определя с уравнение 2.2.2:

$$\eta_{xy} = \left(\operatorname{atan} \left(\frac{-\left(\frac{d_{i12}}{2}\right) * (i_{12} - 1) * \cos((i_{12} - 1) * \varphi_1)}{-\left(\frac{d_{i12}}{2}\right) * (i_{12} - 1) * \sin((i_{12} - 1) * \varphi_1)} \right) \right) - \left(\operatorname{atan} \left(\frac{(((h * \cos(\varphi_1) * ((1/360) * \varphi_1) + h * \sin(\varphi_1)) - (d_{i12}/2) * (i_{12} - 1) * \cos((i_{12} - 1) * \varphi_1)))}{(((h * \sin(\varphi_1) * ((1/360) * \varphi_1) + h * \cos(\varphi_1)) - ((d_{i12}/2) * (i_{12} - 1) * \sin((i_{12} - 1) * \varphi_1)))} \right) \right) \quad 2.2.2$$

В точка 2.2.3. са определени параметрите на режима на рязане при обработване на челни повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с успоредни оси.

Скорост на рязане V_c се определя с уравнение 2.1.15.

Подаване f е пътът изминаван от центъра на въртене на инструмента по време на обработка. Подаването f се променя от $f_{\max}$ до $f_{\min}$ с преместването на инструмента съответно от периферията към центъра на въртене на заготовката. Подаването f се определя от уравнение 2.2.3

$$f = \frac{2 \times \pi \times h \times k}{i_{12}} \quad 2.2.3$$

Определяне на дълбочини на рязане „а“, при обработване на челни повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с успоредни оси.

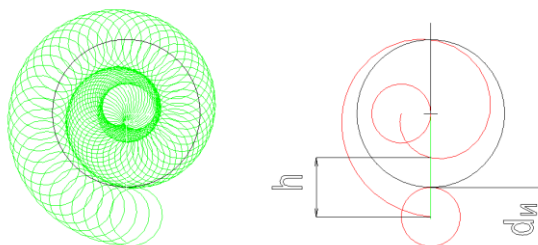
Осовата дълбочина на рязане a_p – врязването на главния режещ ръб в заготовката, измервано успоредно на оста на инструмента. Осовата дълбочина a_p е равна на прибавката за челна обработка.

Радиалната дълбочина на рязане a_e определя каква част от диаметъра на инструмента работи в процеса на рязане.

Радиалната дълбочина на рязане a_e се определя от уравнение 2.2.4:

$$a_e = h / d_{i12} \quad 2.2.4$$

На фигура 2.2.3 е показано обработване на челна повърхнина с фреза с диаметър d_{i12} и стъпка на челна винтова линия по която се движи оста на фрезата h . Стъпката h е равна на диаметъра d_{i12} на инструмента в този случай се получава най-голямата производителност на метода.

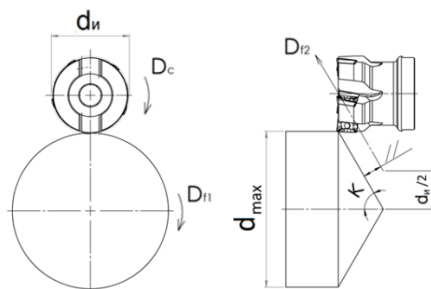


Фиг. 2.2.3. Фрезование на челна повърхнина когато стъпката h е равна на диаметъра на инструмента d_{i12} .

В точка 2.3. е разгледано обработване на конусни повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с успоредни оси.

В точка 2.3.1 е определено геометрично място на точка от режещия ръб на инструмента при обработване на конусни повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с успоредни оси.

Пострeна e кинематичната схема на рязане показана на фиг. 2.3.1:

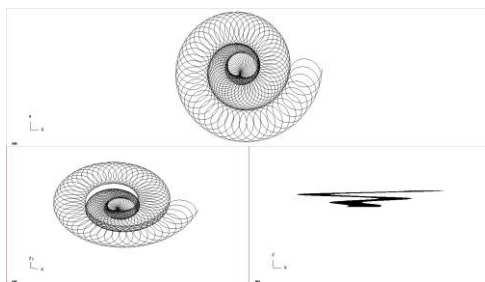


Фиг. 2.3.1. Кинематична схема на фрезозане на конусна повърхнина на стругов център, когато осите на въртене на инструментът и заготовката са успоредни.

Изведено е уравнение 2.3.1 на траекторията на точка от режещия ръб на инструмента, в пространството на заготовката:

$$\begin{aligned} x &= h_x \cdot (1/360) \cdot \varphi_1 \cdot \cos(\varphi_1) + (d_n/2) \cdot \cos((i_{12}-1) \cdot \varphi_1) \\ y &= h_x \cdot (1/360) \cdot \varphi_1 \cdot \sin(\varphi_1) - (d_n/2) \cdot \sin((i_{12}-1) \cdot \varphi_1) \\ z &= h_z \cdot (1/360) \cdot \varphi_1 \end{aligned} \quad 2.3.1$$

На фиг.2.3.2. е показано графично траекторията на точка от режещия ръб описана с уравнение 2.3.1. – кривата представлява конусна винтова линия описвана от удължена епициклоида.



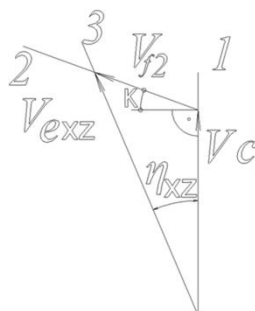
Фиг. 2.3.2. Траектория на точка от режещия ръб с уравнение 2.3.1, при фрезозане на конусна повърхнина на стругов център, когато осите на въртене на инструментът и заготовката са успоредни.

В точка 2.3.2 са определени геометричните параметри и изменението на инструменталните ъгли в работни ъгли, при обработване на конусни повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с успоредни оси.

Промяната на инструменталните ъгли в работни за цилиндричната част на инструмента се определят както за обработването на челна повърхнина разгледано в 2.2.2.

Промяната на инструменталните ъгли в работни за челната част на инструмента се определят от ъгъл η_{xz} .

За определянето на ъгъл η_{xz} в равнината Oxz се използва фиг.2.3.3.



Фиг.2.3.3. Схема за определяне на ъгъл η_{xz} в равнината Oxz .

От фиг. 2.3.3 се вижда че ъгъл η_{xz} може да се определи с уравнение 2.3.2.

$$\eta_{xz} = \arctan(V_{f2} / V_c) \quad 2.3.2$$

Ъгъл η_{xz} променя работните ъгли по челната част на инструмента и се определя с уравнение 2.3.3:

$$\alpha_{fe} = \alpha_f - \eta_{xz} \quad 2.3.3$$

$$\gamma_{fe} = \gamma_f + \eta_{xz}$$

В точка 2.4. е разгледана приложимостта на метода на обработване на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с успоредни оси.

Приложимостта на обработването на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструмента са с успоредни оси, е за груба обработка. Производителността на метода се определя от едновременната работа на повече от един режещ зъб. За да се сравняват фрезоването на цилиндричните повърхнини със струговането на цилиндрични повърхнини е необходимо да се определят броят на едновременно работещите зъби.

На фиг. 2.4.1 е показана схема за определянето на броя едновременно работещи зъби при обработване на цилиндрична повърхнина с фреза, когато инструмента и заготовката са с успоредни оси. На фиг. 2.4.1 с ъгъл ξ е отбелязано каква част от инструмента не участва в рязането. Часта от централния ъгъл на инструмента намиращ се в контакт с обработваната повърхнина е $360^\circ - \xi$. Ъгъл ξ се определя от уравнение 2.4.1:

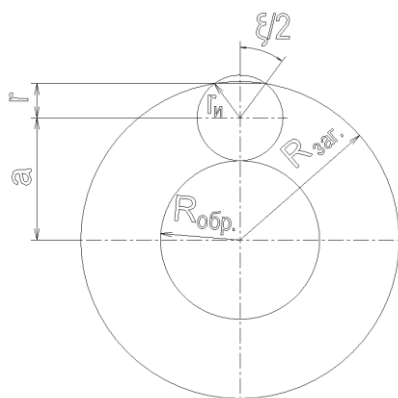
$$\xi = 2 \times \arccos\left(\frac{R_{\text{заг.}} - a}{R_{\text{и}}}\right) \quad 2.4.1$$

За инструмент със z брой се определя централния ъгъл на който са разположени режещите зъби на инструмента. Този ъгъл се бележи с гръцката буква ψ . Ъгъл ψ се определя с уравнение 2.4.2:

$$\psi = 360^\circ / z \quad 2.4.2$$

z_e – брой едновременно режещи зъби и се определя с уравнение 2.4.3:

$$z_e = z - \frac{\xi}{\psi} \quad 2.4.3$$



Фиг. 2.4.1. Схема за определяне на броя на едновременно работещи зъби при обработване на външна цилиндрична повърхнина с фреза.

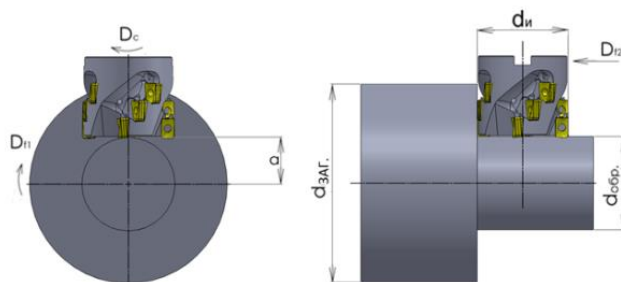
Сравнени са струговането със стругарски нож и въртящ се инструмент (фреза). Сравнени са по производителност Q и машинно време за обработка. От направения анализ са направени следните изводи – производителността при фрезоване е 9,5 пъти по-голяма от производителността при струговане, машинното време за фрезоване е 7,38 пъти по-малко от машинното време за струговане.

Изводи за приложимостта на обработването с въртящи се инструменти, когато инструментът и заготовката са с успоредни оси на въртене.

1. Обработването с въртящи се инструменти, когато инструментът и заготовката са с успоредни оси е приложимо за всички стругови повърхнини (включително външни и вътрешни).
2. Обработването с въртящи се инструменти е по-производително от струговането с нож, когато прибавката е голяма.
3. Обработването с въртящи се инструменти гарантира прекъсната стружка.
4. Обработването с въртящи се инструменти се осъществява на многоосни машини. В някои случаи е необходимо работните органи на машината да се задвижват от по-мощни двигатели.
5. Обработването с въртящи се инструменти изисква по-скъпи инструменти.

ТРЕТА ГЛАВА: Обработване на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с пресичащи се оси под ъгъл равен на 90° .

В точка 3.1.1 е разгледана кинематична схема за обработване на външна цилиндрична повърхнина:

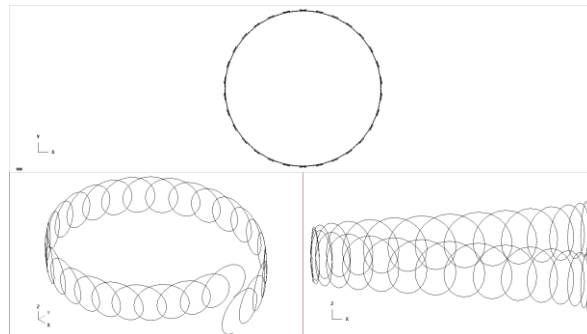


Фиг. 3.1.1. Кинематична схема на фрезозане на външна цилиндрична повърхнина на стругов център, когато осите на въртене на заготовката и инструментът се пресичат.

Изведена е траекторията на точка от режещия ръб на инструмента в пространството на заготовката, която се описва с уравнение 3.1.1.

$$\begin{aligned} x &= a \cdot \cos(\varphi_1) - (d_n/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) \cdot \sin(\varphi_1) \\ y &= - (a \cdot \sin(\varphi_1)) - (d_n/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) \cdot \cos(\varphi_1) \\ z &= (h/360) \cdot \varphi_1 - (d_n/2) \cdot \cos(i_{12} \cdot \varphi_1) \end{aligned} \quad 3.1.1$$

На фиг. 3.1.2 е показано графично траекторията на точка от режещия ръб описана с уравнение 3.1.1. получена при фрезозане на външна цилиндрична повърхнина на стругов център, когато осите на въртене на заготовката и инструментът се пресичат.



Фиг. 3.1.2. Траектория на точка от режещия ръб с уравнение 3.1.1. получена при фрезозане на външна цилиндрична повърхнина на стругов център, когато осите на въртене на заготовката и инструментът се пресичат.

В точка 3.1.2 се определят геометричните параметри и изменението на инструменталните ъгли в работни ъгли, при обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент, когато осите на въртене на инструментът и заготовката са с пресичащи се оси под ъгъл равен на 90° .

Изменението на инструменталните ъгли в работни ъгли, при обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент, когато осите на въртене на инструментът и заготовката са с пресичащи се оси под ъгъл равен на 90° , се разглежда в трите равнини Oxy , Oyz и Oxz . Определени са ъглите η_{xy} , η_{yz} , η_{xz} по аналитичния метод разгледан във втора глава.

В точка 3.1.3. са определени параметрите на режима на рязане при обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с пресичащи се оси под ъгъл равен на 90° .

Скоростта на рязане V_c се определя от уравнение 2.1.15

Подаването f – пътът изминат от инструмента в направлението на подаване за един оборот на движението на рязане. За обработването на цилиндрична повърхнина се разглеждат две подавания:

— f_1 подаването разглеждано в координатната равнина Oxy ;

— f_2 подаването разглеждано в координатната равнина Oxz :

Подаването f_1 се определя с уравнение 3.1.2:

$$f_1 = \frac{P}{i_{12}} \quad 3.1.2$$

Подаването на зъб f_{z1} се определя като подаването f_1 се раздели на броя на режещите зъби „ z “ (3.1.3):

$$f_{z1} = f_1 / z \quad 3.1.3$$

Подаването f_2 се определя с уравнение 3.1.4:

$$f_2 = h / i_{12} \quad 3.1.4$$

Подаването на зъб f_{z2} – се определя като подаването f_2 се раздели на броя на режещите зъби „ z “ (3.1.5):

$$f_{z2} = f_2 / z \quad 3.1.5$$

Осовата дълбочина на рязане a_p – врязването на главния режещ ръб в заготовката, измервано успоредно на оста на инструмента. Осовата дълбочина на рязане a_p се определя от 3.1.6:

$$a_p = t = \frac{D_{\text{заг.}}}{2} - \frac{D_{\text{обр.}}}{2} \quad 3.1.6$$

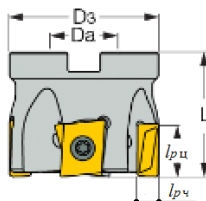
Радиална дълбочина на рязане a_e - врязването на главния режещ ръб в заготовката, измервано перпендикулярно на оста на инструмента. Радиална дълбочина на рязане a_e се определя от стъпката на винтовата линия h , по която се движи оста на инструмента. Радиална дълбочина на рязане a_e не трябва да надвишава дължината на режещия ръб разположен по челото на инструмента.

$$a_e \leq h \quad 3.1.7$$

В точка 3.1.4. са определени качествените характеристики на получените повърхнини при обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент разположен така, че оста на втене на заготовката и инструмента да се пресичат под ъгъл равен на 90° .

Определяне на теоретичната грапавост на цилиндричната повърхнина получена чрез струговане с въртящ се инструмент разположен, така че осите на заготовка и инструментът да се пресичат под ъгъл равен на 90° . От кинематичната схема на рязане (фиг. 3.1.1.) се вижда, че челната част на инструмента обработва получената цилиндрична повърхнина, а цилиндричната част на инструмента обработва получената челна повърхнина.

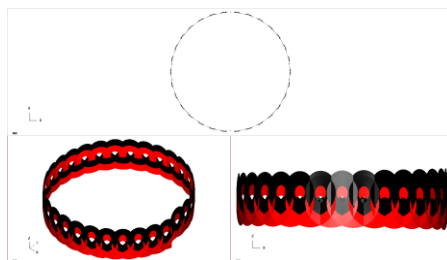
На фиг. 3.1.3 е показан инструмент с дължина на спомагателния режещия ръб $l_{pц}$, разположен по цилиндричната част на инструмента, с дължина на спомагателния режещия ръб $l_{pч}$, разположен по челната част на инструмента.



Фиг. 3.1.3. Определяне на дължините на спомагателните режещи ръбове разположени по цилиндричната и челната част на инструмента.

На фиг. 3.1.4 е показана получената цилиндрична повърхнина при обработване на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструмента са с пресичащи се оси. Кривата показана на фиг. 3.1.4 е построена с уравнение 3.1.8:

$$\begin{aligned} r &= (d_w/2) - l_{pч} \\ x &= -r \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) + (a \cdot \cos(\varphi_1)) \\ y &= -r \cdot \cos(\varphi_1) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) - (a \cdot \sin(\varphi_1)) \\ z &= ((h/360) \cdot \varphi_1) - (r \cdot \cos(i_{12} \cdot \varphi_1)) \end{aligned} \quad 3.1.8$$

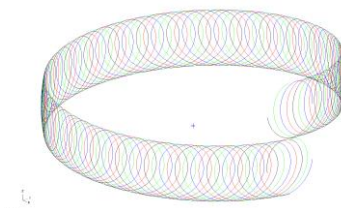


Фиг. 3.1.4. Кривата получена от уравнение 3.1.8.

За определяне на грапавостта се построява траекторията на точка от всеки отделен режещ ръб. Траекторията се описва с уравнение 3.1.9:

$$\begin{aligned} x &= a \cdot \cos(\varphi_1) - (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot (\varphi_1 + \xi)) \cdot \sin(\varphi_1) \\ y &= - (a \cdot \sin(\varphi_1)) - (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot (\varphi_1 + \xi)) \cdot \cos(\varphi_1) \\ z &= (h/360) \cdot \varphi_1 - (d_w/2) \cdot \cos(i_{12} \cdot (\varphi_1 + \xi)) \end{aligned} \quad 3.1.9$$

Траекторията на точка от всеки отделен режещ зъб на инструмент с 4 режещи зъба е показана на фиг. 3.1.5:

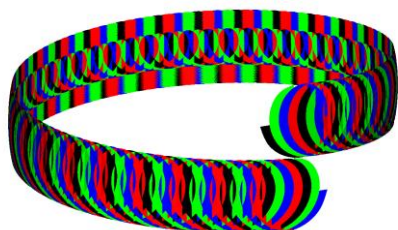


Фиг. 3.1.5. Траекторията на точка от всеки отделен режещ зъб на фреза с 4 режещи зъба.

За инструмент с 4 режещи зъба с дължина на спомагателния режещ ръб $l_{pч}$, разположен по челната част на инструмента, получената цилиндрична повърхнина се описва с уравнение 3.1.10:

$$\begin{aligned} r &= (d_w/2) - l_{pч} \\ x &= a \cdot \cos(\varphi_1) - r \cdot \sin(i_{12} \cdot (\varphi_1 + \xi)) \cdot \sin(\varphi_1) \\ y &= - (a \cdot \sin(\varphi_1)) - r \cdot \sin(i_{12} \cdot (\varphi_1 + \xi)) \cdot \cos(\varphi_1) \\ z &= (h/360) \cdot \varphi_1 - r \cdot \cos(i_{12} \cdot (\varphi_1 + \xi)) \end{aligned} \quad 3.1.10$$

На фиг. 3.1.6 е показана получената повърхнина, описана с уравнение 3.1.10, когато инструмента е с 4 режещи зъба, с дължина на спомагателния режещ ръб l_{pc} разположен по челната част на инструмента.



Фиг. 3.1.6. Получената цилиндрична повърхнина, описана с уравнение 3.1.10, когато инструмента е с 4 режещи зъба с дължина на спомагателния режещ ръб l_{pc} разположен по челната част на инструмента.

С уравнение 3.1.11 описва епициклоида получена от режещия ръб разположен по цилиндричната част на инструмента. Уравнението е за дължина на режещия ръб l_{pc} . На фиг. 3.1.4 е показано определянето на дължината на спомагателния режещ ръб l_{pc} , разположен по цилиндричната част на инструмента.

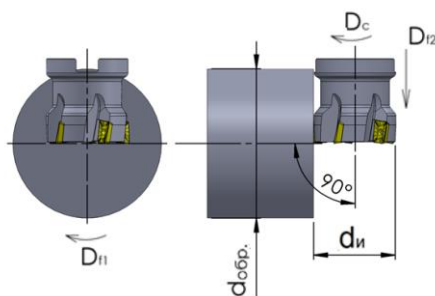
$$\begin{aligned} r &= a - l_{pc} \\ x &= r \cdot \cos(\varphi_1) - (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot (\varphi_1 + \xi)) \cdot \sin(\varphi_1) \\ y &= - (r \cdot \sin(\varphi_1)) - (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot (\varphi_1 + \xi)) \cdot \cos(\varphi_1) \\ z &= (h/360) \cdot \varphi_1 - (d_w/2) \cdot \cos(i_{12} \cdot (\varphi_1 + \xi)) \end{aligned} \quad 3.1.11$$

На фиг. 3.1.7 е показано получената челна повърхнина описана с уравнение 3.1.11. Получената челна повърхнина при струговане с фреза с 4 режещи зъба с дължина спомагателния на режещия ръб l_{pc} , разположен по цилиндричната част на инструмента.



Фиг. 3.1.8. Получената челна повърхнина при струговане с фреза с 4 режещи зъба с дължина на режещия ръб l_{pc} , разположен по цилиндричната част на инструмента.

В точка 3.2.1 е разгледана кинематична схема за обработване на челна повърхнина:

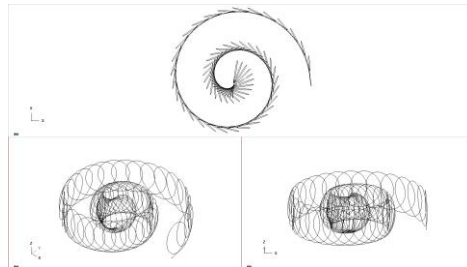


Фиг. 3.2.1. Кинематична схема на фрезозване на челна повърхнина на стругов център, когато осите на вътене на заготовката и инструментът се пресичат.

Изведена е траекторията на точка от режещия ръб на инструмента в пространството на заготовката, която се описва с уравнение 3.2.1.

$$\begin{aligned} x &= h \cdot (1/360) \cdot \cos(\varphi_1) \cdot \varphi_1 - (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) \cdot \sin(\varphi_1) \\ y &= -h \cdot (1/360) \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \varphi_1 - (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) \cdot \cos(\varphi_1) \\ z &= -(d_w/2) \cdot \cos(i_{12} \cdot \varphi_1) \end{aligned} \quad 3.2.1$$

На фиг. 3.2.2 е показана траекторията на точка от режещия ръб, описана с уравнение 3.2.1;



Фиг. 3.2.2. Траектория на точка от режещия ръб, описана с уравнение 3.2.1, получена при обработване на челни повърхнини на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с пресичащи се оси:

В точка 3.2.2 се определят геометричните параметри и изменението на статичните ъгли в работни ъгли, при обработване на челни повърхнини с въртящ се инструмент, когато осите на въртене на инструментът и заготовката са с пресичащи се оси под ъгъл равен на 90° .

Изменението на инструменталните ъгли в работни ъгли, при обработване на челни повърхнини с въртящ се инструмент, когато осите на въртене на инструментът и заготовката са с пресичащи се оси под ъгъл равен на 90° , се разглежда в равнината Оху. Определен е ъгълът η_{xy} , с който се променят работните ъгли в съответната равнина, по аналитичния метод разгледан във втора глава.

В точка 3.2.3. са определени параметрите на режима на рязане при обработване на челни повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с пресичащи се оси под ъгъл равен 90° .

Скоростта на рязане V_c се определя с уравнение 2.1.15.

Подаването f – пътът изминат от оста на инструмента в направлении на подаване за един оборот на движението на рязане. За обработването на челна повърхнина се разглежда подаването по челна винтова линия:

$$f = l = \frac{a}{2} \times (\varphi_1 \times \sqrt{(\varphi_1^2 + 1)} + \sinh^{-1} \varphi_1) \quad 3.2.2$$

Където:

a – параметър на архимедова винтова линия:

Подаването на зъб f_z се определя като подаването f се раздели на броя на режещите зъби „ z “ (3.2.3):

$$f_z = f/z \quad 3.2.3$$

Осовата дълбочина на рязане a_p – врязването на главния режещ клин в заготовката, измервано успоредно на оста на инструмента. Осовата дълбочина на рязане се определя с уравнение 3.2.4:

$$a_p \leq h \quad 3.2.4$$

Радиална дълбочина на рязане a_e - врязването на главния режещ клин в заготовката, измервано перпендикулярно на оста на инструмента. Радиалната дълбочината на рязане a_e се определя от прибавката за обработка на челната повърхнина.

В точка 3.2.4 са определени качествените характеристики на получените повърхнини при обработване на челни повърхнини с въртящ се инструмент разположен така, че оста на въртене на заготовката и инструментът да се пресичат под ъгъл равен на 90° .

Определяне на теоретичната грапавост на челна повърхнина получена чрез струговане с въртящ се инструмент разположен, така че осите на заготовка и инструментът да се пресичат под ъгъл равен на 90° .

Уравнение 3.2.5 описва удължена епициклоида получена от режещ ръб с дължина l_p , стъпката на челната винтова линия h , предавателното отношение i_{12} .

$$r = h$$

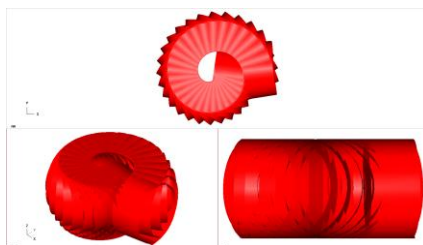
$$\begin{aligned} x &= l_p \cos(\varphi_1) + r \cdot (1/360) \cos(\varphi_1) \varphi_1 - (d_w/2) \sin(i_{12} \varphi_1) \sin(\varphi_1) \\ y &= -l_p \sin(\varphi_1) - r \cdot (1/360) \sin(\varphi_1) \varphi_1 - (d_w/2) \sin(i_{12} \varphi_1) \cos(\varphi_1) \\ z &= -(d_w/2) \cos(i_{12} \varphi_1) \end{aligned} \quad 3.2.5$$

Уравнение 3.2.6 описва удължените епициклоиди получени от всеки отделен режещ зъб с дължина на режещия ръб l_p , стъпката на челната винтова линия h , предавателното отношение i_{12} .

$$r = h$$

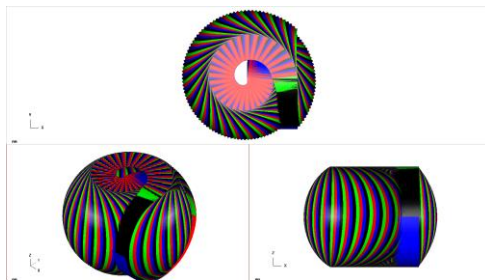
$$\begin{aligned} x &= l_p \cos(\varphi_1) + r \cdot (1/360) \cos(\varphi_1) \varphi_1 - (d_w/2) \sin(i_{12} \cdot ((\varphi_1 + \xi)/i_{12})) \sin(\varphi_1) \\ y &= -l_p \sin(\varphi_1) - r \cdot (1/360) \sin(\varphi_1) \varphi_1 - (d_w/2) \sin(i_{12} \cdot ((\varphi_1 + \xi)/i_{12})) \cos(\varphi_1) \\ z &= -(d_w/2) \cos(i_{12} \cdot ((\varphi_1 + \xi)/i_{12})) \end{aligned} \quad 3.2.6$$

На фиг. 3.2.3 е показана получената повърхнина на един режещ зъб описана с уравнение 3.2.5:



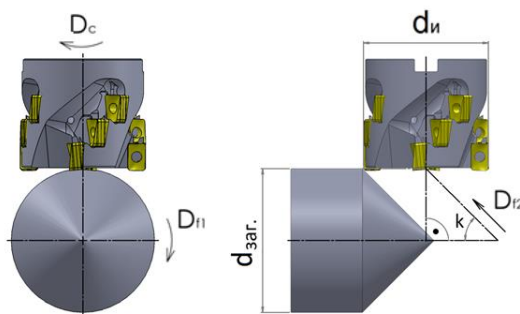
Фиг. 3.2.3. Получената повърхнина на един режещ зъб описана с уравнение 3.2.5:

На фиг. 3.2.4 е показана получената повърхнина на всеки режещ зъб на фреза с 4 режещи зъба описана с уравнение 3.2.6:



Фиг. 3.2.4. Получената повърхнина на всеки режещ зъб на фреза с 4 режещи зъба описана с уравнение 3.2.6:

В точка 3.3.1 е разгледана кинематична схема за обработване на конусна повърхнина (фиг. 3.3.1):

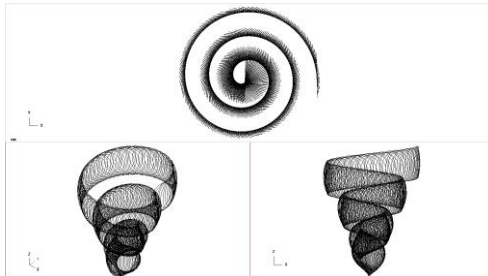


Фиг. 3.3.1. Кинематична схема на фрезование на конусна повърхнина, когато заготовката и инструментът са с пресичащи се оси на стругов център.

Изведена е траекторията на точка от режещия ръб на инструмента в пространството на заготовката, която се описва с уравнение 3.3.1:

$$\begin{aligned} x &= h_x \cdot (1/360) \cdot \varphi_1 \cdot \cos(\varphi_1) - (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) \cdot \sin(\varphi_1) \\ y &= h_x \cdot (1/360) \cdot \varphi_1 \cdot \sin(\varphi_1) - (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) \cdot \cos(\varphi_1) \\ z &= h_z \cdot (1/360) \cdot \varphi_1 - (d_w/2) \cdot \cos(i_{12} \cdot \varphi_1) \end{aligned} \quad 3.3.1$$

На фиг. 3.3.2. е показано графично траекторията на точка от режещия ръб описана с уравнение 3.3.1. – кривата представлява конусна винтова линия описвана от удължена епициклоида.



Фиг. 3.3.2. Траектория на точка от режещия ръб описана с уравнение 3.3.1.

В точка 3.3.2 се определят геометричните параметри и изменението на статичните ъгли в работни ъгли, при обработване на конусни повърхнини с въртящ се инструмент, когато осите на въртене на инструментът и заготовката са с пресичащи се оси под ъгъл равен на 90° .

Изменението на инструменталните ъгли в работни ъгли, при обработване на конусни повърхнини с въртящ се инструмент когато осите на въртене на инструментът и заготовката са с пресичащи се оси под ъгъл равен на 90° , се разглежда в трите координатни системи Oxy , Oyz и Oxz . Определени са ъглите η_{xy} , η_{yz} , η_{xz} с които се променят работните ъгли в съответната равнина, по аналитичния метод разгледан във втора глава.

В точка 3.3.3. са определени параметрите на режима на рязане при обработване на конусни повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с пресичащи се оси под ъгъл равен 90° .

Скоростта на рязане V_c се определя от уравнение 2.1.15.

Подаването f – пътът изминат от инструмента в направлението на подаване за един оборот на движението на рязане. За обработването на конусна повърхнина се разглеждат две подавания:

- f_1 подаването разглеждано в координатната равнина Oxy ;
- f_2 подаването разглеждано в координатната равнина Oxz :

Подаването f_1 се определя с уравнение 3.3.2:

$$f_1 = \frac{2 \times \pi \times h_x \times k}{i_{12}} \quad 3.3.2$$

Подаването на зъб f_{z1} се определя като подаването f_1 се раздели на броя на режещите зъби „ z “ (3.3.3):

$$f_{z1} = f_1 / z \quad 3.3.3$$

Подаването f_2 се определя с уравнение 3.3.4:

$$f_2 = h_z / i_{12} \quad 3.3.4$$

Подаването на зъб f_{z2} – се определя като подаването f_2 се раздели на броя на режещите зъби „ z “ (3.3.5):

$$f_{z2} = f_2 / z \quad 3.3.5$$

Осовата дълбочина на рязане a_p – врязването на главния режещ клин в заготовката, измервано успоредно на оста на инструмента. Осовата дълбочина на рязане a_p се определя от (3.3.6):

$$a_p = t = \frac{D_2}{2} - \frac{D_1}{2} \quad 3.3.6$$

Радиална дълбочина на рязане a_e - врязването на главния режещ клин в заготовката, измервано перпендикулярно на оста на инструмента. Радиална дълбочина на рязане a_e се определя от (3.3.7):

$$a_e \leq l_p \leq h \quad 3.3.7$$

В точка 3.4 е разгледана приложимостта на обработване на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с пресичащи се оси под ъгъл равен на 90° .

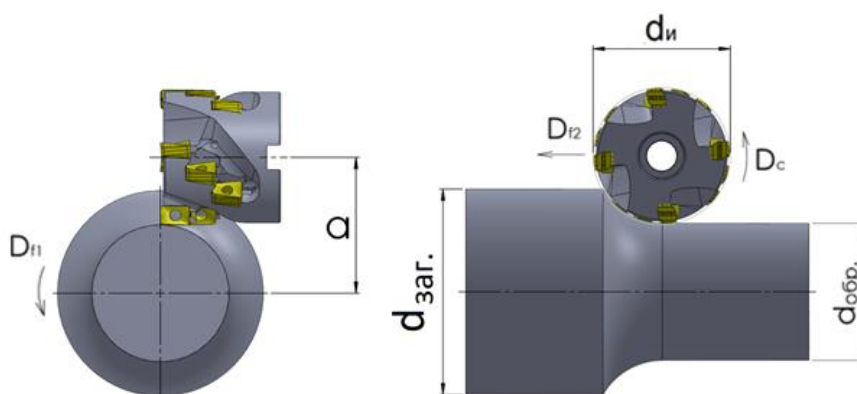
Изводи за приложимостта на обработването на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с пресичащи се оси под ъгъл равен на 90° .

1. Обработването с въртящи се инструменти, когато инструментът и заготовката са с пресичащи се оси е приложимо за всички външни стругови повърхнини.
2. Обработването с въртящи се инструменти е по-производително от струговането с нож, когато прибавката е голяма.
3. Обработването с въртящи се инструменти гарантира прекъсната стружка.
4. Обработването с въртящи се инструменти се осъществява на многоосни машини. В някои случаи е необходимо работните органи на машината да се задвижват от по-мощни двигатели.
5. Обработването с въртящи се инструменти изисква по-скъпи инструменти.

ЧЕТВЪРТА ГЛАВА: Обработване на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с кръстосващи се оси под ъгъл равен на 90° .

При обработване на стругови повърхнини с въртящ се инструмент разположен така, че оста на вълтене на заготовката и инструментът да се кръстосват под 90° , се разглеждат три основни случая - обработване на цилиндрични, конусни и челни повърхнини.

В точка 4.1.1 е разгледана кинематична схема за обработване на външна цилиндрична повърхнина:

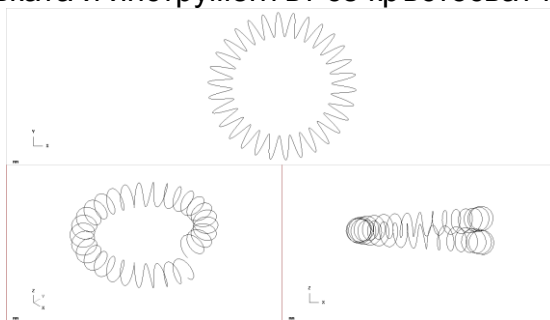


Фиг. 4.1.1. Кинематична схема на фрезозане на външна цилиндрична повърхнина на стругов център, когато осите на вълтене на заготовката и инструментът се кръстосват под ъгъл равен на 90° .

Изведена е траектория на точка от режещия ръб на инструмента в пространството на заготовката, която се описва с уравнение 4.1.1.

$$\begin{aligned} x &= a \cdot \cos(\varphi_1) + (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) \cdot \cos(\varphi_1) \\ y &= - (a \cdot \sin(\varphi_1)) - (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) \cdot \sin(\varphi_1) \\ z &= (h/360) \cdot \varphi_1 - (d_w/2) \cdot \cos(i_{12} \cdot \varphi_1) \end{aligned} \quad 4.1.1$$

На фиг. 4.1.2 е показано графично траектория на точка от режещия ръб описана с уравнение 4.1.1 при обработване на цилиндрични повърхнини, когато осите на въртене на заготовката и инструментът се кръстосват под ъгъл равен на 90° .



Фиг. 4.1.2. Траектория на точка от режещия ръб описана с уравнение 4.1.1, при обработване на цилиндрични повърхнини, когато осите на въртене на заготовката и инструмента се кръстосват под ъгъл равен на 90° .

В точка 4.1.2. са определени геометричните параметри и изменението на статичните ъгли в работни ъгли, когато осите на въртене на заготовката и инструмента се кръстосват под ъгъл равен на 90° .

Изменението на инструменталните ъгли в работни ъгли, при обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент, когато осите на въртене на инструментът и заготовката са с кръстосани оси под ъгъл равен на 90° , се разглежда в трите координатни равнини Oxy , Oyz и Oxz . Определени са ъглите η_{xy} , η_{yz} , η_{xz} с които се променят работните ъгли в съответната координатна система.

Определянето на ъглите η_{xy} , η_{yz} , η_{xz} става по аналитичния метод разгледан във втора глава.

В точка 4.1.3. са определени параметрите на режима на рязане при обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с кръстосани оси под ъгъл равен 90° .

Скоростта на рязане V_c се определя от уравнение 2.1.15.

Подаването f – пътът изминат от инструмента в направлении на подаване за един оборот на движението на рязане. За обработването на цилиндрична повърхнина се разглеждат две подавания:

- f_1 подаването разглеждано в координатната равнина Oxy ;
- f_2 подаването разглеждано в координатната равнина Oxz :

Подаването f_1 се определя с уравнение 4.1.2:

$$f_1 = \frac{P}{i_{12}} \quad 4.1.2$$

Подаването на зъб f_{z1} се определя като подаването f_1 се раздели на броя на режещите зъби „ z “ (4.1.3):

$$f_{z1} = f_1/z \quad 4.1.3$$

Подаването f_2 се определя от уравнение 4.1.4:

$$f_2 = h/i_{12} \quad 4.1.4$$

Подаването на зъб f_{z2} – се определя като подаването f_2 се раздели на броя на режещите зъби „ z “ (4.1.5):

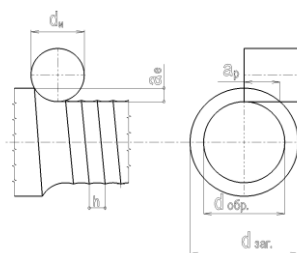
$$f_{z2} = f_2/z \quad 4.1.5$$

Осовата дълбочина на рязане a_p се определя от уравнение 4.1.6:

$$a_p = \sqrt{\left(\frac{d_{\text{зар.}}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{\text{обр.}}}{2}\right)^2} \quad 4.1.6$$

Радиална дълбочина на рязане a_e се определя с уравнение 4.1.7:

$$a_e = t = \frac{D_{\text{зар.}}}{2} - \frac{D_{\text{обр.}}}{2} \quad 4.1.7$$

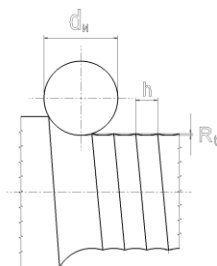


Фиг. 4.1.3. Определяне на осовата дълбочина на рязане a_p и радиална дълбочина на рязане a_e при обработване на цилиндрични повърхнини, когато осите на вѐтене на заготовката и инструментът се кръстосват под ъгъл равен на 90° .

В точка 4.1.4. са определени качествените характеристики на получените повърхнини при обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент разположен така, че оста на вѐтене на заготовката и инструментът да се кръстосват под ъгъл равен на 90° .

Най-голямата височина на грапавините R_t при обработването на цилиндричната повърхнина получена чрез струговане с въртящ се инструмент разположен, така че осите на заготовка и инструментът да се кръстосват под ъгъл равен на 90° се определя с уравнение 4.1.8:

$$R_t = \frac{h^2}{4 \cdot d_n} \quad 4.1.8$$



Фиг. 4.1.4. Определяне на най-голямата височина на грапавините R_t , при обработването на цилиндричната повърхнина получена чрез струговане с въртящ се инструмент разположен, така че осите на заготовка и инструментът да се кръстосват под ъгъл равен на 90° .

Обработената повърхнина се получава от точките на режещите ръбове разположени на оста на заготовката. За всеки режещ ръб има една точка разположена на оста на заготовката, за която радиалната дълбочина на разане е максимална. Закона на движение на всички точки от режещите ръбове се описва с уравнение 4.1.9:

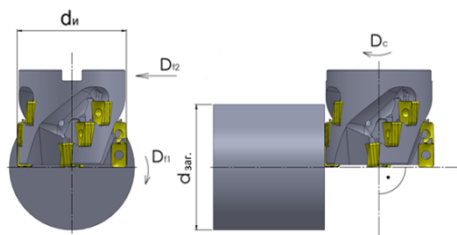
$$\begin{aligned} r &= d_n/2 \\ x &= r \cdot \cos(\varphi_1) \cdot \sin(i_{12} \cdot (\varphi_1 + (\xi/2))) + (a \cdot \cos(\varphi_1)) + l_p \cdot \sin(\varphi_1) \\ y &= -r \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \sin(i_{12} \cdot (\varphi_1 + (\xi/2))) - (a \cdot \sin(\varphi_1)) + l_p \cdot \cos(\varphi_1) \\ z &= ((h/360) \cdot \varphi_1) - (r \cdot \cos(i_{12} \cdot (\varphi_1 + (\xi/2)))) \end{aligned} \quad 4.1.9$$

На фиг. 4.1.5 са показани траекториите на 4 режещи зѐба, с дължина на спомагателния режещия ръб $l_p = 10\text{mm}$, разположени на различни централни ъгли.



Фиг. 4.1.5. Траектории на 4 режещи зѐба разположени на различни централни ъгли, при обработване на цилиндрични повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с кръстосани оси.

В точка 4.2.1 е разгледана кинематична схема за обработване на челна повърхнина, когато заготовката и инструментът са с кръстосани оси под ъгъл равен на 90° .

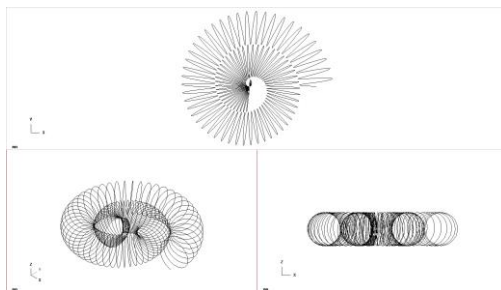


Фиг. 4.2.1. Кинематична схема на фрезозане на челна повърхнина на стругов център, когато заготовката и инструмента са с кръстосани оси под ъгъл равен на 90° .

Изведена е траектория на точка от режещия ръб на инструмента в пространството на заготовката, която се описва с уравнение 4.2.1.

$$\begin{aligned} x &= h \cdot (1/360) \cdot \cos(\varphi_1) \cdot \varphi_1 + (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) \cdot \cos(\varphi_1) \\ y &= -h \cdot (1/360) \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \varphi_1 - (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) \cdot \sin(\varphi_1) \\ z &= -(d_w/2) \cdot \cos(i_{12} \cdot \varphi_1) \end{aligned} \quad 4.2.1$$

На фиг. 4.2.2 е показана траектория на точка от режещия ръб, описана с уравнение 4.2.1:



Фиг. 4.2.2. Траектория на точка от режещия ръб описана с уравнение 4.2.1, получена при обработване на челни повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с кръстосани оси под ъгъл равен на 90° .

В точка 4.2.2. са определени геометричните параметри и изменението на инструменталните ъгли в работни ъгли, когато осите на въртене на заготовката и инструментът се кръстосват под ъгъл равен на 90° .

Изменението на инструменталните ъгли в работни ъгли, при обработване на челни повърхнини с въртящ се инструмент когато осите на въртене на инструментът и заготовката са с кръстосани оси под ъгъл равен на 90° , се разглежда в трите координатни равнини Oxy , Oyz и Oxz . Определени са ъглите η_{xy} , η_{yz} , η_{xz} с които се променят работните ъгли в съответната координатна равнина, по аналитичния метод разгледан във втора глава.

В точка 4.2.3. са определени параметрите на режима на рязане при обработване на челни повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с кръстосани оси под ъгъл равен 90° .

Скоростта на рязане V_c се определя от уравнение 2.1.15.

За обработването на челна повърхнина се разглежда подаването по челна винтова линия (4.2.2):

$$f = l = \frac{a}{2} \times (\varphi_1 \times \sqrt{(\varphi_1^2 + 1)} + \sinh^{-1} \varphi_1) \quad 4.2.2$$

Подаването на зъб f_z се определя като подаването f се раздели на броя на режещите зъби „ z “ (4.2.3):

$$f_z = f/z \quad 4.2.3$$

Осовата дълбочина на рязане a_p – врязването на главния режещ клин в заготовката, измервано успоредно на оста на инструмента. Осовата дълбочина на рязане a_p се определя от дължината на спомагателния режещ ръб l_{pc} , разположен по цилиндричната част на инструмента.

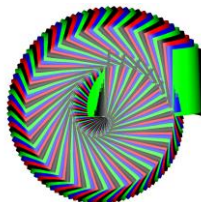
Радиална дълбочина на рязане a_e – врязването на главния режещ клин в заготовката, измервано перпендикулярно на оста на инструмента. Радиална дълбочина на рязане a_e се определя от прибавката за челна обработка.

В точка 4.2.4. са определени качествените характеристики при обработване на челни повърхнини, когато осите на вълне на заготовката и инструментът се кръстосват под ъгъл равен на 90° .

Грапавостта на получената повърхнина, при обработване на челни повърхнини, когато осите на вълне на заготовката и инструмента се кръстосват под ъгъл равен на 90° се определя от повърхнината която обработва всеки отделен спомагателен режещ ръб с дължина l_{pc} разположен по цилиндричната част на инструмента. Повърхнината която обработва всеки отделен спомагателен режещ ръб с дължина l_p разположен по цилиндричната част на инструмента се описва с уравнение 4.2.4:

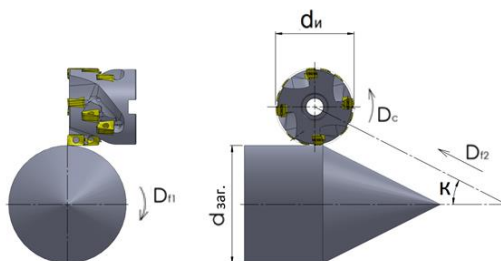
$$\begin{aligned} r &= d_w/2 \\ x &= r \cdot \cos(\varphi_1) \cdot \sin(i_{12} \cdot (\varphi_1 + (\xi/2))) + h \cdot (1/360) \cdot \cos(\varphi_1) \cdot \varphi_1 + l_p \cdot \sin(\varphi_1) \\ y &= -r \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \sin(i_{12} \cdot (\varphi_1 + (\xi/2))) - h \cdot (1/360) \cdot \cos(\varphi_1) \cdot \varphi_1 + l_p \cdot \cos(\varphi_1) \\ z &= - (r \cdot \cos(i_{12} \cdot (\varphi_1 + (\xi/2)))) \end{aligned} \quad 4.2.4$$

На фиг. 4.1.3 са показани повърхнините описани с уравнение 4.2.4 на 4 режещи зъба, с дължина на спомагателния режещия ръб $l_p = 45\text{mm}$, разположени на различни централни ъгли.



Фиг. 4.1.3. Повърхнините описани с уравнение 4.2.4 на 4 режещи зъба, с дължина на спомагателния режещия ръб $l_p = 45\text{mm}$, разположени на различни централни ъгли.

В точка 4.3.1 е разгледана кинематична схема за обработване на конусна повърхнина, когато заготовката и инструментът са с кръстосани оси под ъгъл равен на 90° :

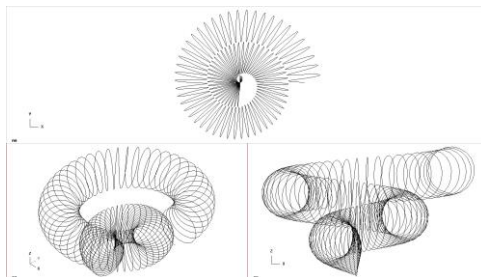


Фиг. 4.3.1. Кинематична схема на фрезование на конусна повърхнина, когато заготовката и инструментът са с кръстосващи се оси под 90° .

Траекторията на точка от режещия ръб в пространството на заготовката се описва от уравнение 4.3.1:

$$\begin{aligned} x &= h_x \cdot (1/360) \cdot \varphi_1 \cdot \cos(\varphi_1) + (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) \cdot \cos(\varphi_1) \\ y &= -h_x \cdot (1/360) \cdot \varphi_1 \cdot \sin(\varphi_1) - (d_w/2) \cdot \sin(i_{12} \cdot \varphi_1) \cdot \sin(\varphi_1) \\ z &= h_z \cdot (1/360) \cdot \varphi_1 - (d_w/2) \cdot \cos(i_{12} \cdot \varphi_1) \end{aligned} \quad 4.3.1$$

На фиг. 4.3.2. е показано графично траекторията на точка от режещия клин описана с уравнение 4.3.1. – кривата представлява конусна винтова линия описвана от удължена епициклоида.



Фиг. 4.3.2. Траектория на точка от режещия клин описана с уравнение 4.3.1.

В точка 4.3.2. са определени геометричните параметри и изменението на инструменталните ъгли в работни ъгли, когато осите на вѐтене на заготовката и инструментът се кръстосват под ъгъл равен на 90° .

Изменението на инструменталните ъгли в работни ъгли, при обработване на конусни повърхнини с въртящ се инструмент, когато осите на вѐтене на инструментът и заготовката са с кръстосани оси под ъгъл равен на 90° , се разглежда в трите координатни равнини Oxy , Oyz и Oxz . Определени са ъглите η_{xy} , η_{yz} , η_{xz} с които се променят работните ъгли в съответната координатна равнина, по аналитичния метод разгледан във втора глава.

В точка 4.3.3. са определени параметрите на режима на рязане при обработване на челни повърхнини с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с кръстосани оси под ъгъл равен 90° .

Скоростта на рязане V_c се определя от уравнение 2.1.15.

За обработването на челна повърхнина се разглежда подаването по челна винтова линия (4.3.2):

$$f_1 = l = \frac{a}{2} \times (\varphi_1 \times \sqrt{(\varphi_1^2 + 1)} + \sinh^{-1} \varphi_1) \quad 4.3.2$$

Подаването на зъб f_z се определя като подаването f се раздели на броя на режещите зъби „z“ (4.3.3):

$$f_{z1} = f_1 / z \quad 4.3.3$$

Подаването f_2 се определя от уравнение 4.3.4:

$$f_2 = \left(\sqrt{(h_x^2 + h_z^2)} \right) / i_{12} \quad 4.3.4$$

Подаването на зъб f_{z2} – се определя като подаването f_2 се раздели на броя на режещите зъби „z“ (4.3.5):

$$f_{z2} = f_2 / z \quad 4.3.5$$

Осовата дълбочина на рязане a_p се определя от уравнение 4.3.6:

$$a_p = \sqrt{\left(\frac{d_{\text{заг.}}}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_{\text{обр.}}}{2} \right)^2} \quad 4.3.6$$

Радиална дълбочина на рязане a_e се определя от уравнение 4.3.7:

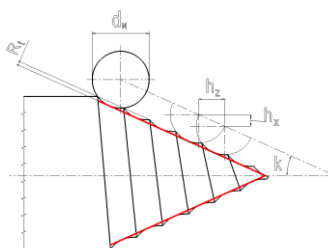
$$a_e = h_z / i_{12} \quad 4.3.7$$

В точка 4.3.4. са определени качествените характеристики при обработване на конусни повърхнини, когато осите на вѐтене на заготовката и инструментът се кръстосват под ъгъл равен на 90° .

Най-голямата височина на грапавините R_t при обработването на конусна повърхнина получена чрез струговане с въртящ се инструмент разположен, така че осите на заготовка и инструментът да се кръстосват под ъгъл равен на 90° се определя с уравнение 4.3.8 (фиг.4.3.3) :

$$R_t = \left(\sqrt{h_x^2 + h_z^2} \right)^2 / (4 * d_n) \quad 4.3.8$$

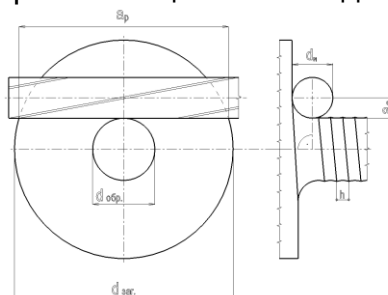
На фиг 4.3.3 е показано определянето на най-голямата височина на грапавините R_t :



Фиг 4.3.3. Определянето на най-голямата височина на грапавините R_t , при обработването на цилиндричната повърхнина получена чрез струговане с въртящ се инструмент разположен, така че осите на заготовка и инструментът да се кръстосват под 90° .

В точка 4. 4. се определя приложимостта на обработването на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с кръстосващи се оси под ъгъл равен на 90° .

За максимална производителност на обработването на цилиндрични повърхнини на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с кръстосващи се оси под ъгъл равен на 90° , се препоръчва да се работи с инструмент с голяма осова дълбочина на рязане a_p . На фиг. 4.4.1 е показано обработване на цилиндрична повърхнина с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с кръстосващи се оси под ъгъл равен на 90° .



Фиг. 4.4.1. Максимална производителност на обработването на цилиндрични повърхнини на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с кръстосващи се оси под ъгъл равен на 90° .

Изводи за приложимостта на обработването на стругови детайли с въртящ се инструмент, когато заготовката и инструментът са с кръстосани оси под ъгъл равен на 90° .

1. Обработването с въртящи се инструменти, когато инструмента и заготовката са с кръстосващи се на въртене е приложимо за всички външни стругови повърхнини.
2. Обработването с въртящи се инструменти е по-производително от струговането с нож, когато прибавката е голяма.
3. Обработването с въртящи се инструменти гарантира прекъсната стружка.
4. Обработването с въртящи се инструменти се осъществява на многоосни машини. В някои случаи е необходимо работните органи на машината да се задвижват от по-мощни двигатели.
5. Обработването с въртящи се инструменти изисква по-скъпи инструменти.

Общи изводи:

- 1) Разработени са трите основни кинематични схеми на рязане, при обработване на стругови детайли с въртящи се инструменти, за метода с успоредни, пресичащи се под ъгъл равен на 90° и кръстосани под ъгъл равен на 90° оси за трите вида стругови повърхнини (цилиндрични, челни и конусни).

- 2) За всяка кинематична схема на рязане са изведени уравнения на тректорията на точка от режещия ръб.
- 3) За съответната кинематична схема са дадени методи за определяне на геометричните параметри на режещия клин. Разгледани са 4 начина за определянето на ъгъл η , който изменя статичните ъгли на инструмента в работни:
 - Първи начин – графо-аналитичен метод;
 - Втори начин – аналитичен метод;
 - Трети начин – графо-аналитичен метод;
 - Четвърти начин – графо-аналитичен метод и 3D визуализация;
- 4) Определени са параметрите на процеса на рязане за всяка кинематична схема.
- 5) Определени са качествените характеристики на обработената повърхнина за всяка кинематична схема.

Приноси

Научни

Аналитично е определен ъгъл η , който изменя инструменталните ъгли в работни за всички кинематични схеми.

Научно-приложни

- 1) Разработени са три високопроизводителни метода за обработка на стругови детайли с въртящи се инструменти, за метода с успоредни, пресичащи се под ъгъл равен на 90° и кръстосани под ъгъл равен на 90° оси за трите вида стругови повърхнини (цилиндрични, челни и конусни);
- 2) За всяка кинематична схема на рязане са изведени уравнения на тректорията на точка от режещия ръб.
- 3) За съответната кинематична схема са дадени методи за определяне на геометричните параметри на режещия клин.
- 4) Определени са параметрите на процеса на рязане за всяка кинематична схема.
- 5) Определени са качествените характеристики на получените повърхнини.

Приложни

- 1) Разработени са високопроизводителни методи за обработка на стругови детайли, отговарящи на възможностите на съвременните металоурежещи машини с ЦПУ.
- 2) Направени са програми за машини с ЦПУ MAZAK и са обработени съответните повърхнини. Дадени са препоръки, при какви условия методите са икономически изгодни.

ANNOTATION:

Over the past few decades CNC machine tools and modern tools allow high-speed cutting with rotating tools. This type of treatment is characterized by a simultaneous rotation of the tool and the workpiece. The complexity of the kinematics of the process leads to complicated determination of the essential parameters of the cutting process. We need to develop new methods of treatment, to meet growing demands for high performance, which determines the relevance of this development.

Thesis has been developed for three different methods for processing lathe parts, as defined locus of the point of cutting edge geometry of the cutting process parameters mode cutting and quality characteristics of the resulting surfaces. The basic kinematic patterns of cutting rotating tool when he and workpiece are parallel, intersecting and cross axes of rotation.