

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення корпусу АФКА 732.131.017 з дослідженням процесу фрезерування профільних поверхонь.

Виконав: студент VI курсу, групи МТм-61  
спеціальності 131 “Прикладна механіка”

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Довбенко Я.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Паливода Ю.Є.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення корпусу АФКА 732.131.017 з дослідженням процесу фрезерування профільних поверхонь”.

У кваліфікаційній роботі проведено розрахунок профілю робочої частини черв'ячної фрези для фрезерування зовнішніх радіусних поверхонь деталі. Виведено параметричні рівняння, що описують профіль робочої частини черв'ячної фрези. Ці профілі представлені у вигляді графіків. Встановлено, що збільшення радіуса оброблюваної поверхні призводить до зміни профілю робочої частини черв'ячної фрези по еквідестанті від вихідного профілю, при цьому зміна радіуса розташування заокруглених частин заготовки в меншій мірі впливає на криві профілю. Виведено рівняння довжини кривої профілю робочої частини черв'ячної фрези та коефіцієнт кількості одночасно працюючих зубів фрези.

Також проведено графічне моделювання профільної черв'ячної фрези, що закріплена на двох опорах. За допомогою спеціалізованого пакету прикладної програми твердотілого моделювання створена відповідна 3D модель. Також проведено генерацію кінцево-елементної сітки 3D моделі фрези.

Після моделювання одержали числові та графічні відтворення напружено-деформованого стану профільної черв'ячної фрези. При цьому враховувались такі випадки механічного оброблення профільною черв'ячною фрезою однієї заготовки та одночасно двох заготовок.

Також розроблено технологічний процес виготовлення корпусу АФКА 732.131.017 з вибором устаткування та параметрів процесів механічної обробки.

## ЗМІСТ

<b>Вступ .....</b>	
<b>1 Аналітична частина</b>	
1.1. Аналіз стану питання.....	
1.2. Службове призначення деталі.....	
1.3. Висновки та постановка задач.....	
<b>2 Науково-дослідна частина</b>	
2.1 Розрахунок профілю робочої частини черв'ячної фрези для фрезерування зовнішніх радіусних поверхонь деталі.....	
2.2. Дослідження величини напружень та деформацій, що виникають у профільній черв'ячній фрезі в процесі обробки радіусних поверхонь заготовки методом кінцевих елементів.....	
2.3. Висновки.....	
<b>3 Технологічно-конструкторська частина</b>	
3.1. Аналіз технологічності конструкції деталі.....	
3.2. Вибір способу одержання заготовки.....	
3.3. Формування технологічного процесу .....	
3.4. Визначення припусків на оброблення і розмірів заготовки.....	
3.5. Визначення режимів різання та технічних норм часу.....	
3.6. Розрахунок похибки встановлення деталі .....	
3.7. Розрахунок пристосування.....	
<b>4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</b>	
4.1. Основні вимоги і порядок розроблення інструкції з охорони праці на підприємстві.....	
4.2. Наслідки аварій на машинобудівному підприємстві.....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

## ВСТУП

В процесі механічної обробки профільних поверхонь деталей, що мають рівномірно розміщені заокруглення по периметру в умовах середньосерійного типу виробництва доцільно використовувати спеціальні черв'ячні фрези для фрезерування радісних поверхонь. При цьому виникають актуальні питання щодо проектування профілю робочої частини таких фрез.

Фрезерування профільних поверхонь деталей машин методом обкатування черв'ячною фрезою забезпечує найвищу продуктивність обробки, при цьому досягається найвища точність оброблених поверхонь.

Для механічної обробки радісних поверхонь виникають питання щодо розрахунку та опису профілю робочої частини черв'ячної фрези для фрезерування зовнішніх радісних поверхонь деталей машин на основі параметричних рівнянь, графічного відтворення даних поверхонь, щодо забезпечення міцності черв'ячної фрези і розрахунку її деформацій та напружень в процесі різання за допомогою спеціалізованих пакетів прикладних програм на основі 3D моделей, розгляду можливостей підвищення продуктивності обробки за рахунок концентрації операцій.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу АФКА 732.131.017 з вибором устаткування та параметрів процесів механічної обробки.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Аналіз стану питання

Значний внесок до теоретичних та експериментальних досліджень процесів фрезерування профільних періодичних поверхонь деталей машин та проектування відповідних інструментів зробили Равська Н.С., Панчук В.Г., Тарасюк А.П., Мазур М.П., Розенберг О.М., Залога В.О., Кріпак О.С., Петраков Ю.В., Ельясберг М.Є., С.А., Калафатова Л.П., Altintas Y., Izamshah R., Budak E., E. та інші.

Під час фрезерування профільних періодичних поверхонь деталей машин застосовують як основні методи обкатування (рис. 1.1) та копіювання (рис. 1.2).

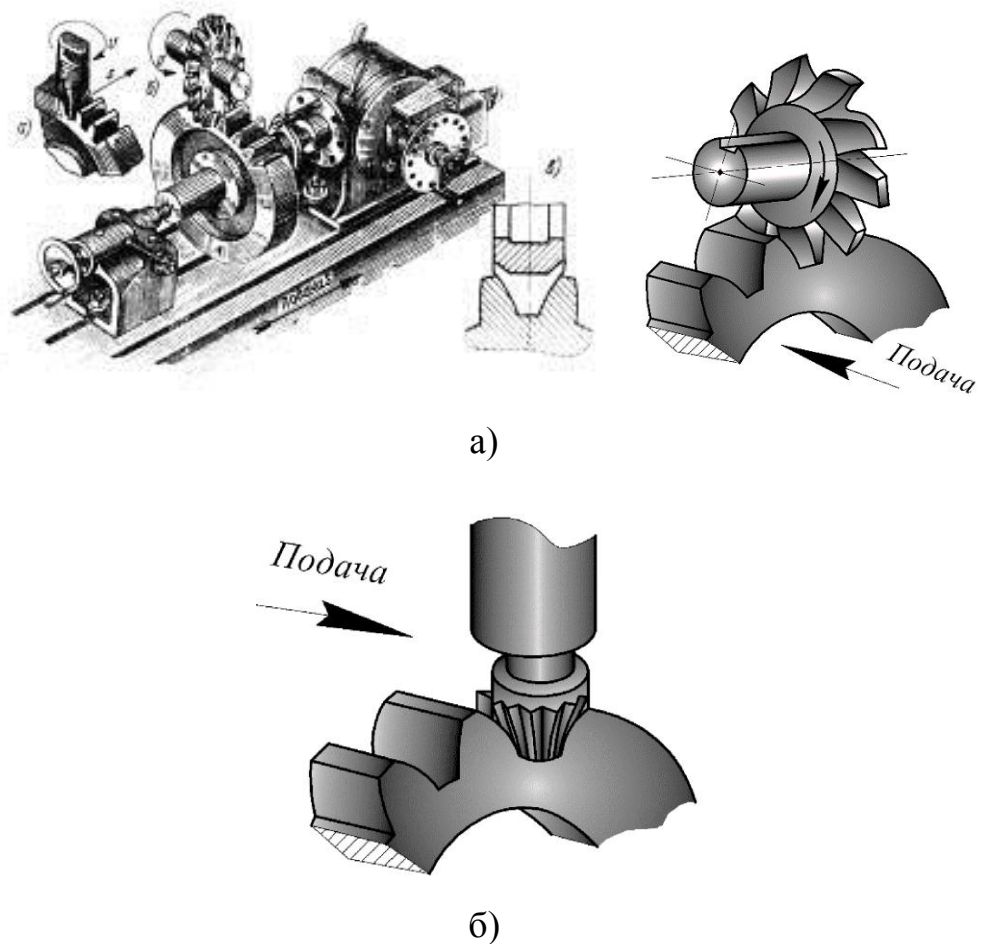


Рисунок 1.1 – Фрезерування профільних поверхонь методом копіювання:

а) дисковою фрезою; б) пальцевою фрезою

Під час фрезерування методом копіювання використовують дискові або пальцеві фрези, при цьому заготовку закріплюють у ділільному механізмі і періодично повертають після обробки чергової поверхні. (рис. 1.1).

Недоліками методу копіювання є низька продуктивність та точність процесу фрезерування, тому він використовується для обробки малих партій заготовок з невисокою точністю.

Найбільшого поширення під час фрезерування періодичних профільних поверхонь має метод обкатування. При цьому обробка деталей проводиться черв'ячними фрезами з осьовою подачею (рис. 1.2).

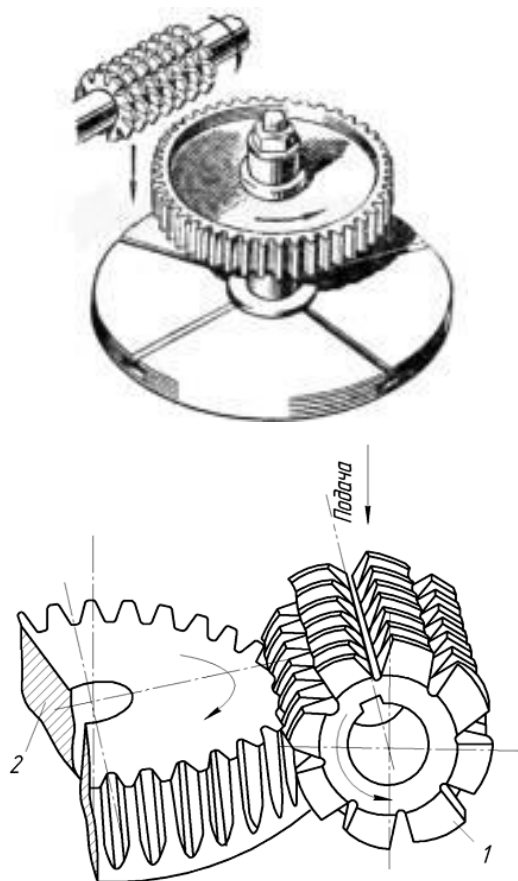


Рисунок 1.2 – Фрезерування профільних поверхонь методом обкатування черв'ячною фрезою

Даним методом можлива обробка деталей різноманітної складності і профілю із забезпеченням високих показників точності оброблених поверхонь. При осьовій подачі інструменту виникає значний час врізання, який зменшують

за рахунок одночасної обробки двох заготовок, використання додаткової радіальної подачі, зміною величини подачі інструмента у різних зонах різання.

Ще одним способом підвищення продуктивності є використання багатозахідних черв'ячних фрез. При цьому кількість заходів черв'яка є кратною кількості профільних поверхонь, що обробляються на деталі. При цьому швидкість обертання заготовки зростає пропорційно кількості заходів на фрезі. Також неправильне налагодження призводить до виникнення похибок кроку розташування профільних поверхонь.

На сучасних верстатах використовуються 6-7 ми західні фрези, що мають 15-17-стружкових канавок із різальною частиною 200 мм.

Цікавим також є метод обробки профільних періодичних поверхонь деталей машин представлений на рис. 1.3. При цьому методі поверхня різання розміщена паралельно площині основи конуса та обертається з кутовою швидкістю різання та поступово подається до заготовки, що залишається нерухомою:

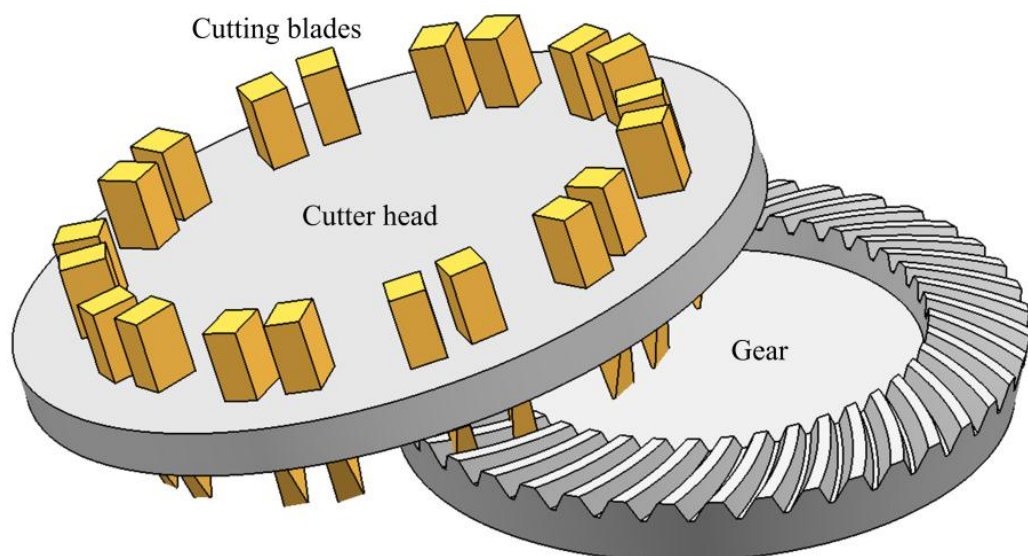


Рисунок 1.3 – Метод обробки профільних періодичних поверхонь деталей машин [22]

Для обробки профільних періодичних поверхонь деталей машин також використовуються фрезерні верстати з ЧПК із багатьма контрольованими

осями. При цьому заготовка може переміщуватись по трьох осях координат, що визначаються на основі кінематичної моделі. Також заготовка може обертатись без зупинок та робити періодичні перерви при обертанні. Компановка такого верстата зображена на рисунку 1.4.

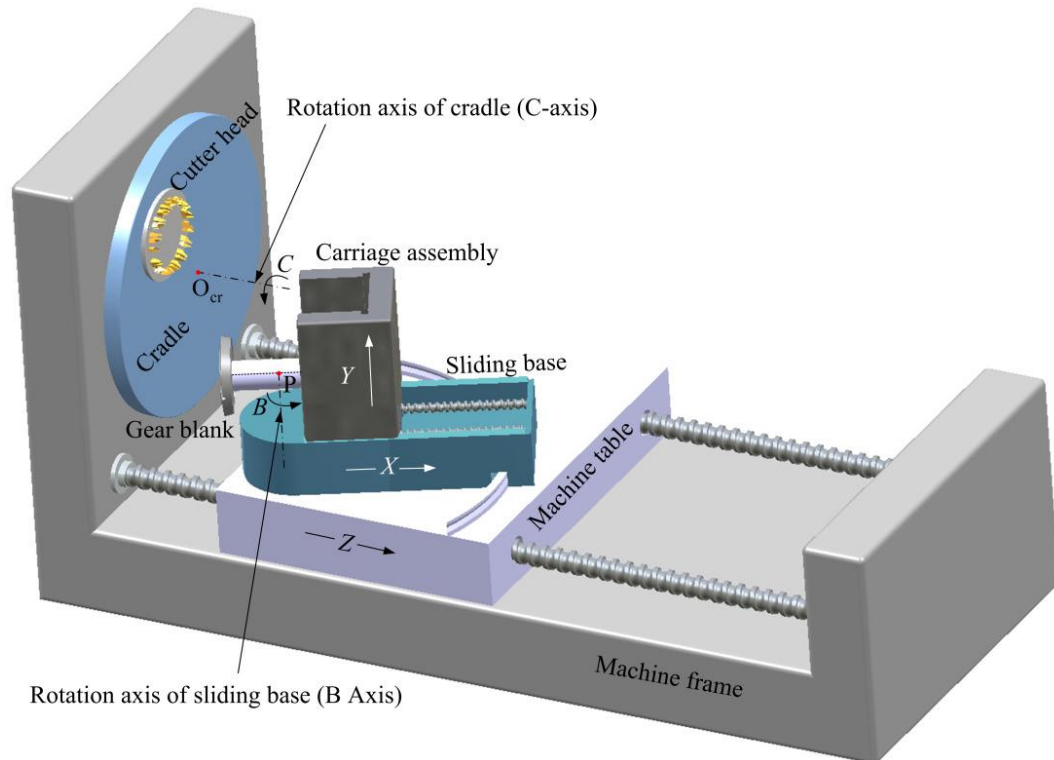


Рисунок 1.4 – Компановка фрезерного верстата для фрезерування профільних поверхонь деталей машин [22]

## 1.2. Службове призначення деталі

Деталь “Корпус” АФКА 732131.017 є базовою частиною світильника для освітлення промислових приміщень.

Основними поверхнями деталі є: торцева поверхня  $84,5h14_{(-0,87)}$ ;  $Ra_{12,4}$ , три різьбових отвори  $M6-7H$ ;  $Ra_{6,2}$ ,  $96\pm 0,2$ , торцева кругова канавка  $3H14^{(+0,25)}$ ;  $Ra_{12,4}$  – для кріплення захисного герметичного кожуха, два отвори  $\varnothing 21,5H14^{(+0,52)}$ ;  $25\pm 0,26$ ;  $Ra_{12,4}$  – для підведення і фіксації кабелів; різьбовий отвір  $M16\times 1,5-7H$ ;  $Ra_{6,2}$  – для приєднання фланця з сальником; два різьбових отвори  $M4-7H$ ;  $Ra_{6,2}$ ,  $34\pm 0,2$  для приєднання кронштейна; два отвори



$\varnothing 3,7\text{H}14^{(+0,3)}$ ;  $\text{Ra}12,4$ ,  $83\pm 0,2$  для приєднання апаратури світильника; отвір  $\varnothing 9\text{H}7^{(+0,015)}$ ,  $\text{Ra}1,5$  для запресовування втулки безпеки; боковий отвір  $\text{M}4\text{-}7\text{H}$ ;  $\text{Ra}6,2$ ,  $7\pm 0,18$  для загвинчування гвинта фіксації; отвір  $\text{M}4\text{-}7\text{H}$ ;  $\text{Ra}6,2$ ,  $44\pm 0,31$  - для гвинта заземлення.

Результати аналізу зводимо в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Аналіз технічних вимог

Номер поверхні	Назва поверхні	Шорсткість
1	2	3
1, 4	Дві торцеві поверхні $84,5\text{h}14_{(-0,87)}$	$\text{Ra}12,4$
2	Торцева канавка $3\text{H}14^{(+0,25)}$ ; $3\text{h}14_{(-0,25)}$ ; $2\pm 0,2$	$\text{Ra}12,4$
3	Зовнішня поверхня $\varnothing 120\text{h}14_{(-0,87)}$	$\text{Ra}12,4$
5, 6	Два глухих отвори $\varnothing 3,3^{+0,14}$ ; $34\pm 0,2$ ; $l=11,5$ під різьбу $\text{M}4\text{-}7\text{H}$	$\text{Ra}6,2$
7, 8	Дві внутрішні фаски $0,5\times 45^\circ$	$\text{Ra}12,4$
9	Наскрізний отвір $\varnothing 3,3^{+0,14}$ ; $7\pm 0,18$ ; $l=6$ під різьбу $\text{M}4\text{-}7\text{H}$	$\text{Ra}6,2$
10	Внутрішня фаска $1\times 45^\circ$	$\text{Ra}12,4$
11	Отвір $\varnothing 9\text{H}7^{(+0,015)}$ , $l=4$	$\text{Ra}1,6$
12	Отвір $\varnothing 14,37^{+0,2}$ ; $l=18,5$ під різьбу $\text{M}16\times 1,5\text{-}7\text{H}$	$\text{Ra}6,2$
14	Отвір $\varnothing 18\text{H}14^{(+0,043)}$	$\text{Ra}12,4$
15, 16	Два різевих отвори $\text{M}4\text{-}7\text{H}$ ; $l=8$	$\text{Ra}6,2$
17	Різевий отвір $\text{M}4\text{-}7\text{H}$ ; $l=6$	$\text{Ra}6,2$
18	Різевий отвір $\text{M}16\times 1,5\text{-}7\text{H}$ ; $l=10$	$\text{Ra}6,2$
19, 20, 21	Три глухих отвори $\varnothing 4,95^{+0,26}$ ; $l=17$ під різьбу $\text{M}6\text{-}7\text{H}$ , $96\pm 0,2$	$\text{Ra}6,2$
22, 23, 24	Три внутрішні фаски $1\times 45^\circ$	$\text{Ra}12,4$
25, 26	Два глухих отвори $\varnothing 3,7\text{H}14^{(+0,3)}$ ; $l=9$ ; $83\pm 0,2$	$\text{Ra}12,4$

### Закінчення таблиці 1.1

1	2	3
27	Глухий отвір $\varnothing 3,3^{+0,14}$ ; $44 \pm 0,31$ ; $l=15$ під різьбу М4-7Н	Ra6,2
28, 29, 30	Три різевих отвори М6-7Н; $l=12$	Ra6,2
31	Різовий отвір М4-7Н; $l=10$	Ra6,2
32, 33	Два отвори $\varnothing 21,5H14^{(+0,52)}$ ; $25 \pm 0,26$	Ra12,4

Деталь “Корпус” АФКА 732131.017 виготовляється з алюмінієвого сплаву АК12.

### 1.3. Висновки та постановка задач

В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що фрезерування профільних поверхонь деталей машин методом обкатування черв'ячною фрезою забезпечує найвищу продуктивність обробки, при цьому досягається найвища точність оброблених поверхонь.

В процесі механічної обробки профільних поверхонь деталей, що мають рівномірно розміщення заокруглення по периметру в умовах середньосерійного типу виробництва доцільно використовувати спеціальні черв'ячні фрези для фрезерування радіусних поверхонь. При цьому виникають актуальні питання, щодо проектування профілю робочої частини таких фрез.

У дипломній роботі слід вирішити такі завдання:

1. Провести розрахунок профілю робочої частини черв'ячної фрези для фрезерування зовнішніх радіусних поверхонь деталі. Вивести параметричні рівняння, що описують профіль робочої частини черв'ячної фрези.

2. Побудувати криві профілю робочої частини черв'ячної фрези для фрезерування зовнішніх радіусних поверхонь деталі в поперечному перерізі

3. За допомогою спеціалізованого пакету прикладної програми твердотілого моделювання створити 3D модель черв'ячної фрези для фрезерування зовнішніх радіусних поверхонь

4. Одержати числові та графічні відтворення напружено-деформованого стану профільної черв'ячної фрези. При цьому врахувати випадки механічного оброблення профільною черв'ячною фрезою однієї заготовки та одночасно двох заготовок.

5. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення корпусу АФКА 732.131.017.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок профілю робочої частини черв'ячної фрези для фрезерування зовнішніх радіусних поверхонь деталі

В процесі механічної обробки профільних поверхонь деталей, що мають рівномірно розміщення заокруглення по периметру в умовах середньосерійного типу виробництва доцільно використовувати спеціальні черв'ячні фрези для фрезерування радіусних поверхонь. При цьому виникають завдання, щодо проектування профілю робочої частини таких фрез.

З метою здійснення розрахунку профілю робочої частини черв'ячної фрези враховуємо умови взаємодії профільної заготовки із черв'ячною фрезою, що зображено на розрахунковій схемі рисунку 2.1. Система координат  $y_1O_1x_1$  має можливість обертового руху навколо центра  $O_1$  і жорстко приєднана до профільної заготовки. Система координат  $z_3O_3x_3$  є нерухомою і жорстко приєднана до затискного пристрою верстата. Система координат  $y_2O_2x_2$  представлена рухомою з прямолінійним рухом і жорстко приєднано до лінії контакту черв'ячною фрези із заготовкою, при цьому переміщення здійснюється паралельно вісі  $x_3$ .

Відповідно до розрахункової схеми рис. 2.1 профіль радіусної поверхні заготовки, що обробляється в системі координат  $y_1O_1x_1$  можна представити вектором  $\vec{s}_1$  у параметричній формі:

$$\vec{s}_1 = \begin{bmatrix} -R_1 \cdot \sin \theta \\ -(R + R_1 \cos \theta) \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (2.1)$$

де  $R_1$  – радіус заокругленої частини заготовки, що піддається фрезеруванню, мм.

$R$  – радіус кола деталі, на якому розміщено заокруглені частини заготовки, що піддається фрезеруванню, мм;

$\theta$  – параметр, що визначає кутове розміщення точок на заокругленій частині заготовки, що піддається фрезеруванню, рад.

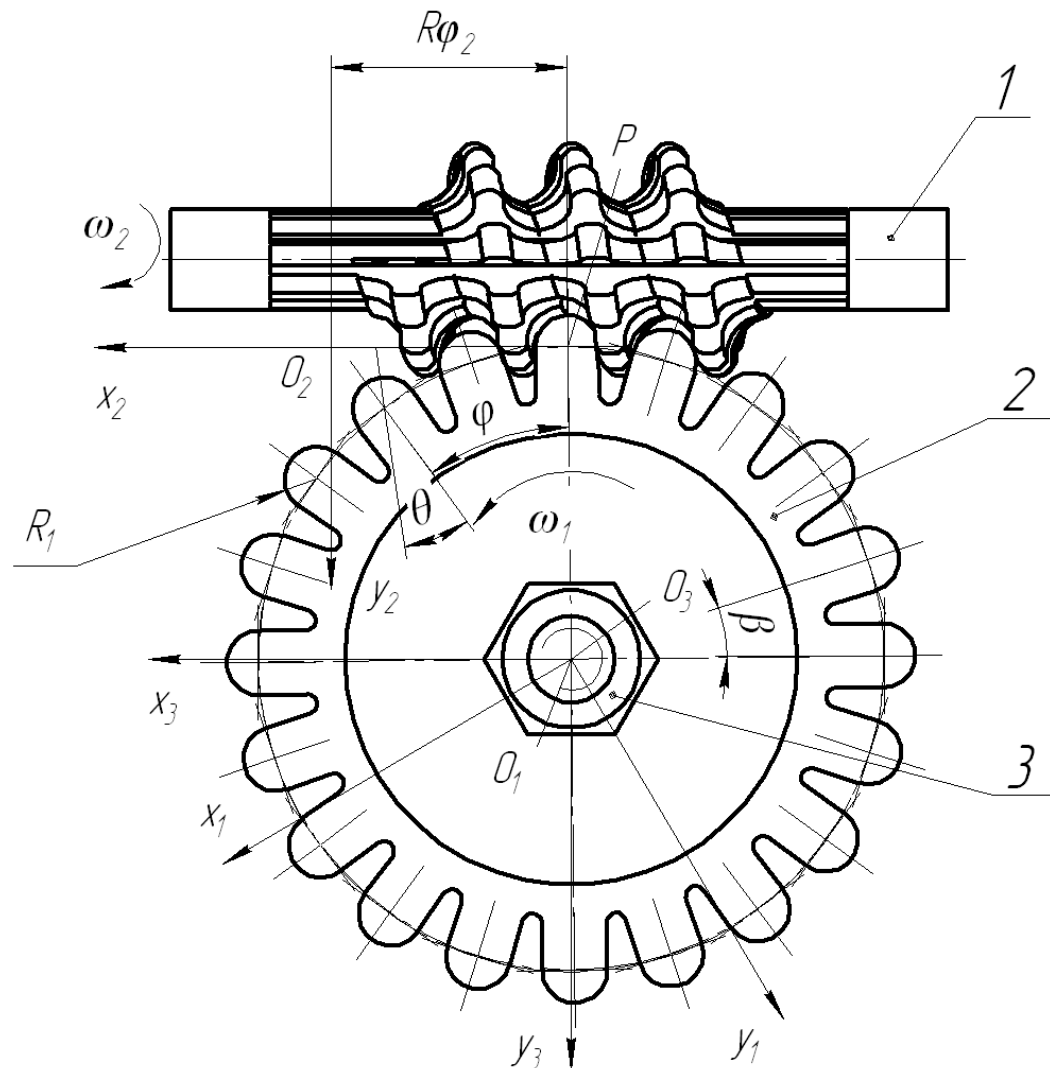


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема для визначення профілю робочої частини черв'ячної фрези: 1 – профільна черв'ячна фреза, 2 – заготовка із радіусними поверхнями; 3 – пристрій для затиску і базування заготовки

При початковому нульовому куті обертання  $\varphi$  системи координат  $y_1O_1x_1$ , центр заокругленої частини заготовки  $C$  співпадає із миттєвою точкою перетину радіуса кола деталі, на якому розміщено заокруглені частини

заготовки і радіусної поверхні профільної черв'ячної фрези. Отже, радіус заокругленої частини заготовки  $R_1$  повністю відповідає радіусній частині профілю витка черв'ячної фрези. Тоді профіль ріжучої частини черв'ячної фрези можна представити у вигляді двох кривих: кола радіусом  $R_1$  (у впадині витка, крива 1), яке визначено на проміжку  $\frac{\pi}{2} \geq \theta \geq 0$  і другої кривої, що знаходиться у спряженні із траєкторією руху заокругленої частини заготовки відносно витків черв'ячної фрези. Початок координат кривої у впадині витка залишається нерухомим у системі координат  $y_2O_2x_2$ . Рівняння другої кривої у системі координат  $y_2O_2x_2$  визначено за допомогою формули:

$$s_2(\theta, \varphi) = \vec{s}_1 \cdot \vec{M}_{23} \cdot \vec{M}_{31}, \quad (2.2)$$

де  $\vec{M}_{23}$  - матриця, яка визначає зміщення робочої профільної частини витка черв'ячної фрези по вісі  $x_2$  в системі координат  $y_2O_2x_2$  відносно зафіксованої системи координат  $y_3O_3x_3$ ;

$\vec{M}_{31}$  - матриця, що визначає обертовий рух заготовки відносно вісі  $z_3$  з одиничним вектором.

Матрицю, що визначає обертовий рух заготовки відносно вісі  $z_3$  з одиничним вектором представлено таким чином

$$\vec{M}_{31} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Вектор між початками координат профільної частини витка черв'ячної фрези та зафіксованої системи координат в системі координат  $y_2O_2x_2$ :

$$\overrightarrow{O_2O_3} = \begin{bmatrix} -R\varphi \\ R \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (2.4)$$

Визначаємо матрицю, що описує зміщення робочої профільної частини витка черв'ячної фрези по вісі  $x_2$  в системі координат  $y_2O_2x_2$  відносно зафіксованої системи координат  $y_3O_3x_3$  за формулою:

$$\overrightarrow{M}_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -R\varphi \\ 0 & 1 & 0 & R \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Одержуємо матрицю переходу як добуток матриць (2.3) і (2.5):

$$\overrightarrow{M}_{21} = \overrightarrow{M}_{23} \cdot \overrightarrow{M}_{31};$$

$$\overrightarrow{M}_{21} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 & -R\varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 & R \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.6)$$

Одержуємо рівняння другої кривої частини витка черв'ячної фрези у системі координат  $y_2O_2x_2$  на основі рівнянь (2.6) і (2.1) та (2.2):

$$\vec{s}_2(\theta, \varphi) = \begin{bmatrix} -R\varphi - \sin \varphi(-R - R_1 \cos \theta) - R_1 \cos \varphi \cdot \sin \theta \\ R - R_1 \sin \varphi \sin \theta - R \cos \varphi - R_1 \cos \varphi \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Параметричне рівняння другої кривої частини витка черв'ячної фрези у системі координат  $y_2O_2x_2$  після перетворень матриці (2.7), представлено у такій формі:

$$x_2 = -R \left( \frac{\varphi}{\sin \varphi} - 1 \right) - R_1 (\cos \theta + \operatorname{ctg} \varphi \sin \theta); \quad (2.8)$$

$$y_2 = R(1 - \cos \varphi) - R_1 (\sin \varphi \sin \theta - \cos \varphi).$$

Друга крива частини витка черв'ячної фрези розташована симетрично відносно вісі  $y_2$ , тому її представлено у параметричній формі:

$$x_{2c} = R \left( \frac{\varphi}{\sin \varphi} - 1 \right) - R_1 (\cos \theta + \operatorname{ctg} \varphi \sin \theta); \quad (2.9)$$

$$y_2 = R(1 - \cos \varphi) - R_1 (\sin \varphi \sin \theta - \cos \varphi).$$

Радіус  $R_1$  заокругленої частини заготовки, що піддається фрезеруванню представлено у параметричній формі:

$$x_R = R_1 \sin \theta \quad ; \quad (2.10)$$

$$y_R = -R_1 \cos \theta;$$

$$-\frac{\pi}{2} \geq \theta \geq \frac{\pi}{2}.$$

Визначаємо рівняння траєкторії руху центра заокругленої частини заготовки у системі координат  $y_2 O_2 x_2$  із рівняння (2.9), при цьому  $R_1=0$ :

$$x_{R1} = -R \left( \frac{\varphi}{\sin \varphi} - 1 \right); \quad (2.11)$$

$$y_{R1} = R(1 - \cos \varphi).$$

В результаті розрахунків встановлено, що параметричні рівняння (2.8) – (2.11), описують профіль робочої частини черв'ячної фрези для фрезерування



зовнішніх радіусних поверхонь деталі. Ці профілі представлені на графіках рисунків 2.2 та 2.3.

Із рисунка 2.2 видно, що збільшення радіуса оброблюваної поверхні призводить до зміни профілю робочої частини черв'ячної фрези по еквідестанті від вихідного профілю. Із рисунка 2.3 бачимо, що зміна радіуса розташування заокруглених частин заготовки в меншій мірі впливає на криві профіля.

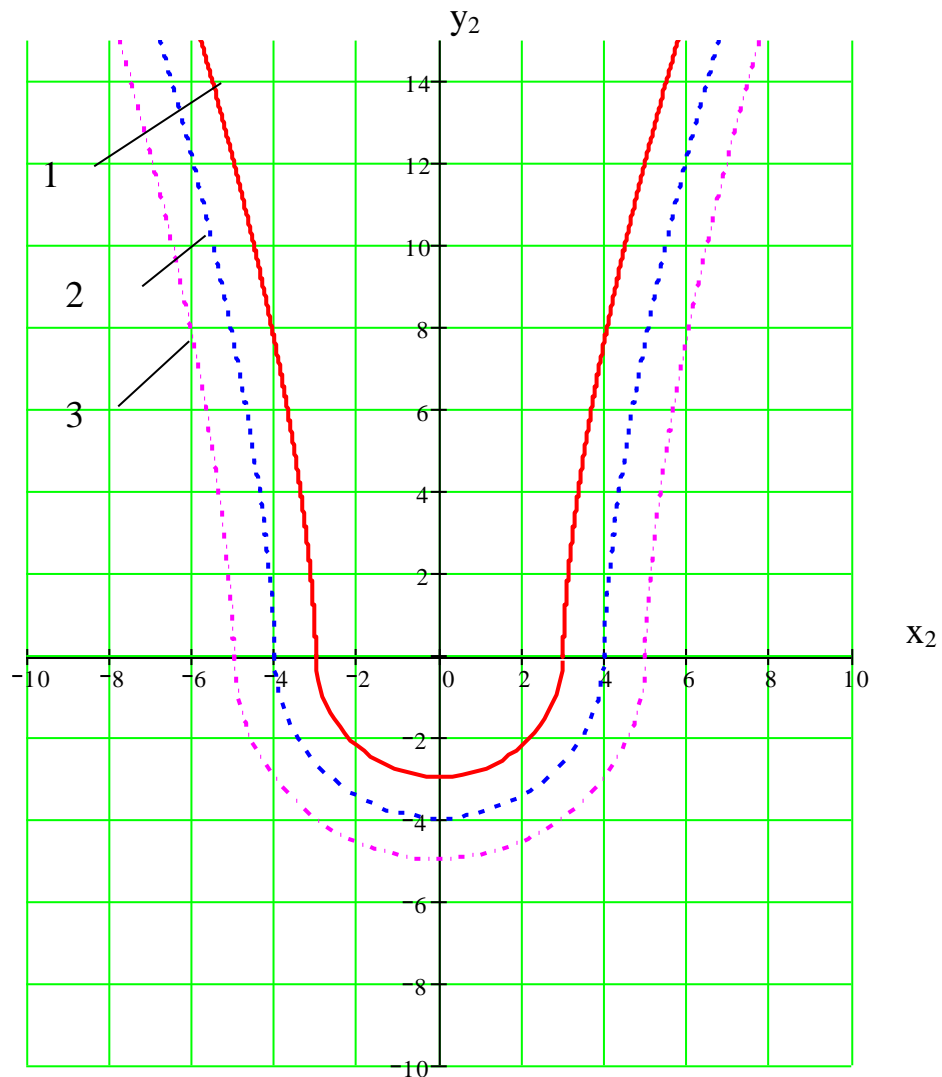


Рисунок 2.2 - Криві профілю робочої частини черв'ячної фрези для фрезерування зовнішніх радіусних поверхонь деталі в поперечному перерізі в системі координат  $y_2O_2x_2$   $R=100$  мм: 1 –  $R_1=3$  мм; 2 –  $R_1=4$  мм; 2 –  $R_1=5$  мм

Визначаємо довжину кривої профілю робочої частини черв'ячної фрези для фрезерування зовнішніх радіусних поверхонь деталі в поперечному перерізі за формулою:

$$L = \int_0^{\varphi_1} \sqrt{\left(\frac{dx_2}{d\varphi}\right)^2 + \left(\frac{dy_2}{d\varphi}\right)^2} d\varphi, \quad (2.12)$$

де  $\varphi_1$  – максимальний кут взаємодії робочої частини черв'ячної фрези із зовнішньою радіусною поверхнею деталі в поперечному перерізі, рад.

Визначаємо похідні:

$$\frac{dx_2}{d\varphi} = -R \left( \frac{1}{\sin \varphi} - \frac{\varphi}{\sin^2 \varphi} \cos \varphi \right) + R_1 \frac{\sin \theta}{\operatorname{tg}^2 \varphi} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi); \quad (2.13)$$

$$\frac{dy_2}{d\varphi} = R \sin \varphi - R_1 \sin \theta \cos \varphi.$$

Тоді довжину кривої профілю робочої частини черв'ячної фрези визначимо за формулою:

$$L = \int_0^{\varphi_1} \sqrt{\left( -R \left( \frac{1}{\sin \varphi} - \frac{\varphi}{\sin^2 \varphi} \cos \varphi \right) + R_1 \frac{\sin \theta}{\operatorname{tg}^2 \varphi} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \right)^2 + (R \sin \varphi - R_1 \sin \theta \cos \varphi)^2} d\varphi. \quad (2.14)$$

Максимальний кут взаємодії робочої частини черв'ячної фрези із зовнішньою радіусною поверхнею деталі в поперечному перерізі можна визначити за формулою

$$\varphi_1 = \arccos \left( 1 - \frac{r_3 - r - r_2}{R} \right). \quad (2.15)$$

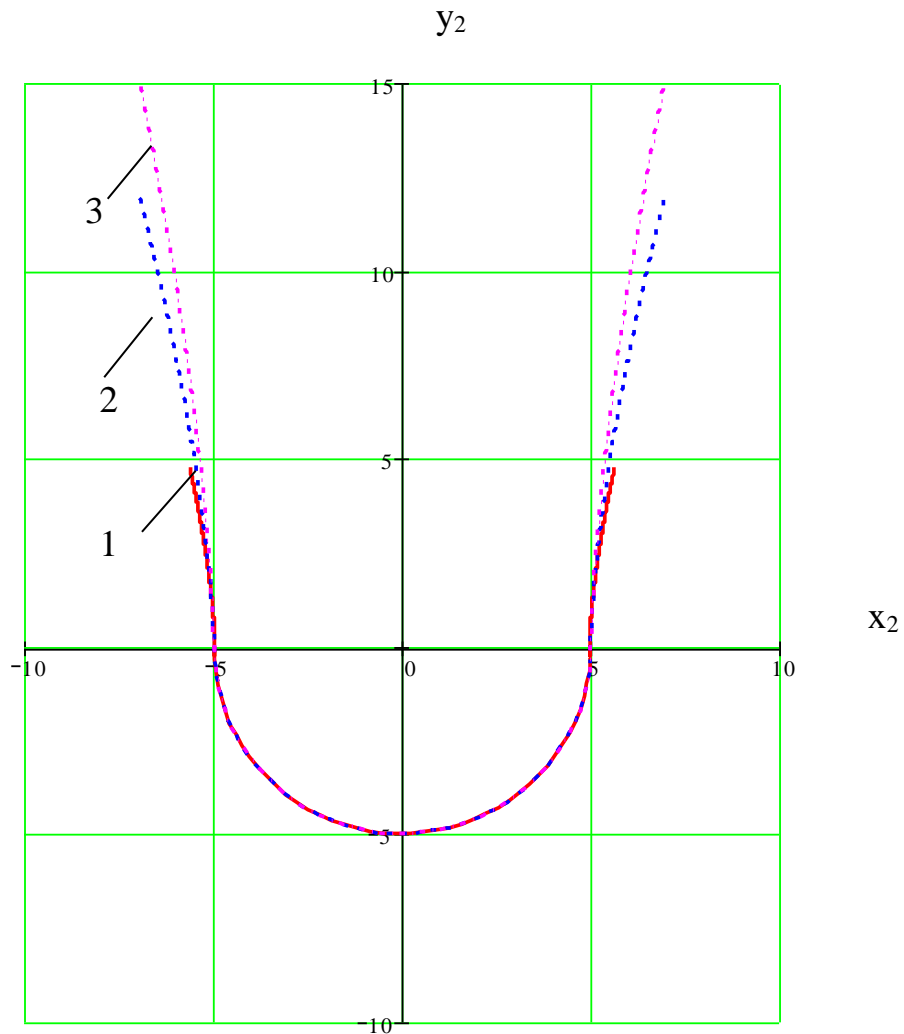


Рисунок 2.3 - Криві профілю робочої частини черв'ячної фрези для фрезерування зовнішніх радіусних поверхонь деталі в поперечному перерізі в системі координат  $y_2O_2x_2$   $R_1=5$  мм: 1 –  $R=50$  мм; 2 –  $R=100$  мм; 2 –  $R=200$  мм

де  $r_3$  - зовнішній радіус черв'ячної фрези, мм;

$r$  – радіус заокруглення витка черв'ячної фрези, мм;

$r_2$  - радіус кола, що проходить через центри радіусних робочих поверхонь черв'ячної фрези, мм.

Коефіцієнт кількості одночасно працюючих зубів фрези:

$$\alpha_k = \frac{\varphi_1}{\beta} \quad , \quad (2.16)$$

де  $\beta$  – кут розміщення зовнішніх радіусних поверхонь деталі.

Якщо коефіцієнт кількості одночасно працюючих зубів фрези  $\alpha_k > 1$ , то в процесі різання беруть участь одночасно два ріжучих зуба.

Кут розміщення зовнішніх радіусних поверхонь деталі:

$$\beta = \frac{2\pi}{k}, \quad (2.17)$$

де  $k$  - кількість рівномірно розміщених зовнішніх радіусних поверхонь на деталі.

## **2.2. Дослідження величини напружень та деформацій, що виникають у профільній черв'ячній фрезі в процесі обробки радіусних поверхонь заготовки методом кінцевих елементів**

Під час теоретичних досліджень процесу фрезерування проведено графічне моделювання профільної черв'ячної фрези, що закріплена на двох опорах. За допомогою спеціалізованого пакету прикладної програми твердотілого моделювання створена відповідна 3D модель. Також проведено генерацію кінцево-елементної сітки 3D моделі фрези.

Після моделювання одержали числові та графічні відтворення напружено-деформованого стану профільної черв'ячної фрези. При цьому враховувались такі випадки:

1. Механічне оброблення профільною черв'ячною фрезою однієї заготовки, при цьому виникає тангенціальна  $F_t$  та радіальна  $F_r$  складові сили різання (рис. 2.4а).

2. Механічне оброблення профільною черв'ячною фрезою одночасно двох заготовок, при цьому виникають дві тангенціальні  $F_t$  та радіальні  $F_r$  складові сил різання (рис. 2.4б). При цьому відбувається часткове зрівноважування радіальних  $F_r$  сил різання.

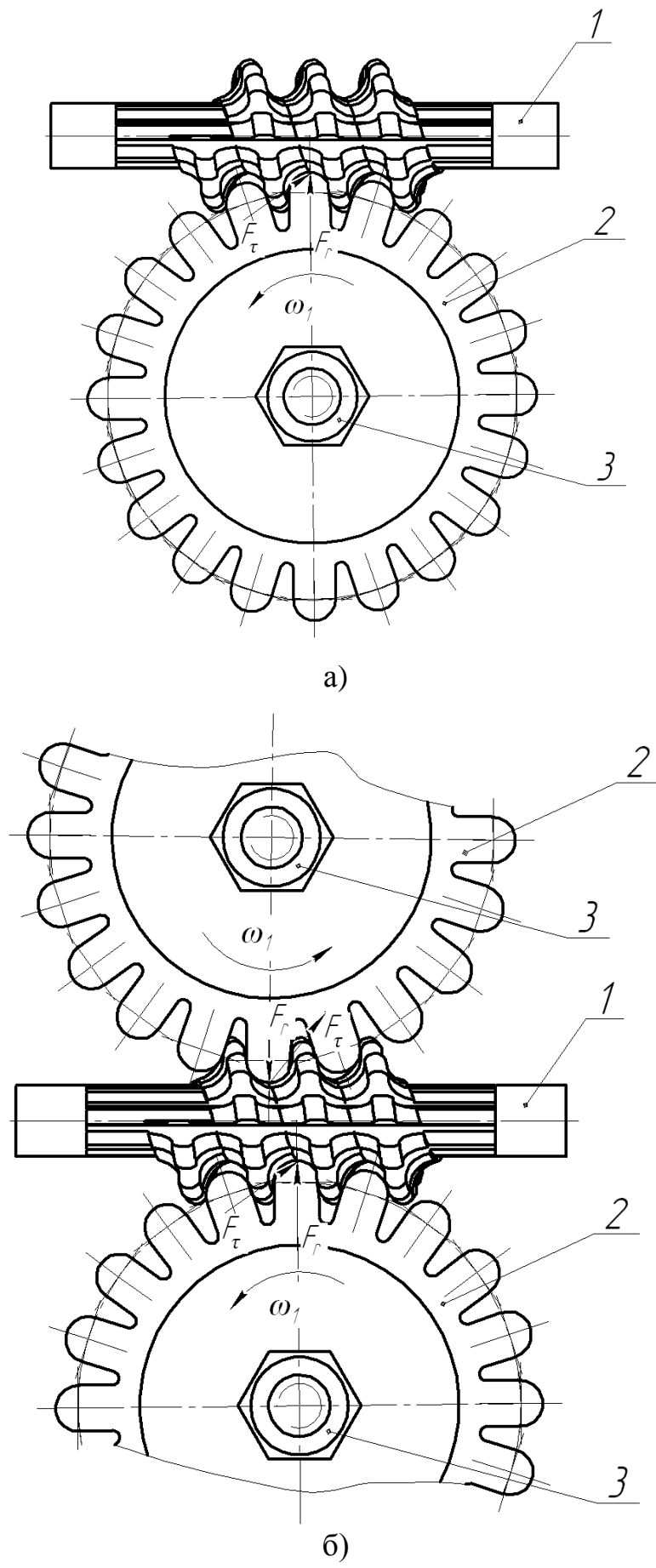


Рисунок 2.4 - Механiчне оброблення профiльною черв'ячною фрезою однієї заготовки а) та одночасно двох заготовок

Весь процес досліджень включав 3-D моделювання профільної черв'ячної фрези, генерування на її поверхні кінцево-елементної сітки із накладанням граничних умов (рис. 2.5), при яких фреза закріплювалась на двох опорах, формування навантаження радіальними та тангенціальними силами різання (рис. 2.6, 2.10). В результаті розрахунків у діалогових вікнах спеціалізованої програми отримували графічне відображення деформацій (рис. 2.8, 2.12) та напружень (рис. 2.7, 2.11), що виникають у профільній черв'ячній фрезі.

В результаті моделювання методом кінцевих елементів та аналізу результатів теоретичних досліджень встановлено, що при обробленні однієї заготовки виникають менші напруження (при основі зуба, який безпосередньо задіяний в процесі різання) та деформації ніж при обробленні двох заготовок.

Хоч і при обробленні двох заготовок відбувається часткове взаємне врівноважування радіальних сил різання і зменшення згину фрези, проте одночасно із цим присутнє зростання сумарної тангенціальної сили різання, що призводить до виникнення більших деформацій кручення фрези. Найбільші напруження та деформації виникають на робочому зубі фрези, проте вони не виходять за гранично допустимі значення.

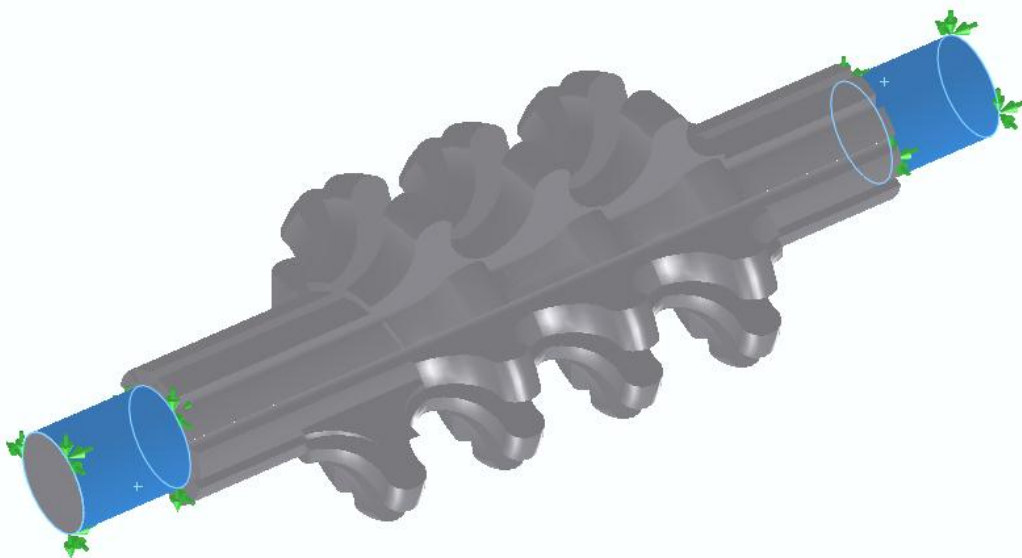


Рисунок 2.5 - Накладання граничних умов на профільну черв'ячну фрезу

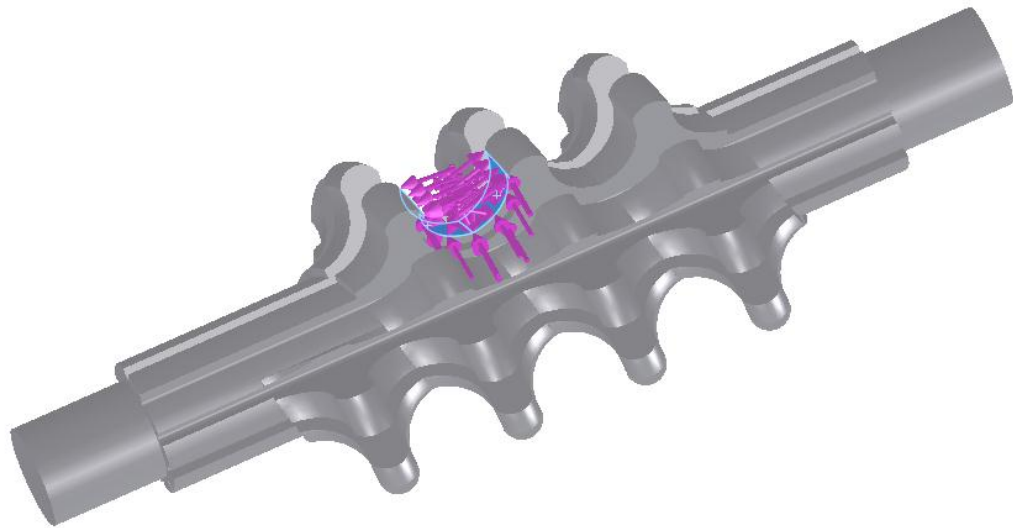


Рисунок 2.6 - Формування навантаження профільної черв'ячної фрези радіальними та тангенціальними силами різання при обробленні однієї заготовки

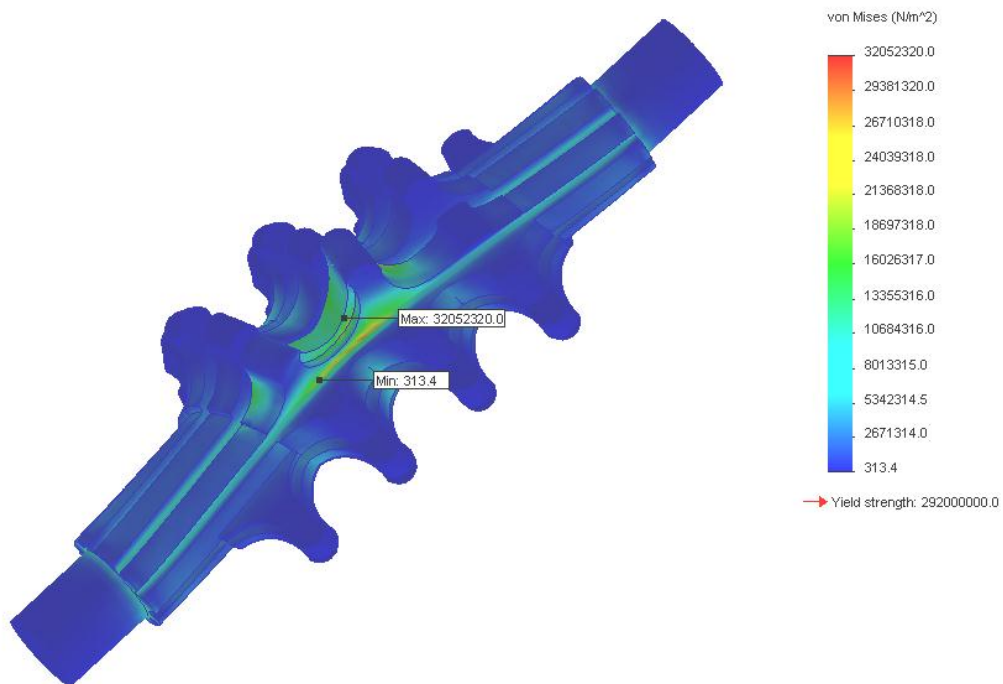


Рисунок 2.7 - Графічне відображення напружень, що виникають у профільній черв'ячній фрезі при обробленні однієї заготовки

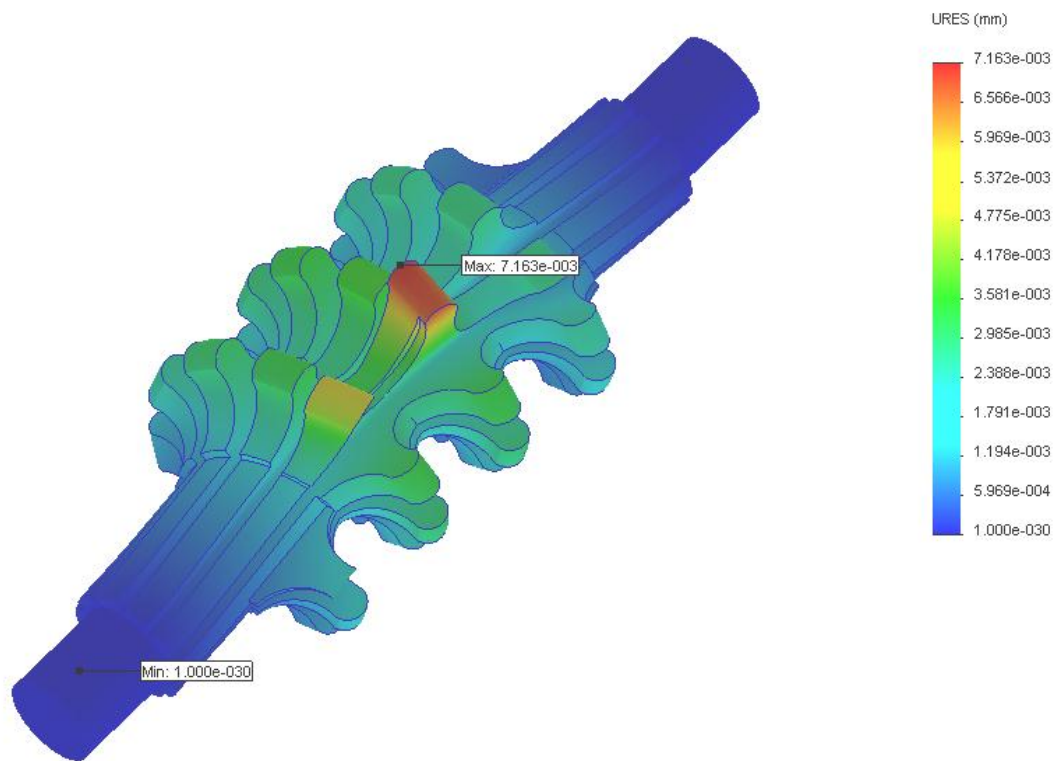


Рисунок 2.8 – Графічне відображення деформацій, що виникають у профільній черв'ячній фрезі при обробленні однієї заготовки

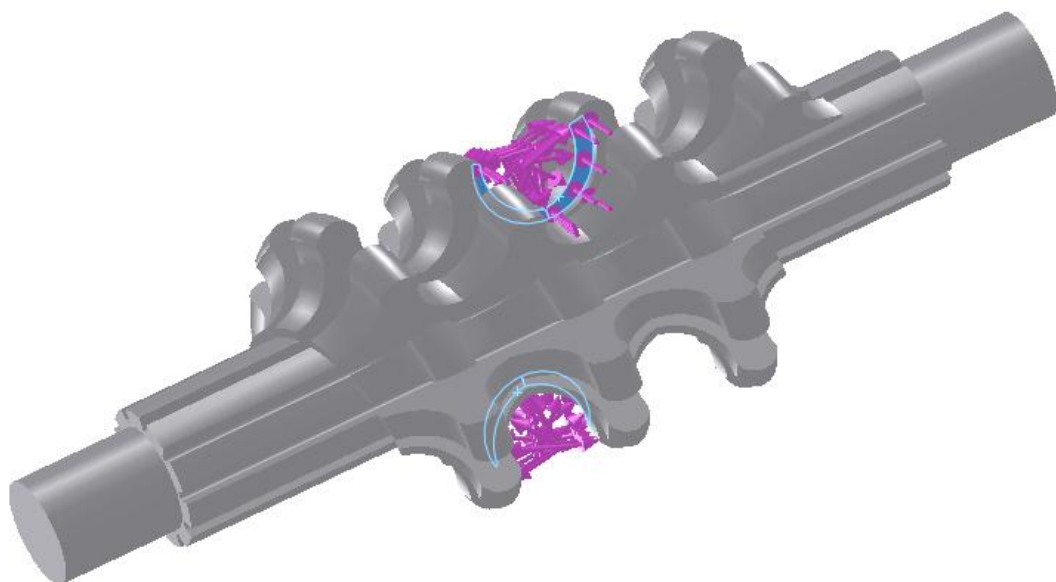


Рисунок 2.9 - Формування навантаження профільної черв'ячної фрези радіальними та тангенціальними силами різання при одночасному обробленні ДВОХ ЗАГОТОВОК



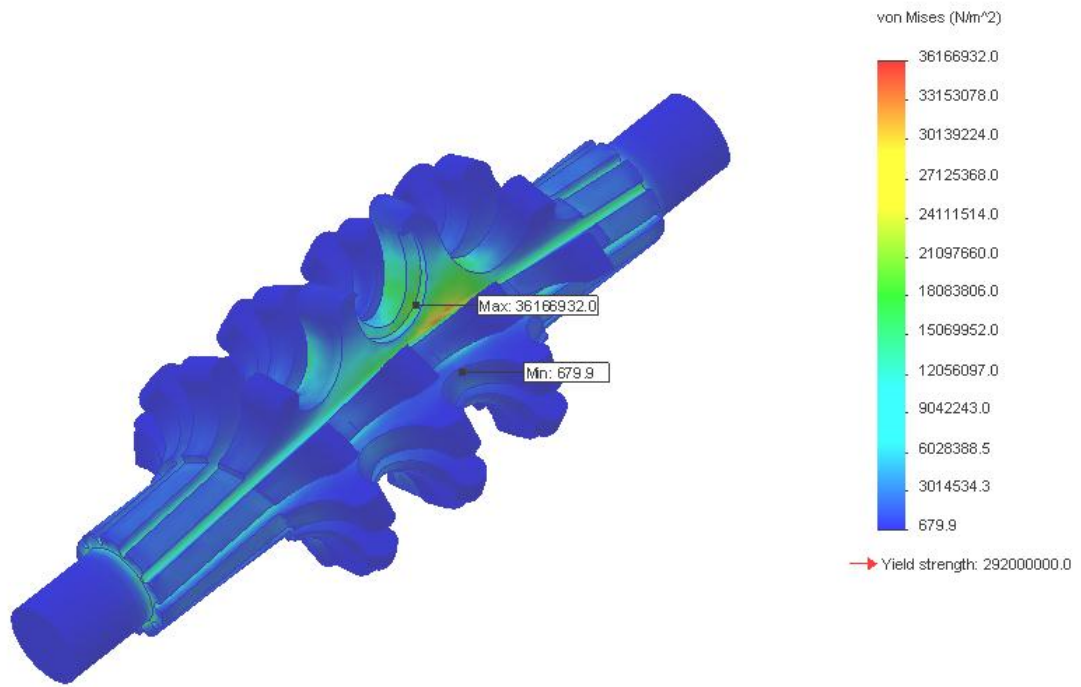


Рисунок 2.10 - Графічне відображення напружень, що виникають у профільній черв'ячній фрезі при одночасному обробленні двох заготовок

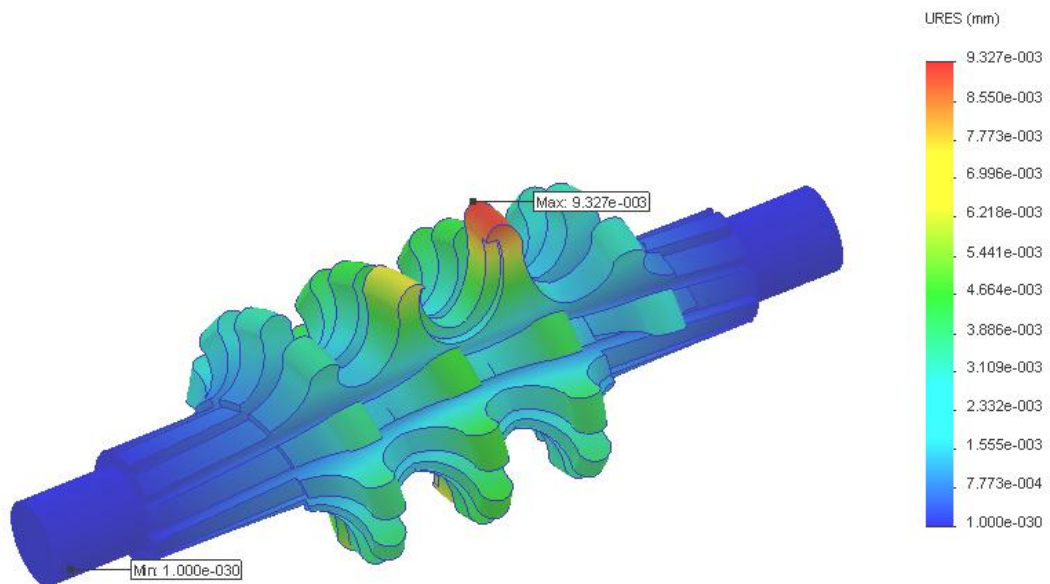


Рисунок 2.12 - Графічне відображення деформацій, що виникають у профільній черв'ячній фрезі при одночасному обробленні двох заготовок

### 2.3. Висновки

У розділі проведено розрахунок профілю робочої частини черв'ячної фрези для фрезерування зовнішніх радіусних поверхонь деталі. Виведено параметричні рівняння, що описують профіль робочої частини черв'ячної фрези. Ці профілі представлені у вигляді графіків. Встановлено, що збільшення радіуса оброблюваної поверхні призводить до зміни профілю робочої частини черв'ячної фрези по еквідестанті від вихідного профілю, при цьому зміна радіуса розташування заокруглених частин заготовки в меншій мірі впливає на криві профілю. Виведено рівняння довжини кривої профілю робочої частини черв'ячної фрези та коефіцієнт кількості одночасно працюючих зубів фрези.

Також проведено графічне моделювання профільної черв'ячної фрези, що закріплена на двох опорах. За допомогою спеціалізованого пакету прикладної програми твердотільного моделювання створена відповідна 3D модель. Також проведено генерацію кінцево-елементної сітки 3D моделі фрези.

Після моделювання одержали числові та графічні відтворення напружено-деформованого стану профільної черв'ячної фрези. При цьому враховувались такі випадки механічного оброблення профільною черв'ячною фрезою однієї заготовки та одночасно двох заготовок.

В результаті моделювання методом кінцевих елементів та аналізу результатів теоретичних досліджень встановлено, що при обробленні однієї заготовки виникають менші напруження (при основі зуба, який безпосередньо задіяний в процесі різання) та деформації ніж при обробленні двох заготовок.

Хоч і при обробленні двох заготовок відбувається часткове взаємне врівноважування радіальних сил різання і зменшення згину фрези, проте одночасно із цим присутнє зростання сумарної тангенціальної сили різання, що призводить до виникнення більших деформацій кручення фрези. Найбільші напруження та деформації виникають на робочому зубі фрези, проте вони не виходять за гранично допустимі значення.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1. Аналіз технологічності конструкції деталі

Для розрахунку та аналізу показників технологічності корпусу АФКА 732.131.017 використовуємо зібрані дані з таблиці 1.1.

Визначаємо коефіцієнт точності обробки корпусу АФКА 732.131.017

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{T_{\text{cp}}}, \quad (3.1)$$
$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{14 \cdot 15 + 12 \cdot 16 + 7 \cdot 1}{32} = 12,78;$$
$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{12,78} = 0,92.$$

Якщо  $K_{\text{т.ч.}}=0,92 > 0,8$ , то корпус АФКА 732.131.017 є технологічний.

Визначаємо коефіцієнт шорсткості поверхонь корпусу АФКА 732.131.017

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{cp}}}, \quad (3.2)$$
$$B_{\text{cp}} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{5 \cdot 1 + 4 \cdot 16 + 3 \cdot 15}{32} = 3,56,$$
$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{3,56} = 0,28.$$

Якщо  $K_{\text{ш}}=0,28 > 0,16$ , то корпус АФКА 732.131.017 є технологічний.

Визначаємо коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів корпусу АФКА 732.131.017

$$K_{\text{у.е.}} = \frac{N_{\text{у.е.}}}{N_e} = \frac{28}{32} = 0,875, \quad (3.3)$$

Якщо  $K_{\text{у.е.}}=0,875 > 0,6$ , то корпус АФКА 732.131.017 є технологічний.

Отже, деталь “Корпус” АФКА 732131.017 є технологічною і не потребує коректувань креслення, конструкції та точності оброблених поверхонь.

### 3.2. Вибір способу одержання заготовки

Для виготовлення корпус АФКА 732.131.017 порівнюємо два методи одержання заготовок:

- 1) лиття в піщані форми із машинним формуванням на основі металевих моделей з додатковим складанням стержнів;
- 2) лиття під тиском.

Загальні табличні припуски корпусу АФКА 732.131.017 представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Загальні припуски

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5
1) лиття в піщані форми із машинним формуванням на основі металевих моделей з додатковим складанням стержнів				
Торцева поверхня 84,5h14 <sub>(-0,87)</sub>	Ra12,4	4,4	6 × 2=12	96,5±2,2
Торцева поверхня 84,5h14 <sub>(-0,87)</sub>	Ra12,4	4,4	6 × 2=12	96,5±2,2
Зовнішня поверхня Ø120h14 <sub>(-0,87)</sub>	Ra12,4	5,0	6,2 × 2=12,4	Ø132,4 ±2,5
Отвір Ø21,5H14 <sup>(+0,52)</sup> ; 25±0,26	Ra12,4	3,2	4,4 × 2=8,8	Ø12,7 ±1,6
2) лиття під тиском				
Торцева поверхня 84,5h14 <sub>(-0,87)</sub>	Ra12,4	1,1	1,4 × 2=2,8	87,3±0,55
Зовнішня поверхня Ø120h14 <sub>(-0,87)</sub>	Ra12,4	1,2	1,6 × 2=3,2	123,2±0,6

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4	5
Отвір $\varnothing 21,5H14(+0,52)$ ; $25 \pm 0,26$	Ra12,4	0,8	$1,1 \times 2 = 2,2$	$\varnothing 19,3 \pm 0,4$
Отвір $\varnothing 14,37^{+0,2}$ ; $l = 18,5$ під різьбу M16 $\times$ 1,5-7H	Ra6,2	0,7	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 12,47 \pm 0,35$

Об'єм та маса заготовок:

$$Q = q + m_{\text{пр}}, \quad (3.4)$$

де  $q = 0,247$  – маса деталі, кг.

$$m_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \cdot \rho. \quad (3.5)$$

Для циліндричної форми об'єм припусків:

$$V_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4}. \quad (3.6)$$

Об'єми припусків прямокутної форми:

$$V_{\text{пр}} = L \cdot B \cdot H, \quad (3.7)$$

Об'єм припусків.

– лиття в піщані форми із машинним формуванням на основі металевих моделей з додатковим складанням стержнів:

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (132,4^2 - 106^2) \cdot 6}{4} = 29643 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (132,4^2 - 120^2) \cdot 11}{4} = 8607 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (116^2 - 110^2) \cdot 3}{4} = 3193 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot 6(24^2 + 2 \cdot 10^2)}{4} = 3655 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np5}} = \frac{\pi \cdot 15^2 \cdot 25,5}{4} = 4504 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np6}} = \frac{\pi \cdot 3,7^2 \cdot 9}{4} \cdot 2 = 193 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np7}} = \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 17}{4} \cdot 3 = 1441 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np8}} = \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 15}{4} = 188 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np9}} = \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 6}{4} = 75 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np10}} = \frac{\pi \cdot (21,5^2 - 12,7^2) \cdot 3}{4} \cdot 2 = 451 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np}} = \sum V_{\text{np}_i};$$

$$V_{\text{np}} = 51950 \text{ мм}^3 = 51,95 \text{ см}^3.$$

– ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ:

$$V_{\text{np1}} = \frac{\pi \cdot (123,2^2 - 105,9^2) \cdot 1,4}{4} = 4356 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np2}} = \frac{\pi \cdot (123,2^2 - 120^2) \cdot 6,4}{4} = 3910 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np3}} = \frac{\pi \cdot (116^2 - 110^2) \cdot 3}{4} = 3193 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np4}} = \frac{\pi \cdot 1,4(24^2 + 2 \cdot 10^2)}{4} = 853 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np5}} = \frac{\pi \cdot (15^2 - 12,47^2) \cdot 25,5}{4} = 1391 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np6}} = \frac{\pi \cdot 3,7^2 \cdot 9}{4} \cdot 2 = 193 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np7}} = \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 17}{4} \cdot 3 = 1441 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр8}} = \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 15}{4} = 188 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр9}} = \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 6}{4} = 75 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр10}} = \frac{\pi \cdot (21,5^2 - 19,3^2) \cdot 3}{4} \cdot 2 = 423 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр}} = \sum V_{\text{пр}i};$$

$$V_{\text{пр}} = 16023 \text{ мм}^3 = 16,02 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

– лиття в піщані форми із машинним формуванням на основі металевих моделей з додатковим складанням стержнів:

$$m_{\text{пр1}} = 51,95 \cdot 2,6 = 135,07 \text{ г} = 0,135 \text{ кг}.$$

– лиття під тиском:

$$m_{\text{пр2}} = 16,02 \cdot 2,6 = 41,65 \text{ г} \approx 0,042 \text{ кг}.$$

Загальні маси заготовок:

– лиття в піщані форми із машинним формуванням на основі металевих моделей з додатковим складанням стержнів:

$$Q_1 = 0,247 + 0,135 = 0,382 \text{ кг}.$$

– лиття під тиском:

$$Q_2 = 0,247 + 0,042 = 0,289 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.8)$$

де  $q=0,247$  кг – маса деталі;

$Q$  – маса заготовки, кг;

– лиття в піщані форми із машинним формуванням на основі металевих моделей з додатковим складанням стержнів:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{0,247}{0,382} = 0,65.$$

–лиття під тиском:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{0,247}{0,289} = 0,85.$$

### 3.3. Формування технологічного процесу

Запропоновані маршрути обробки корпусу АФКА 732.131.017 представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Маршрути обробки поверхонь корпусу АФКА 732.131.017

№ пов.	Вид поверхні, позначення	Шорсткість, мкм	Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь	
			1	2
1	2	3	4	5
1	Торцева поверхня 84,5h14 <sub>(-0,87)</sub>	Ra12,4	Точіння торця напівчистове	Фрезерування торцевою фрезою
2	Торцева канавка 3H14 <sup>(+0,25)</sup> ; 3h14 <sub>(-0,25)</sub> ; 2±0,2	Ra12,4	Напівчистове точіння конавки поздовжньою подачею	Фрезерування кінцевою фрезою чорнове
3	Зовнішня поверхня Ø120h14 <sub>(-0,87)</sub>	Ra12,4	Точіння напівчистове	–
4	Торцева поверхня 84,5h14 <sub>(-0,87)</sub>	Ra12,4	Фрезерування торцевою фрезою	Фрезерування циліндричною фрезою
5,6	Два глухих отвори Ø3,3 <sup>+0,14</sup> ; 34±0,2; l=11,5 під різьбу М4-7Н	Ra6,2	Свердління по кондуктору	Центрування Свердління
7, 8	Дві внутрішні фаски 0,5×45°	Ra12,4	Формування при свердлінні	Зенкування



## Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
9	Наскрізний отвір $\varnothing 3,3^{+0,14}$ ; $7 \pm 0,18$ ; $l=6$ під різьбу М4-7Н	Ra6,2	Свердління по кондуктору	Центрування Свердління
10	Внутрішня фаска $1 \times 45^\circ$	Ra12,4	Формування при свердлінні	Зенкування
11	Отвір $\varnothing 9H7^{(+0,015)}$ , $l=4$	Ra1,5	Зенкерування Розвертання чорнове Розвертання чистове	Розсвердлю- вання Розвертання чорнове Розвертання чистове
12	Отвір $\varnothing 14,37^{+0,2}$ ; $l=18,5$ під різьбу М16 $\times$ 1,5-7Н	Ra6,2	Свердління по кондуктору	Розсвердлю- вання
14	Отвір $\varnothing 18H14^{(+0,043)}$	Ra12,4	Свердління по кондуктору	Розсвердлю- вання
15, 16	Два різевих отвори М4- 7Н; $l=8$	Ra6,2	Нарізання різі мітчиком	—
17	Різовий отвір М4-7Н; $l=6$	Ra6,2	Нарізання різі мітчиком	—
18	Різовий отвір М16 $\times$ 1,5- 7Н; $l=10$	Ra6,2	Нарізання різі мітчиком	—
19, 20, 21	Три глухих отвори $\varnothing 4,95^{+0,26}$ ; $l=17$ під різьбу М6-7Н, $96 \pm 0,2$	Ra6,2	Свердління по кондуктору	1. Центру- вання 2. Свердління
22, 23, 24	Три внутрішні фаски $1 \times 45^\circ$	Ra12,4	Формування при свердлінні комбінованим свердлом	Зенкування
25, 26	Два глухих отвори $\varnothing 3,7H14^{(+0,3)}$ ; $l=9$ ; $83 \pm 0,2$	Ra12,4	Свердління по кондуктору	1. Центру- вання 2. Свердління
27	Глухий отвір $\varnothing 3,3^{+0,14}$ ; $44 \pm 0,31$ ; $l=15$ під різьбу М4-7Н	Ra6,2	Свердління по кондуктору	1. Центру- вання 2. Свердління
28, 29, 30	Три різевих отвори М6- 7Н; $l=12$	Ra6,2	Нарізання різі мітчиком	—
31	Різовий отвір М4-7Н; $l=10$	Ra6,2	Нарізання різі мітчиком	—

Закінчення таблиці 3.3

1	2	3	4	5
32, 33	Два отвори $\varnothing 21,5H14^{(+0,52)}$ ; $25\pm 0,26$	Ra12,4	Розсвердлювання	Зенкерування

Остаточний варіант технологічного процесу

005. Токарна напівавтоматна.

2. Підрізати торець 1 з поперечного супорта в розмір  $85,9h14_{(-0,87)}$ .

3. Точити поверхню 3, в розмір  $\varnothing 120h14_{(-0,87)}$ .

4. Розточити канавку 2 в розміри  $3H14^{(+0,25)}$ ;  $3h14_{(-0,25)}$ ;  $2\pm 0,2$ .

5. Перевірити розміри:  $85,9h14_{(-0,87)}$ ,  $\varnothing 120h14_{(-0,87)}$ ,  $3H14^{(+0,25)}$ ;  
 $3h14_{(-0,25)}$ ;  $2\pm 0,2$ .

010. Вертикально-фрезерна.

1. Фрезерувати торцеву поверхню 4, в розмір  $84,5h14_{(-0,87)}$ .

Перевірити розмір  $84,5h14_{(-0,87)}$ .

015. Агрегатна.

Позиція II. Свердлити два отвори 5, 6 з формуванням двох фасок 7, 8, в розміри  $\varnothing 3,3^{+0,14}$ ;  $34\pm 0,2$ ;  $l=11,5$ ,  $0,5\times 45^\circ$  одночасно; свердлити отвір 9 з формуванням фаски 10 в розміри  $\varnothing 3,3^{+0,14}$ ;  $7\pm 0,18$ ;  $l=6$ ,  $1\times 45^\circ$ .

Позиція III. Розсвердлити отвір 12 та зенкерувати отвір 11 комбінованим інструментом, в розміри  $\varnothing 14,37^{+0,2}$ ;  $l=18,5$  під різьбу  $M16\times 1,5-7H$ ,  $\varnothing 8,65^{+0,15}$ .

Позиція IV. Розсвердлити отвір 14, в розмір  $\varnothing 18H14^{(+0,043)}$ .

Позиція V. Розвернути отвір 11, в розмір  $\varnothing 8,919^{+0,036}$ .

Позиція VI. Розвернути отвір 11, в розмір  $\varnothing 9^{+0,015}$ .

Позиція VII. Нарізати різьбу в двох отворах 15, 16, в розміри  $M4-7H$ ;  $l=8$ ; нарізати різьбу в отворі 17, в розміри  $M4-7H$ ;  $l=6$ .

Позиція VIII. Нарізати різьбу в отворі 18, в розміри  $M16\times 1,5-7H$ ;  $l=10$ .

10. Перевірити розміри:  $M4-7H$ ;  $34\pm 0,2$ ;  $l=11,5$ ;  $l=8$ ;  $0,5\times 45^\circ$ ,  $7\pm 0,18$ ;  $l=6$ ,

M16×1,5-7H, 1×45°.

020. Агрегатна.

Позиція II. Свердлити три отвори 19, 20, 21 з формуванням трьох фасок 22, 23, 24, в розміри  $\varnothing 4,95^{+0,26}$ ; l=17 під різьбу M6-7H,  $96\pm 0,2$ , 1×45°.

Позиція III. Свердлити два отвори 25, 26 з формуванням двох фасок 34, 35 та свердлити отвір 27 з формуванням фаски 36, в розміри  $\varnothing 3,7H14^{(+0,3)}$ ; l=9;  $83\pm 0,2$ ,  $\varnothing 3,3^{+0,14}$ ;  $44\pm 0,31$ ; l=15 під різьбу M4-7H, 0,5×45°.

Позиція IV. Нарізати різьбу в трьох отворах 28, 29, 30, в розміри M6-7H; l=12.

Позиція V. Нарізати різьбу в отворі 31, в розміри M4-7H; l=10; розсвердлити отвір 32, в розміри  $\varnothing 21,5H14^{(+0,52)}$ ;  $25\pm 0,26$ .

7. Перевірити розміри:  $\varnothing 21,5H14^{(+0,52)}$ ;  $25\pm 0,26$ , M6-7H; l=12, M4-7H; l=10,  $\varnothing 3,7H14^{(+0,3)}$ ; l=9;  $83\pm 0,2$ ,  $44\pm 0,31$ ; l=15,  $96\pm 0,2$ .

025. Вертикально-свердлильна.

2. Розсвердлити отвір 33, в розміри  $\varnothing 21,5H14^{(+0,52)}$ ;  $25\pm 0,26$ .

Операція 030. Контроль.

Перелік технологічного обладнання та оснащення для виготовлення корпусу АФКА 732.131.017 представлено в технологічному процесі в додатках.

### 3.4. Визначення припусків на оброблення і розмірів заготовки

Знаходимо припуски за формулою [8]:

$$2Z_{imin} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2}) - \text{для зенкерування}, \quad (3.9)$$

-для розвертання:

$$2Z_{imin} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1}). \quad (3.10)$$

Розрахунок припусків проведемо для отвору  $\varnothing 9H7^{(+0,015)}$ ; Ra 1,6.

Технологічні переходи обробки поверхні  $\varnothing 9H7^{(+0,015)}$ ; Ra 1,6. такі:

1. Зенкерування H12.
2. Розвертання чорнове H9.

### 3. Розвертання чистове Н7.

Визначаємо складові формули для кожного переходу:

Для зенкерування:

$R_{zi-1}=40$  мкм,  $T_{i-1}=100$  мкм для заготовки [8].

Похибка встановлення заготовки [8]:

$$\varepsilon_{y1} = 40 \text{ мкм.}$$

Просторові відхилення заготовки [8]:

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_{\text{жол.}}^2 + \rho_{\text{зм.}}^2}, \quad (3.11)$$

$$\rho_{\text{жол.}} = \sqrt{(\Delta_K \cdot D)^2 + (\Delta_K \cdot L)^2}, \quad (3.12)$$

$$\rho_{\text{зм.}} = \sqrt{\left(\frac{\delta_D}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_B}{2}\right)^2}, \quad (3.13)$$

$$\rho_{\text{зм.}} = \sqrt{\left(\frac{0,015}{2}\right)^2 + \left(\frac{1,0}{2}\right)^2} = 0,5 \text{ мм} = 500 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{жол.}} = \sqrt{(0,7 \cdot 9)^2 + (0,7 \cdot 2)^2} = 7 \text{ мкм};$$

$$\rho_{i-1} = \sqrt{7^2 + 500^2} = 500,1 \text{ мкм.}$$

Визначаємо мінімальні припуски для кожного переходу:

1. Для зенкерування:

$$2Z_{1\min} = 2 \cdot (50 + 100 + \sqrt{500,2^2 + 40^2}) = 1303,6 \text{ мкм} = 1,3 \text{ мм.}$$

2. Для розвертання чорнового:

$$2Z_{2\min} = 2 \cdot (40 + 40) = 160 \text{ мкм} = 0,160 \text{ мм.}$$

3. Для розвертання чистового:

$$2Z_{3\min} = 2 \cdot (10 + 20) = 60 \text{ мкм} = 0,060 \text{ мм.}$$

Розрахункові розміри для всіх переходів [8]:

Для розвертання чистового:

$$D_{p3} = D_{\max.\text{деталі}} = 9,015 \text{ мм.}$$

1. Для розвертання чорнового:

$$D_{p2} = 9,015 - 0,060 = 8,955 \text{ мм.}$$

2. Для зенкерування:

$$D_{p1} = 8,955 - 0,160 = 8,795 \text{ мм.}$$

3. Для заготовки:

$$D_{p\text{заг}} = 8,795 - 1,3 = 7,495 \text{ мм.}$$

Допуски для переходів:

$$\text{Заготовка} \longrightarrow \delta_{\text{заг}} = 0,64 \text{ мм.}$$

$$1. \text{ Зенкерування Н12} \longrightarrow \delta_1 = 0,15 \text{ мм.}$$

$$2. \text{ Розвертання чорнове Н9} \longrightarrow \delta_2 = 0,036 \text{ мм.}$$

$$3. \text{ Розвертання чистове Н7} \longrightarrow \delta_3 = 0,015 \text{ мм.}$$

Граничні розміри  $D_{\max.i}$  на переходах.

$$\text{Для розвертання чистового: } D_{\max.3} = 9,015 \text{ мм}$$

$$\text{Для розвертання чорнового: } D_{\max.2} = 8,955 \text{ мм.}$$

$$\text{Для зенкерування: } D_{\max.1} = 8,80 \text{ мм.}$$

$$\text{Для заготовки: } D_{\max.\text{заг.}} = 7,50 \text{ мм.}$$

Граничні розміри  $D_{\min.i}$  на переходах [8]:

Для розвертання чистового:

$$D_{\min.3} = 9,015 - 0,015 = 9,0 \text{ мм.}$$

Для розвертання чорнового:

$$D_{\min.2}=8,955 - 0,036=8,919 \text{ мм.}$$

Для зенкерування:

$$D_{\min.зар.}=8,80 - 0,15=8,65 \text{ мм.}$$

Для заготовки:

$$D_{\min.зар.}=7,50 - 0,64=6,86 \text{ мм.}$$

Розрахункові граничні значення припусків  $2Z_{i \min}$ ,  $2Z_{i \max}$  [8]:

Для розвертання чистового:

$$2Z_{3 \max}=9 - 8,919=0,081 \text{ мм.}$$

$$2Z_{3 \min}=9,015 - 8,955=0,06 \text{ мм.}$$

Для розвертання чорнового:

$$2Z_{2 \max}=8,919 - 8,65=0,269 \text{ мм.}$$

$$2Z_{2 \min}=8,955 - 8,8=0,155 \text{ мм.}$$

Для зенкерування:

$$2Z_{1 \max}=8,65 - 6,86=1,79 \text{ мм.}$$

$$2Z_{1 \min}=8,8 - 7,5=1,3 \text{ мм.}$$

Загальні припуски:

$$2Z_{\text{заг. max.}}=1,79 + 0,269 + 0,081=2,14 \text{ мм.}$$

$$2Z_{\text{заг. min.}}=1,3 + 0,155 + 0,06=1,515 \text{ мм.}$$

Загальний номінальний припуск  $2Z_{\text{заг. ном.}}$  [8].

Відповідно для корпусу АФКА 732.131.017:

$$2Z_{\text{заг. ном.}}=1,515 + 0,32 - 0,015=1,82 \text{ мм;}$$

$$D_{\text{заг. ном.}}=9 - 1,82=7,18 \text{ мм.}$$

Перевіряємо правильність проведених розрахунків

Для зенкерування:

$$1,79 - 1,3 = 0,49 \text{ мм};$$

$$0,64 - 0,15 = 0,49 \text{ мм}.$$

Для розвертання чорнового:

$$0,269 - 0,155 = 0,114 \text{ мм};$$

$$0,15 - 0,036 = 0,114 \text{ мм}.$$

Для розвертання чистового:

$$0,081 - 0,06 = 0,021 \text{ мм};$$

$$0,036 - 0,015 = 0,021 \text{ мм}.$$

Висновок: розрахунки виконано правильно.

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски поверхні  $\varnothing 9\text{H7}$

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{i\min}$ , мм	Розрахунковий розмір $D_{p1}$ , мм	Допуск $\delta_d$ , мм	Граничні розміри, мм		Розрахункові граничні припуски, мм	
	$R_z$	T	$\rho$	$\varepsilon_y$				$D_{\min}$	$D_{\max}$	$2Z_{i\min}$	$2Z_{i\max}$
Заготовка	40	100	500			7,495	0,64	6,86	7,5		
Зенкерування Н12	40	40	–	40	1,3	8,795	0,15	8,65	8,80	1,3	1,79
Розвертання чорнове Н9	10	20	–	–	0,160	8,955	0,036	8,919	8,955	0,155	0,269
Розвертання чистове Н7	6,4	–	–	–	0,060	9,015	0,015	9,0	9,015	0,06	0,081
Загальний припуск										1,515	2,14

Таблиця 3.5 – Розрахункові припуски і розміри

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Торцева поверхня 84,5h14 <sub>(-0,87)</sub>					
Фрезерування чорнове	14	Ra12,4	0,87	1,4	84,5h14 <sub>(-0,87)</sub>
Обточування напівчистове	14	Ra12,4	0,87	1,4	85,9h14 <sub>(-0,87)</sub>
Заготовка	7-мий кл.	R <sub>z</sub> 40	1,1	–	87,3 ±0,55
Зовнішня поверхня Ø120h14 <sub>(-0,87)</sub>					
Обточування напівчистове	14	Ra12,4	0,87	1,6 × 2=3,2	Ø120h14 <sub>(-0,87)</sub>
Заготовка	7-мий кл.	R <sub>z</sub> 40	1,2	–	123,2±0,6
Отвір Ø21,5H14 <sup>(+0,52)</sup>					
Розсвердлювання	14	Ra12,4	0,52	1,1 × 2=2,2	Ø21,5H14 <sup>(+0,52)</sup>
Заготовка	7-мий кл.	R <sub>z</sub> 40	0,8	–	Ø19,3±0,4
Отвір Ø14,37 <sup>+0,2</sup> під різьбу M16×1,5-7H					
Розсвердлювання	12	Ra6,2	0,2	1,0 × 2=2,0	Ø14,37 <sup>+0</sup>
Заготовка	7-мий кл.	R <sub>z</sub> 40	0,7	–	Ø12,47 ±0,35

Габаритні розміри заготовки: 87,3±0,55 × Ø123,2±0,6.



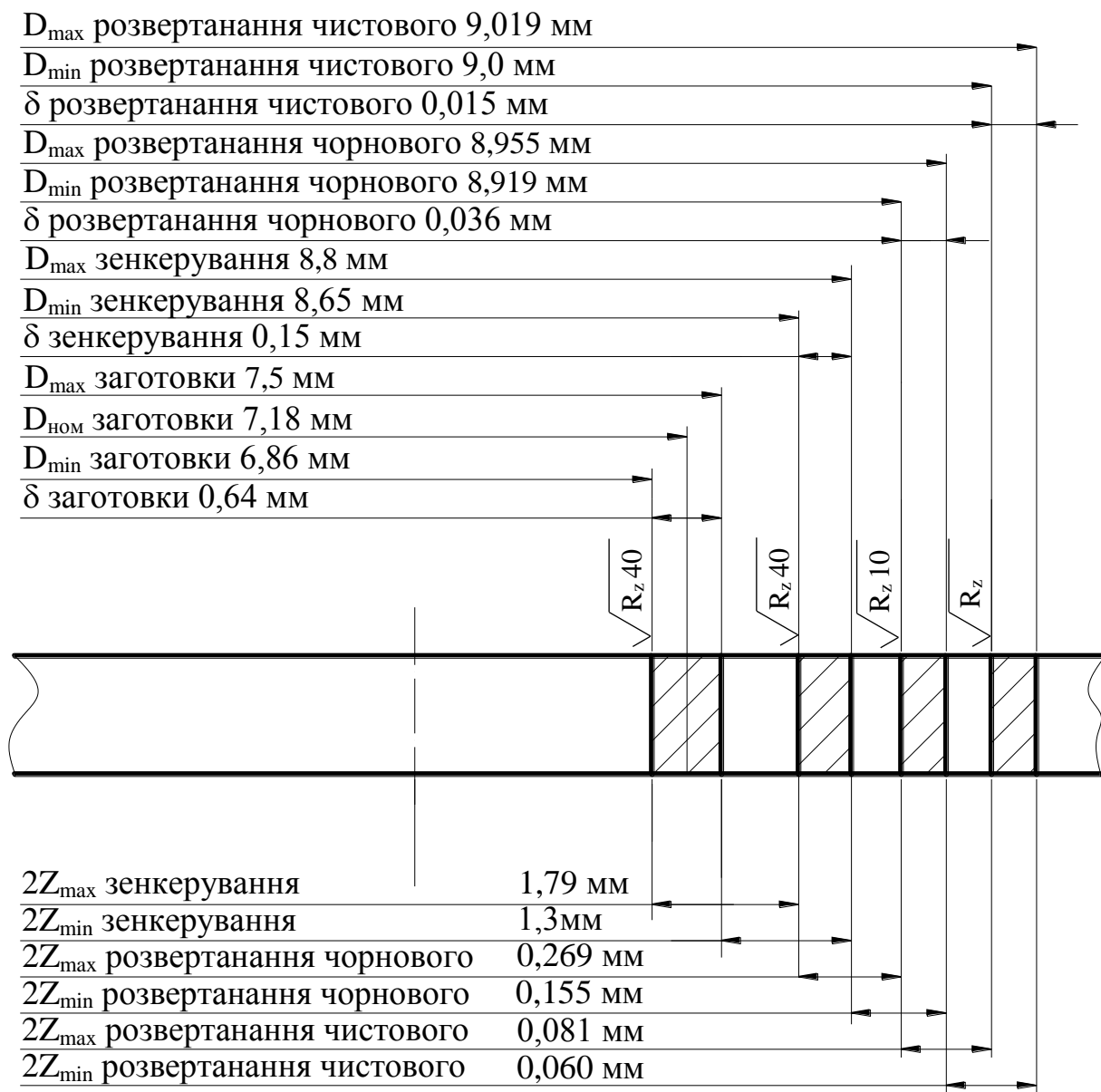


Рисунок 3.3 – Схема графічного розташування припусків  $\varnothing 9H7$

### 3.5. Визначення режимів різання та технічних норм часу

Розрахунок режимів різання та інструменти представлено в додатках.

Остаточні результати режимів різання корпусу АФКА 732.131.017 представлено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Таблиця режимів різання корпусу АФКА 732.131.017

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T <sub>мб</sub> , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S <sub>мб</sub> , мм/хв	T <sub>о</sub> , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005. Токарна напівавтоматна.										
Перехід 2 Підрізати торець 1 з поперечного супорта в розмір 85,9h14 <sub>(-0,87)</sub> .	1,4	20	1	122	0,22	502	188,5	101	0,21	1,17
Перехід 3										
Точити поверхню 3, в розмір Ø120h14 <sub>(-0,87)</sub> .	1,6	8	1	122	0,21	502	188,5	112	0,06	1,22
Перехід 4 Розточити канавку 2 в розміри 3H14 <sup>(+0,25)</sup> ; 3h14 <sub>(-0,25)</sub> ; 2±0,2.	3,0	6	1	122	0,11	502	185,5	52	0,11	1,26
010. Вертикально-фрезерна.										
Перехід 2										
Фрезерувати торцеву поверхню 4, в розмір 84,5h14 <sub>(-0,87)</sub> .	1,4	54	1	122	0,24 мм/зуб	602	1919	3828	0,021	3,21

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
015 Агрегатна										
Позиція II										
Свердлити два отвори 5, 6 з формуванням двох фасок 7, 8, в розміри $\varnothing 3,3^{+0,14}$ ; $34 \pm 0,2$ ; $l=11,5$ , $0,5 \times 45^\circ$ одночасно; свердлити отвір 9 з формуванням фаски 10 в розміри $\varnothing 3,3^{+0,14}$ ; $7 \pm 0,18$ ; $l=6$ , $1 \times 45^\circ$ .	1,65	16	1	202	0,054	2272	23,4	122	0,126	1,0
Позиція III.										
Розсвердлити отвір 12 та зенкерувати отвір 11 комбінованим інструментом, в розміри $\varnothing 14,37^{+0,2}$ ; $l=18,5$ під різьбу $M16 \times 1,5-7H$ , $\varnothing 8,65^{+0,15}$ .	1,0 0,9	24	1	132	0,31	567	25,2	168,7	0,12	1,1
Позиція IV										
Розсвердлити отвір 14, в розмір $\varnothing 18H14^{(+0,043)}$ .	1,815	10	1	202	0,11	602	33,7	61	0,15	1,2
Позиція V										
Розвернути отвір 11, в розмір $\varnothing 8,919^{+0,036}$	0,134	8	1	27	0,72	222	6,15	152	0,04	0,045
Позиція VI.										
Розвернути отвір 11, в розмір $\varnothing 9^{+0,015}$ .	0,04	8	1	27	0,62	302	8,54	182	0,045	0,011

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Позиція VII. Нарізати різьбу в двох отворах 15, 16, в розміри М4-7Н; l=8; нарізати різьбу в отворі 17, в розміри М4-7Н; l=6.	0,38	18	2	162	0,71	292	3,6	203,5	0,17	0,021
Позиція VIII. Нарізати різьбу в отворі 18, в розміри М16×1,5-7Н; l=10.	0,43 3	26	1	202	1,51	163	8,2	241	0,12	0,72
020 Агрегатна										
Позиція II Свердли три отвори 19, 20, 21 з формуванням трьох фасок 22, 23, 24, в розміри $\varnothing 4,95^{+0,26}$ ; l=17 під різьбу М6-7Н, $96\pm 0,2$ , $1\times 45^\circ$ .	2,5	22	1	151	0,11	2032	31	243	0,08	1,24
Позиція III. Свердли два отвори 25, 26 з формуванням двох фасок 34, 35 та свердли отвір 27 з формуванням фаски 36, в розміри $\varnothing 3,7Н14^{(+0,3)}$ ; l=9; $83\pm 0,2$ , $\varnothing 3,3^{+0,14}$ ; $44\pm 0,31$ ; l=15 під різьбу М4-7Н, $0,5\times 45^\circ$ .	1,85 1,65	18	1	202	0,054	2271	26,3 23,2	124	0,142	1,011

Закінчення таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Позиція IV. Нарізати різьбу в трьох отворах 28, 29, 30, в розмірі М6-7Н; l=12.	0,54	17	2	117	1,1	205	3,1	204	0,16	0,051
Позиція V. Нарізати різьбу в отворі 31, в розмірі М4-7Н; l=10;	0,38	18	2	162	0,72	294	3,6	203,7	0,17	0,021
розсвердлити отвір 32, в розмірі $\varnothing 21,5H14^{(+0,52)}$ ; $25\pm 0,26$ .	1,1	10	1	202	0,11	602	40,7	62	0,15	0,91
025 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Розсвердлити отвір 33, в розмірі $\varnothing 21,5H14^{(+0,52)}$ ; $25\pm 0,26$ .	1,1	10	1	202	0,11	602	40,7	62	0,15	0,91

Розрахунок технічних норм часу виготовлення корпусу АФКА 732.131.017 представлено в додатках.

Результати розрахунку представлено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Норми часу по операціях

Номер та назва операції	T <sub>о</sub> , хв	Допоміжний час, T <sub>д</sub> хв			Час швидких переміщень, хв	Час циклу верстата, T <sub>ц</sub> хв	Час обслуговування, T <sub>об</sub> , хв			T <sub>шт.</sub> , хв.	T <sub>пз.</sub> , хв.	n, шт	T <sub>шт.к.</sub> , хв
		T <sub>у.</sub>	T <sub>пер.</sub>	T <sub>вим.</sub>			T <sub>тех.об.</sub>	T <sub>орг.об.</sub>	T <sub>відп.</sub>				
005 Токарна напів-автоматна	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1400	0,42
010 Вертикально-фрезерна	0,02	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,03
015 Агрегатна	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,32
020 Агрегатна	0,18	0,08	0,01	0,37	0,12	0,30	0,004	0,007	0,018	0,48	52,5		0,52
025 Вертикально-свердлильна	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,24

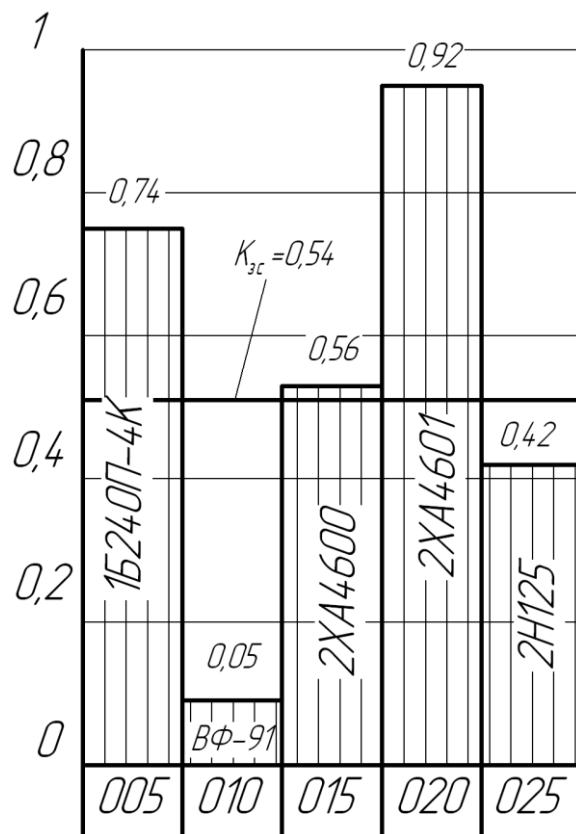


Рисунок 3.4 – Графік завантаження обладнання

### 3.6. Розрахунок похибки встановлення деталі

Похибка встановлення корпусу АФКА 732.131.017 [9]:

$$\Delta\varepsilon_y = \sqrt{\Delta\varepsilon_6^2 + \Delta\varepsilon_3^2 + \Delta\varepsilon_{пр}^2}. \quad (3.14)$$

Необхідна умова точності:

$$\Delta\varepsilon_y \leq \Delta\varepsilon_{y, доп.}, \quad (3.15)$$

Похибка базування:

$$\Delta\varepsilon_6 = S_{max}, \quad (3.16)$$

де  $S_{max}$  – максимальний зазор.

Максимальний зазор

$$S_{max.} = D_{max.4.} - d_{min} \quad (3.17)$$

Базуючий отвір деталі  $\varnothing 9H7^{(+0,015)}$ .

Базуючий зовнішній діаметр пальця –  $\varnothing 9f7^{(-0,013)}_{(-0,028)}$ .

Визначаємо максимальний зазор.

$$D_{max.д.} = 9 + 0,015 = 9,015 \text{ мм.}$$

$$d_{min.п.} = 9 + (-0,028) = 8,972 \text{ мм.}$$

$$S_{max.} = 9,015 - 8,972 = 0,043 \text{ мм.}$$

Похибка базування:

$$\Delta\varepsilon_6 = 0,043 \text{ мм.}$$

Похибка закріплення складе  $\Delta\varepsilon_3 = 60$  мкм.

Для середньої точності:  $\Delta\varepsilon_{пр} = 0,02$  мм.

Похибка установки:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta \varepsilon_0^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{np}^2} = \sqrt{0,043^2 + 0,06^2 + 0,02^2} = 0,076 \text{ мм.}$$

Допустима похибка установки  $\Delta \varepsilon_{y, \text{доп.}} = 0,4 \text{ мм.}$

Отже,  $\Delta \varepsilon_y = 0,076 \text{ мм} < \Delta \varepsilon_{y, \text{доп.}} = 0,4 \text{ мм.}$ , відповідно буде забезпечена точність.

### 3.7. Розрахунок пристосування

Для розрахунку сил затиску корпусу АФКА 732.131.017 на агрегатній операції 020 представлено розрахункову схему на рисунку 3.6.

Необхідна сила для затиску деталі:

$$P_{\text{зат1}} \cdot f_1 \cdot R + P_{\text{зат2}} \cdot f_1 \cdot R = K \cdot M_{\text{різ}}, \quad (3.18)$$

$$R = \frac{L}{2} = \frac{109}{2} = 54,5 \text{ мм} = 0,0545 \text{ м.}$$

Момент різання:

$$M_{\text{різ}} = 3 \cdot 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot P^y \cdot K_p, \quad (3.19)$$

де  $C_m = 0,0022$ ;  $q = 1,8$ ;  $y = 1,5$  [20].

$D = 6 \text{ мм}$ ;

$P = 1 \text{ мм}$ .

$K_p = K_{mp}$ ,  $K_{mp} = 1,0$

Отже,  $M_{кр} = 3 \cdot 10 \cdot 0,0022 \cdot 6^{1,8} \cdot 1^{1,5} \cdot 1,0 = 1,66 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

$K$  – коефіцієнт запасу [6]

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,1.$$



Так як  $P_{зат1}=P_{зат2}$ , тоді  $2P_{зат} \cdot f_1 \cdot R = M_{різ}$ .

Отже, сила затиску складе:

$$P_{зат} = \frac{K \cdot M_{різ}}{2 \cdot f_1 \cdot R} = \frac{3,1 \cdot 1,66}{2 \cdot 0,2 \cdot 0,0545} = 236 \text{Н.} \quad (3.20)$$

Сила затиску на одному прихваті:

$$P_{зат1} = P_{зат2} = \frac{Q}{2} = \frac{236}{2} = 118 \text{Н.}$$

Умова затиску:

$$P_{зат1} \leq F_{шт.тяг.} \cdot i. \quad (3.21)$$

Для пневмоциліндрів тягова сила на штоці [14]:

$$F_{шт.тяг.} = 0,785 \cdot (D_{ц}^2 - d_{шт}^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (3.22)$$

Тоді  $F_{шт.тяг.} = 0,785 \cdot (0,1^2 - 0,022^2) \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9 = 2689,2 \text{Н.}$

Передаточне відношення силового механізму:

$$W = \frac{F_{шт.тяг.}}{2 \text{tg}(\beta + \varphi)} \frac{l_1}{l_2} \cdot \eta, \quad (3.23)$$

$$\text{Тоді } W = \frac{2689,2}{2 \text{tg}(10 + 11)} \frac{84}{99} \cdot 0,9 = 2675 \text{Н.}$$

Необхідна умова закріплення:

$$W > Q.$$

При розрахунках одержано  $W=2675 \text{Н} > P_{зат}=236 \text{Н}$ .

Отже, заготовка корпусу АФКА 732.131.017 надійно буде закріплена при нарізанні різьби на 020 агрегатній операції.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1. Основні вимоги і порядок розроблення інструкції з охорони праці на підприємстві.

Інструкція з охорони праці являє собою нормативний акт, що містить обов'язкові для дотримання працівниками вимоги з охорони праці (ОП) при виконанні ними робіт певного виду або за певною професією на робочих місцях, у виробничих приміщеннях, на території підприємства та будівельних майданчиках або в інших місцях, де за дорученням власника чи уповноваженого ним органу виконуються ці роботи, трудові або службові обов'язки.

Інструкції діляться на:

- 1) інструкції, що стосуються державних міжгалузевих нормативних актів про ОП;
- 2) примірні інструкції;
- 3) інструкції, що діють на підприємстві.

Інструкції, що стосуються державних міжгалузевих нормативних актів про охорону праці, розробляються для персоналу, який здійснює вибухові роботи, обслуговує електричні установки та пристрої, вантажопідіймальні машини та ліфти, котельні установки, резервуари, що перебувають під тиском, і для інших працівників, правила безпеки праці яких установлені міжгалузевими нормативними актами про ОП, затвердженими органами державного нагляду за ОП.

Дотримання вимог цих інструкцій є обов'язковим для працівників відповідних професій або при виконанні відповідних видів робіт на всіх підприємствах незалежно від їх підпорядкованості, форми власності та виду діяльності.

Примірні інструкції затверджуються міністерствами чи іншими органами виконавчої влади, виробничими, науково-виробничими та іншими

об'єднаннями підприємств, що мають відповідні повноваження, за погодженням з органами державного нагляду за ОП, до компетенції яких належать ці інструкції чи окремі їх вимоги, і Національним НДІ охорони праці. Ці інструкції можуть використовуватися як підґрунтя для розроблення інструкцій, що діють на підприємстві.

Інструкції, що діють на підприємстві, належать до нормативних актів про ОП, що діють у межах конкретного підприємства. Такі інструкції розробляються на підставі чинних державних міжгалузевих та галузевих нормативних актів про ОП, примірних інструкцій та технологічної документації підприємства з урахуванням конкретних умов виробництва і вимог безпеки, викладених в експлуатаційній та ремонтній документації підприємств — виробників обладнання, що використовується на цьому підприємстві. Вони затверджуються роботодавцем та є обов'язковими для дотримання працівниками відповідних професій або при виконанні відповідних робіт лише на цьому підприємстві.

Інструкціям, що розробляються та затверджуються на підприємствах, присвоюються порядкові номери службами ОП цих підприємств. У назві такої інструкції стисло зазначається, для якої професії чи виду робіт її призначено, наприклад: «Інструкція з охорони праці для електрозварника», «Інструкція з охорони праці при роботі з ручним електроінструментом».

Ці інструкції мають відповідати чинному законодавству України, вимогам державних міжгалузевих і галузевих нормативних актів про ОП: правил, норм, стандартів, інших нормативних та організаційно-методичних документів про ОП, на підставі яких вони розробляються. Крім того, інструкції повинні містити лише ті вимоги з ОП, дотримання яких обов'язкове самими працівниками. Порухення працівником цих вимог має розглядатися як порушення трудової дисципліни, за яке до нього може бути застосовано стягнення відповідно до чинного законодавства.

Інструкції, що діють на підприємстві, розробляються з урахуванням вимог Положення № 9.

Інструкції мають містити такі розділи:

- загальні положення;
- вимоги безпеки перед початком роботи;
- вимоги безпеки під час виконання роботи;
- вимоги безпеки після закінчення роботи;
- вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

За необхідності до інструкції можна включити й інші розділи.

Розроблення (перегляд) необхідних інструкцій, що діють на підприємстві, здійснюється безпосередніми керівниками робіт (начальником виробництва, цеху, дільниці, відділу, лабораторії та інших відповідних їм підрозділів підприємства), що несуть відповідальність за своєчасне виконання цієї роботи.

Перегляд інструкцій, що діють на підприємстві, провадиться у строки, передбачені державними нормативними актами про ОП, на підставі яких вони розроблені, але не рідше одного разу на 5 років, а для професій чи видів робіт з підвищеною небезпекою — не рідше одного разу на 3 роки.

## **4.2. Наслідки аварій на машинобудівному підприємстві**

Наслідками великих виробничих аварій можуть бути пожежі, вибухи, руйнування і обвали будівель, загазованість і зараженість ядовитими речовинами і іншими небезпечними явищами, внаслідок яких можливі різні ураження людей. Виробничі аварії виникають досить часто, що пояснюється розвитком промисловості, великим науково-технічним прогресом і швидкістю у зв'язку з цією зміною технології виробництва.

Виробничі аварії можуть бути досить різними. Їх характер визначається причинами виникнення, масштабами і собівартістю виробництва.

Причинами виникнення аварій є:

- недоліки проектування підприємств, недотримання техніки безпеки, а також відсутність постійного контролю за станом виробництва і особливо при

використанні легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин;

- виникнення аварій на сусідніх підприємствах чи на енергетичних і газових мережах;
- стихійні лиха, які викликають аварії;
- виникнення аварій внаслідок невідомих науці явищ, які проявляються на підприємствах, які використовують різні хімічні речовини.

Аварії мають різні наслідки, які залежать від характеру виробництва.

Найбільш типовими проявами аварій можуть бути:

- вибухи, які призводять до руйнувань промислових будівель;
- інтенсивні пожежі;
- отруєння людей ядовитими рідинами і газами;
- ураження людей електричним струмом;
- затоплення підприємств разом з людьми, які знаходяться там;
- зараження місцевості сильнодіючими ядовитими і радіоактивними речовинами.

Ліквідація надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру - проведення комплексу заходів, які включають аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи, що здійснюються у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру і спрямовані на припинення дії небезпечних факторів, рятування життя та збереження здоров'я людей, а також на локалізацію зон надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

Роботу потрібно починати зразу, щоб не дати можливості аварії розростися до катастрофічних розмірів. Чим швидше почнуться рятувальні роботи, тим більше людей вдасться врятувати.

Послідовність виконання ліквідацій аварій залежить від характеру руйнувань будівель і споруд, аварій комунікаційних, енергетичних і технологічних мереж і степені радіаційного і хімічного зараження території об'єкту, пожеж і інших умов, які впливають на дії формувань.

Дуже важливо забезпечувати загальний порядок, що дає можливість вільному прибуттю формувань цивільної оборони (ЦО) до місця аварії. Служба формування охорони загального порядку повинна приступити до виконання своїх обов'язків в першу чергу.

Проводяться роботи розчищення проїзду до зруйнованих захисних споруд, пошкоджених і зруйнованих будівель, де можуть знаходитися люди, а також у місцях аварій, які перешкоджають чи ускладнюють проведення рятувальних робіт.

Дуже важливі дії аварійно-технічних формувань, які зразу відключають ще не пошкоджені енергетичні і комунікаційно-технічні мережі і локалізують аварії.

Рятувальні формування ЦО повинні як можна швидше приступити до виконання роботи із рятування людей, діючи разом з формуваннями ЦО медичної служби.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено розрахунок профілю робочої частини черв'ячної фрези для фрезерування зовнішніх радіусних поверхонь деталі. Виведено параметричні рівняння, що описують профіль робочої частини черв'ячної фрези. Ці профілі представлені у вигляді графіків. Встановлено, що збільшення радіуса оброблюваної поверхні призводить до зміни профілю робочої частини черв'ячної фрези по еквідестанті від вихідного профілю, при цьому зміна радіуса розташування заокруглених частин заготовки в меншій мірі впливає на криві профілю. Виведено рівняння довжини кривої профілю робочої частини черв'ячної фрези та коефіцієнт кількості одночасно працюючих зубів фрези.

Також проведено графічне моделювання профільної черв'ячної фрези, що закріплена на двох опорах. За допомогою спеціалізованого пакету прикладної програми твердотільного моделювання створена відповідна 3D модель. Також проведено генерацію кінцево-елементної сітки 3D моделі фрези.

Після моделювання одержали числові та графічні відтворення напружено-деформованого стану профільної черв'ячної фрези. При цьому враховувались такі випадки механічного оброблення профільною черв'ячною фрезою однієї заготовки та одночасно двох заготовок.

В результаті моделювання методом кінцевих елементів та аналізу результатів теоретичних досліджень встановлено, що при обробленні однієї заготовки виникають менші напруження (при основі зуба, який безпосередньо задіяний в процесі різання) та деформації ніж при обробленні двох заготовок.

Хоч і при обробленні двох заготовок відбувається часткове взаємне врівноважування радіальних сил різання і зменшення згину фрези, проте одночасно із цим присутнє зростання сумарної тангенціальної сили різання, що призводить до виникнення більших деформацій кручення фрези. Найбільші напруження та деформації виникають на робочому зубі фрези, проте вони не виходять за гранично допустимі значення.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпуса АФКА 732.131.017 з вибором устаткування та параметрів процесів механічної обробки.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування”. Тернопіль, 2001. 58 с.
2. Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Классы 71,72,73,74,75,76 (в отдельных книгах). М.: Издательство стандартов, 1986. 235 с.
3. Орлова П. Н., Скороходова Е. А. Краткий справочник металлиста. М.: Машиностроение, 1986. 456 с.
4. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
5. Дьячков В. Б. Специальные металлорежущие станки общемашиностроительного применения: справочник. М.: Машиностроение, 1983. 328 с.
6. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. М. : Машиностроение, 1985. Т. 2. 496 с.
7. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
8. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.
9. Косилова А.Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. М. : Машиностроение, 1985. Т. 1. 1986. 656 с.
10. Барановский Ю. В. Режимы резания металлов. М.: Машиностроение, 1972. 258 с.
11. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
12. Горбачевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск: Вышэйшая школа, 1975. 288 с.
13. Итин А. М., Родичев Ю. Я. Наладка и эксплуатация токарных многошпиндельных полуавтоматов. М. : Машиностроение, 1977. 136 с.



14. Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1966. 650 с.
15. Горошкин А. К. Приспособления для металлорежущих станков. Справочник. М.: Машиностроение, 1965. 461 с.
16. Кухарський О. М. Методичні вказівки на тему “Проектування калібра-пробки, калібра-скоби” для виконання конструкторської частини дипломного проекту. Тернопіль, 2005.
17. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.
18. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.
19. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б. Технологія оброблення валів : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 198 с.
20. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
21. Дячун А.Є. Встановлення профілю витка черв'ячної фрези для фрезерування дискової деталі із заокругленими зубами / А.Є. Дячун, Ю.Є. Паливода, Я.В. Довбенко // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» : 14-15 травня 2020 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. С. 76.
22. Muhammad Wasif. A New Approach to CNC Programming Accurate Multi-axis Face-Milling of Hypoid Gears. Doctoral Thesis, Concordia University, 2012, 112 p.
23. Дячун А. Є. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин» / А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.

24. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.

25. Пилипець М. І., Данильченко Л. М., Ткаченко І. Г. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Організація виробництва». Тернопіль : ТНТУ, 2018. 60 с.