

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

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 737140.052 з  
дослідженням процесу нарізання торцевих канавок

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

(шифр і назва спеціальності)

Приказюк В.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Дячун А.Є.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Дячун А.Є.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Окіпний І.Б.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент   
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2023

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення корпусу 737140.052 з дослідженням процесу нарізання торцевих канавок”.

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження динаміки нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом. Представлено схему процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями.

Досліджено деформації та динамічні навантаження на конструктивні елементи процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями на основі виведення та розв’язку системи диференціальних рівнянь. Для розв’язку системи диференціальних рівнянь з нульовими початковими умовами використано прикладне програмне забезпечення, що має підпрограму чисельного методу Рунге-Кутта. Розв’язок представлено у вигляді графіків зміни: лінійної деформації та швидкості деформації радіусного різця для нарізання торцевої канавки, динамічних навантажень на радіусний різець; кутової деформації та швидкості деформації картриджа, на якому закріплені радіусні різці в часі; кутової деформації та швидкості деформації оправки в часі.

Проведено ряд експериментальних досліджень процесу нарізання циліндричної канавки на торцевій плоскій поверхні заготовки, зокрема серед досліджуваних параметрів різання розглянуто шорсткість торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом.

Вдосконалено технологічний процес виготовлення корпусу 737140.052.

## ЗМІСТ

<b>Вступ .....</b>	
<b>1 Аналітична частина</b>	
1.1. Аналіз стану питання.....	
1.2. Висновки та постановка завдань.....	
<b>2 Науково-дослідна частина</b>	
2.1. Дослідження динаміки нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом.....	
2.2. Результати експериментальних досліджень шорсткості поверхні торцевої канавки після нарізання спеціальним інструментом.....	
2.3. Висновки.....	
<b>3 Технологічно-конструкторська частина</b>	
3.1. Службове призначення деталі.....	
3.2. Вибір способу одержання заготовки.....	
3.3. Формування технологічного процесу .....	
3.4. Визначення припусків на оброблення.....	
3.5. Визначення режимів різання.....	
3.6. Розрахунок пристосування.....	
<b>4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</b>	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

## ВСТУП

Торцеві канавки є складовою конструкції багатьох деталей. Їхня форма визначається формою поверхні деталі та функціональним призначенням, наприклад, такі канавки використовуються для встановлення підшипників, герметичних кілець та втулок.

Формування торцевої канавки за допомогою спеціального інструменту є ефективнішим ніж фрезерування кінцевою фрезою методом кругової інтерполяції, особливо при формуванні канавок великих діаметрів.

Особливістю спеціального інструменту для нарізання торцевих канавок є те, що при обробці канавок значної глибини потрібно використовувати довгі різці із малим поперечним перерізом державки, що знижує їх жорсткість, а відповідно і точність та шорсткість поверхні нарізаної канавки. При перевищенні допустимих навантажень можливе також пошкодження різців. Тому виникає необхідність в дослідженні динаміки нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями для визначення і попередження надлишкових деформацій конструктивних елементів інструмента.

Топографія механічно обробленої поверхні є відображенням ефективності процесу нарізання канавок та головним індикатором ефективності ріжучих інструментів.

Провідні світові виробники приділяють особливу увагу процесу нарізання торцевих канавок різцями із застосуванням спеціальних оправок. Тому подальші дослідження параметрів процесу нарізання торцевих канавок є актуальними.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу 737140.052.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Аналіз стану питання

Торцеві канавки є складовою конструкції багатьох деталей. Їхня форма визначається формою поверхні деталі та функціональним призначенням, наприклад, такі канавки використовуються для встановлення підшипників, герметичних кілець та втулок. На рис. 1.1 представлено робочі елементи різних інструментів для нарізання торцевих канавок.

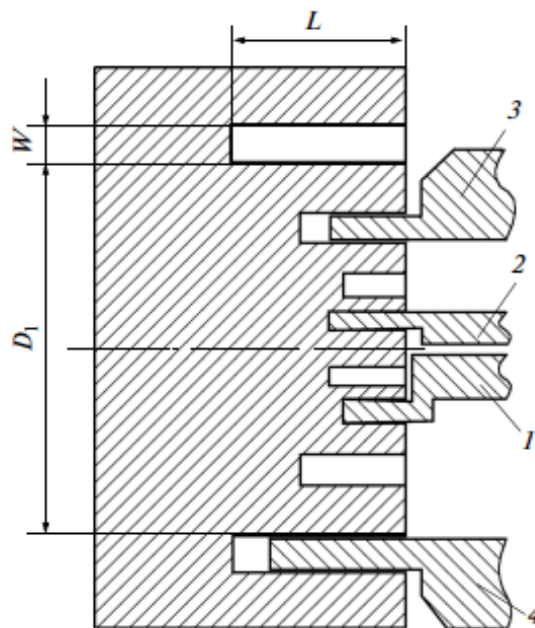


Рисунок 1.1 – Конструктивні параметри нарізання торцевих канавок [18]:  
(1)  $D_1 = 1-8$  мм;  $L = 2-30$  мм; (2)  $D_1 = 8$  мм;  $L = 1,5-10$  мм; (3)  $D_1 = 16-34$  мм;  
 $L = 5,3-20$  мм; (4)  $D_1 > 34$  мм;  $L = 12-28$  мм

Основними параметрами є максимальний діаметр канавки  $D_1$ , глибина канавки  $L$  та ширина канавки  $W$ . Конструкція інструментів для нарізання торцевих канавок повинна усувати контакт між обробленою поверхнею та інструментом за винятком ріжучої кромки.

Компанією BIG KAISER [12] випущено серію державок та інструментів для нарізання торцевих канавок, одна з яких представлена на рис. 1.2. Такі оправки із двома різцями забезпечують гнучкість при формуванні торцевих

канавок різних діаметральних розмірів. Запропонована конструкція забезпечує формування канавок в діапазоні діаметрів від 2,087 дюймів to 118 дюймів, глибиною до 0,472 дюймів, з мінімальною шириною 0,079 дюймів та максимальною шириною 0,375 дюймів.



Рисунок 1.2 – Державка з двома різцями компанії BIG KAISER для нарізання торцевих канавок [12]

Компанією ISCAR представлено модульну систему для нарізання торцевих канавок та вирізання отворів (рис. 1.3), що дозволяє підвищити гнучкість виробництва.

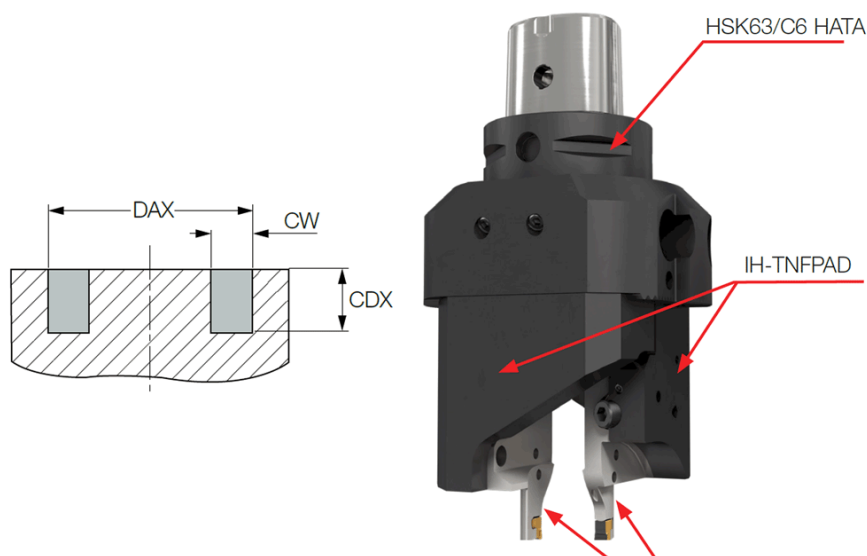


Рисунок 1.3 – Інструмент компанії ISCAR для нарізання торцевих канавок із малими діаметрами [25]

Компанією Tungaloy [19] розроблено спеціальні інструменти для нарізання торцевих канавок у вигляді окремих різців (рис. 1.4) та спеціальних модульних оправок (рис. 1.5) з каналами для подачі мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ.

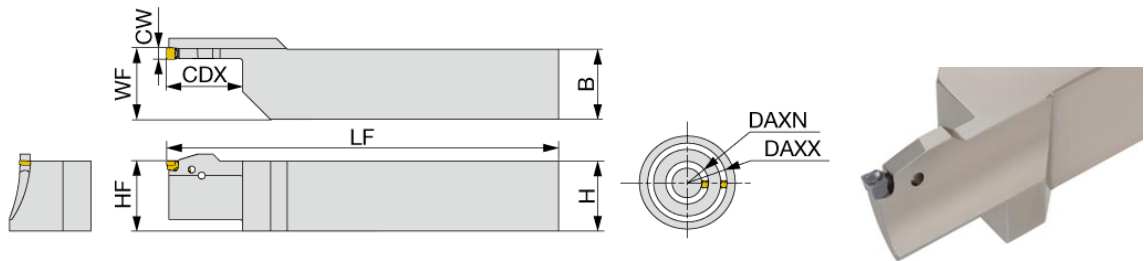


Рисунок 1.4 – Різець компанії Tungaloy для нарізання торцевих канавок [19]

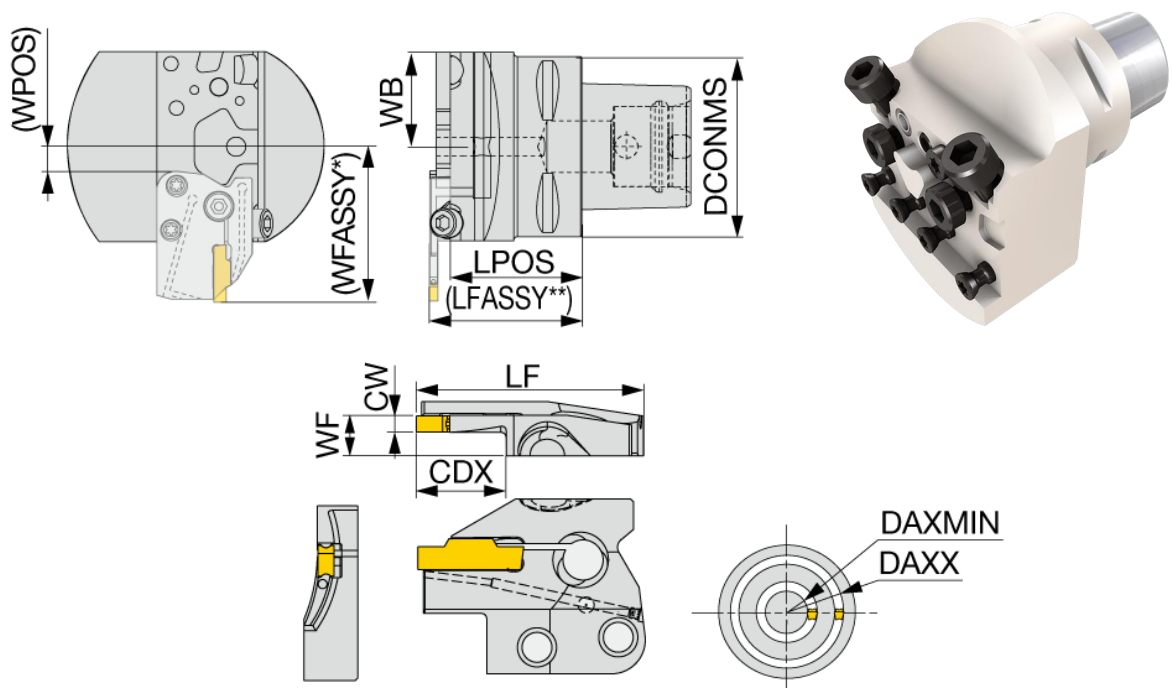


Рисунок 1.5 – Спеціальна модульна оправка компанії Tungaloy для нарізання торцевих канавок [19]

У роботі [21] проведено дослідження динаміки розточування внутрішніх канавок в отворах із використанням спеціального розточного інструменту із двома різцями. Встановлено, що динамічні процеси суттєво впливають на показники якості процесу різання, зокрема та точність оброблення канавок та

стійкість інструментів. Визначено, що в процесі різання на кожен різець може діяти різна змінна сила різання, що пов'язано із неоднорідністю матеріалу, що піддається обробці та похибками встановлення інструменту. Це впливає на стійкість процесу різання а також на точність та шорсткість обробленої поверхні канавки. Схема для розрахунку динаміки процесу формування канавок двома різцями представлена на рис. 1.6.

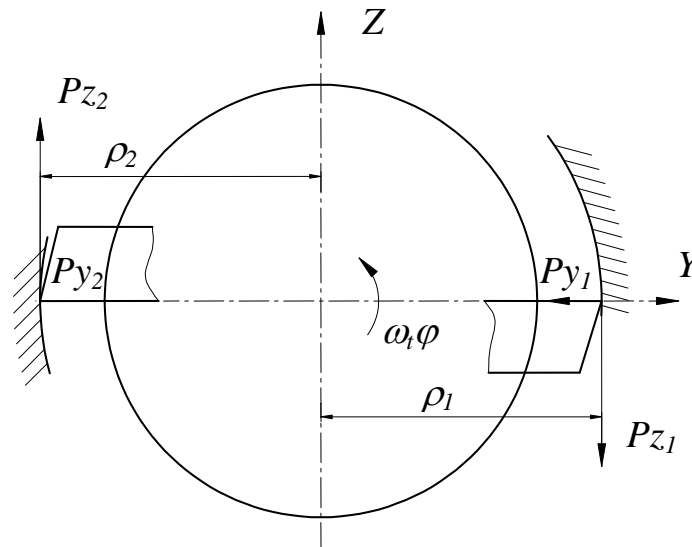


Рисунок 1.6 – Схема для розрахунку динаміки процесу формування канавок двома різцями [21]

Тангенціальну та радіальну складові сили різання для кожного із різців при нарізанні канавок можна представити за емпіричними залежностями [21]:

$$\begin{aligned}
 P_{Z1} &= C_{p_{z1}} \cdot t^{x_{p_{z1}}} \cdot s_1^{y_{p_{z1}}} \cdot v^n; \\
 P_{Z2} &= C_{p_{z2}} \cdot t^{x_{p_{z2}}} \cdot s_2^{y_{p_{z2}}} \cdot v^n; \\
 P_{y1} &= C_{p_{y1}} \cdot t^{x_{p_{y1}}} \cdot s_1^{y_{p_{y1}}} \cdot v^n; \\
 P_{y2} &= C_{p_{y2}} \cdot t^{x_{p_{y2}}} \cdot s_2^{y_{p_{y2}}} \cdot v^n.
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

Виведено систему диференціальних рівнянь, що описують коливання різців, корпусу пристрою в процесі різання канавок у проекціях на осі  $y$  та  $z$ , із врахуванням подачі різців  $s$ , кута  $\varphi$  повороту корпусу, коефіцієнта  $\theta$  експоненціальної апроксимації; зведеної маси  $M$ , коефіцієнта демпфування



коливань  $\beta$ , зведеної жорсткості  $c$  [21]:

$$\begin{aligned}
 M\ddot{y} + \beta\dot{y} + \left[ c + \left( (P_{Y1} + P_{Y2})\exp\left(-\frac{\varphi}{\theta}\right) + R_{Y1} + R_{Y2} \right) \right] y = \\
 \left[ (P_{Y1} + P_{Y2})\exp\left(-\frac{\varphi}{\theta}\right) + R_{Y1} + R_{Y2} \right] (\rho_{20} - \rho_{10} - y(-\pi)) + \\
 \left[ (P_{Y2} - P_{Y1})\exp\left(-\frac{\varphi}{\theta}\right) + R_{Y2} - R_{Y1} \right] \frac{s}{2}, \tag{1.2} \\
 M\ddot{z} + \beta\dot{z} + cz = \left[ (P_{Z1} + P_{Z2})\exp\left(-\frac{\varphi}{\theta}\right) + R_{Z1} + R_{Z2} \right] \times \\
 (\rho_{10} - \rho_{20} + y + y(-\pi)) + \left[ (P_{Z1} - P_{Z2})\exp\left(-\frac{\varphi}{\theta}\right) + R_{Z1} - R_{Z2} \right] \frac{s}{2}.
 \end{aligned}$$

Розв'язок системи нелінійних диференціальних рівнянь (1.2) з нульовими початковими умовами проведено із застосуванням чисельного методу Рунге-Кутта із врахуванням кута повороту корпусу  $\varphi = \omega t$ , де  $\omega = \frac{\pi}{30} n$  - кутова швидкість обертання шпинделя. Результати розв'язку системи диференціальних рівнянь (1.2) представлено на рис. 1.7 та 1.8.

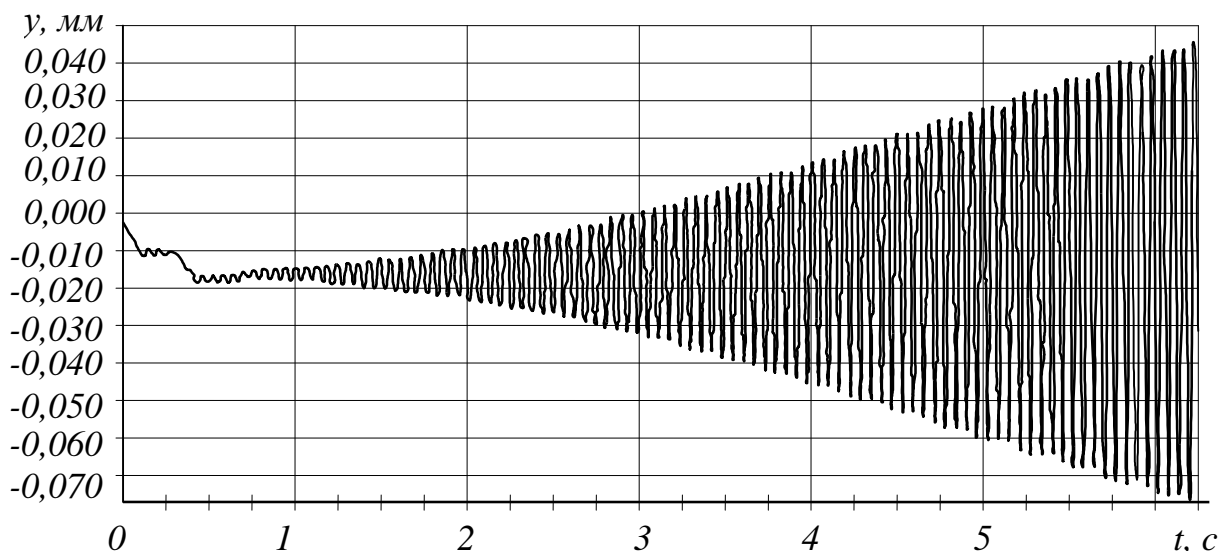


Рисунок 1.7 – Деформація корпусу із різцями в напрямку координати  $y$  при нестійкому процесі різання канавок [21]

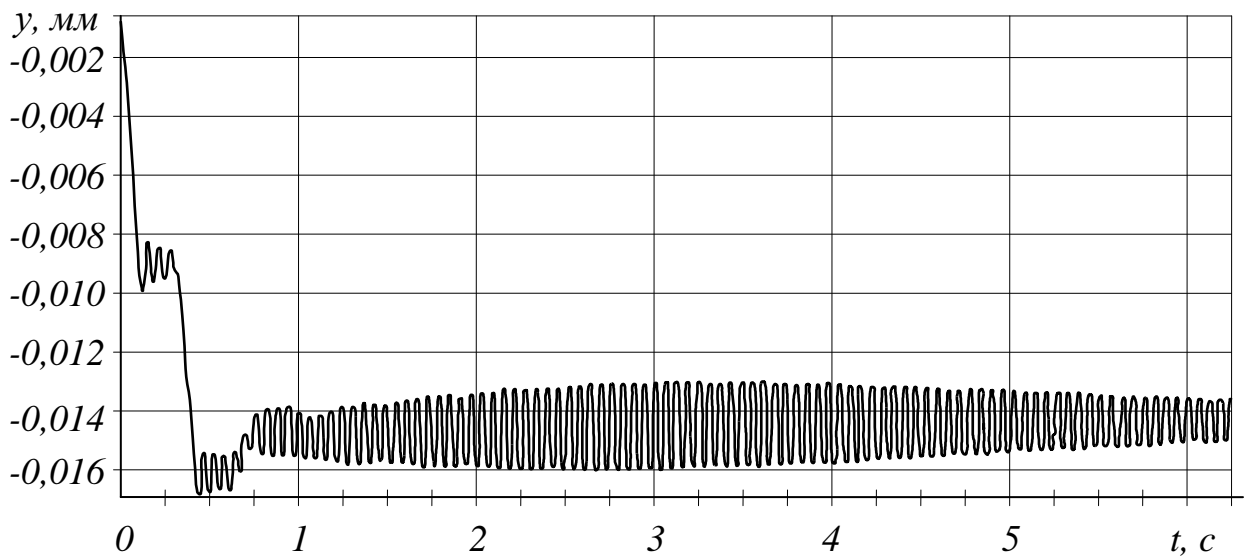


Рисунок 1.8 – Деформація корпусу із різцями в напрямку координати  $y$  при стійкому процесі різання канавок [21]

У роботі [22] вказано, що топографія механічно обробленої поверхні є відображенням ефективності процесу нарізання канавок та головним індикатором ефективності ріжучих інструментів. При цьому проведено дослідження мікроскопічних зображень оброблених поверхонь канавок, їх трьохмірних зображень та профілів шорсткості залежно від режимів нарізання канавок. На рис. 1.9 представлено зображення поверхні після нарізання канавки у заготовці із сплаву Al-Si, застосовуючи твердосплавні ріжучі пластини та різні швидкості різання. При цьому встановлено, що величина подачі інструменту має менший вплив на формування текстури обробленої поверхні.

Тому шорсткість нарізаної поверхні канавки залежить від мікропрофілю ріжучої кромки інструмента, вібрацій системи ВПД, механізму захоплення матеріалів при взаємодії інструменту із заготовкою, неоднорідністю матеріалу заготовки. Виведено, що механічно оброблена поверхня при швидкостях різання від 50 м/хв до 400 м/хв має підвищену шорсткість з розгалуженими тріщинами. Це підтверджується трьохмірною топографією поверхні (рис. 1.10, 1.11) та визначеними параметрами із профілю шорсткості (рис. 1.10, 1.11). При швидкостях різання більше 400 м/хв шорсткість поверхні знижується, а кількість тріщин суттєво зменшується.

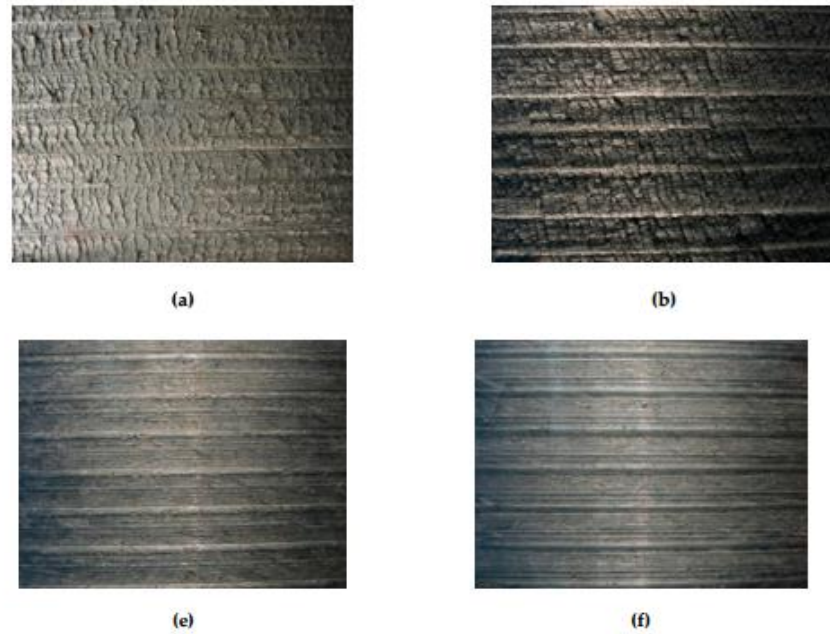


Рисунок 1.9 – Зображення поверхні після нарізання канавки у заготовці із сплаву Al-Si, застосовуючи твердосплавні ріжучі пластини та різні швидкості різання  $V$ : а)  $V=50$  м/хв; б)  $V=100$  м/хв; е)  $V=600$  м/хв; ф)  $V=800$  м/хв [22]

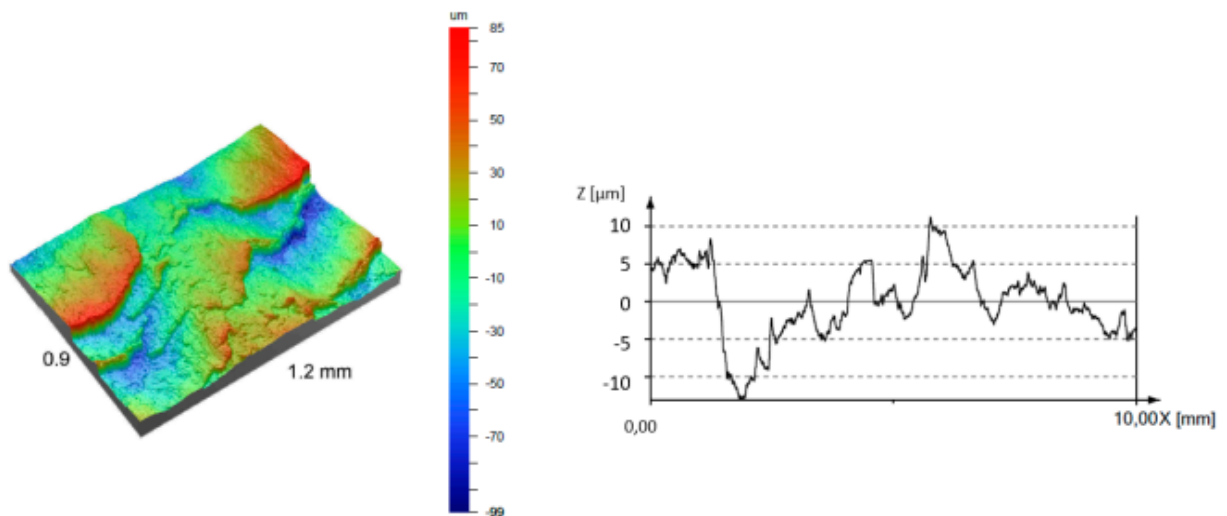


Рисунок 1.10 – Трьохмірна топографія поверхні та параметри профілю шорсткості поверхні після нарізання канавки при  $V=50$  м/хв [22]

Крім цього якість обробленої поверхні залежить від феномену адгезії, що провокує до періодичного формування з'єднань між матеріалом заготовки та ріжучої кромки інструменту з наступним їх руйнуванням. Наявність тріщин на

обробленій поверхні при нижчих швидкостях різання пов'язане із утворенням на ній високих надлишкових напружень розтягу при дії сил різання.

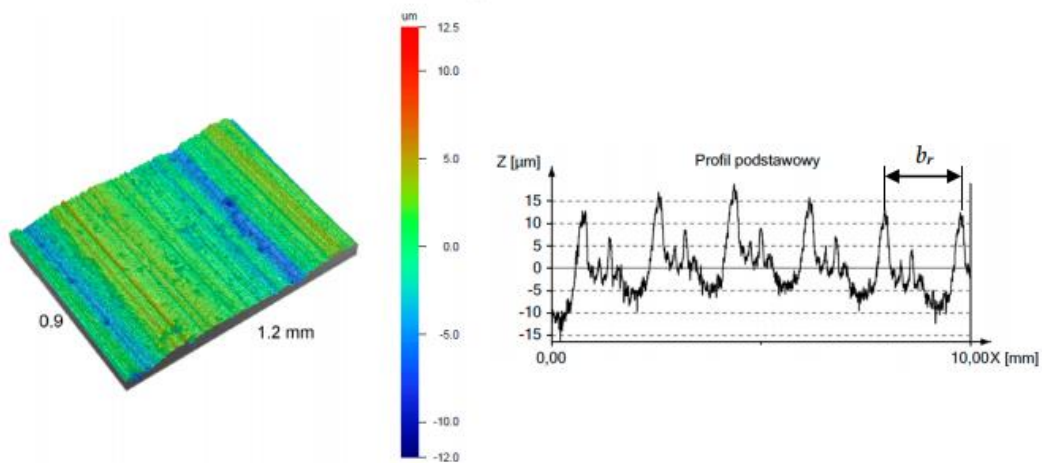


Рисунок 1.11 – Трьохмірна топографія поверхні та параметри профілю шорсткості поверхні після нарізання канавки при  $V=800$  м/хв [22]

Аналіз топографічних відображень обробленої поверхні при швидкостях різання більше 400 м/хв вказує на наявність періодичних мікровідхилень поверхні, що пов'язані із боковим пластичним зміщенням матеріалу внаслідок пружно-пластичної деформації при різанні.

У випадку застосування нижчих швидкостей різання така періодичність не спостерігалась, оскільки переважали процеси захоплювання поверхонь.

На рис. 1.12 представлено залежність максимальної шорсткості обробленої поверхні при нарізанні канавки від швидкості різання.

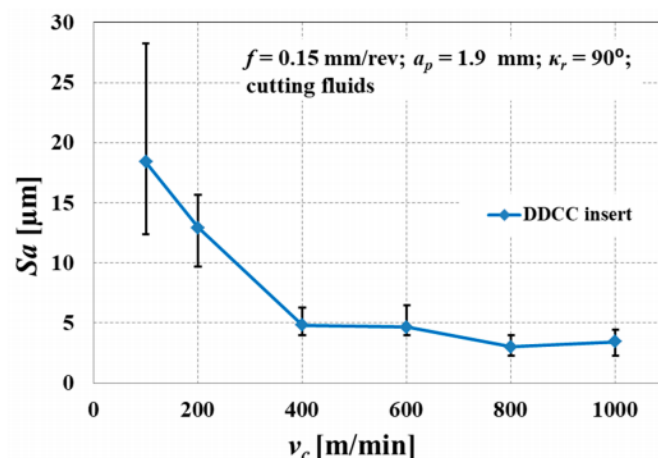


Рисунок 1.12 – Залежність максимальної шорсткості обробленої поверхні при нарізанні канавки від швидкості різання [22]

При збільшенні швидкості різання спостерігалось нелінійне зменшення максимального значення шорсткості поверхні. Величина розсіювання досліджуваного параметра зменшувалась при збільшенні швидкості різання і набувала максимальних значення при швидкості різання 50 м/хв.

## **1.2. Висновки та постановка завдань**

Провідні світові виробники приділяють особливу увагу процесу нарізання торцевих канавок різцями із застосуванням спеціальних оправок. Застосування подачі охолоджуючої рідини під високим тиском на задній поверхні інструменту може бути рекомендоване для підвищення продуктивності процесу нарізання торцевих канавок без погіршення якості обробленої поверхні. Динамічні процеси суттєво впливають на показники якості процесу різання, зокрема та точність оброблення канавок та стійкість інструментів. механічно оброблена поверхня при швидкостях різання від 50 м/хв до 400 м/хв має підвищену шорсткість з розгалуженими тріщинами. При швидкостях різання більше 400 м/хв шорсткість поверхні знижується, а кількість тріщин суттєво зменшується.

У кваліфікаційній роботі вирішуються такі завдання:

1. Провести дослідження динаміки нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом.
2. Представити схему процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями.
3. Дослідити деформації та динамічні навантаження на конструктивні елементи процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями на основі виведення та розв'язку системи диференціальних рівнянь.
4. Представити результати експериментальних досліджень з виведенням рівняння регресії залежності шорсткості  $Ra$  обробленої поверхні торцевої канавки від глибина різання  $t$ , подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя та швидкості нарізання канавки  $V$ .
5. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення корпуса 737140.052.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1. Дослідження динаміки нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом

Особливістю спеціального інструменту для нарізання торцевих канавок, що складається із двох різців, катриджів та оправки є те, що при обробці канавок значної глибини потрібно використовувати довгі різці із малим поперечним перерізом державки, що знижує їх жорсткість, а відповідно і точність та шорсткість поверхні нарізаної канавки. При перевищенні допустимих навантажень можливе також пошкодження різців. Тому виникає необхідність в дослідженні динаміки нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями для визначення і попередження надлишкових деформацій конструктивних елементів інструмента.

Дослідження деформацій та динамічних навантажень на конструктивні елементи процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями з достатньою для інженерних розрахунків точністю можна на основі виведення системи диференціальних рівнянь, що визначають вплив зовнішніх навантажень на деформації елементів системи та їх розв'язку чисельними методами. Для ідеалізації системи відкидаються другорядні фактори, які враховуються як коефіцієнт запасу.

На рисунку 2.1 представлено схему динамічної моделі процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями на розточному верстаті.

До динамічної моделі на рисунку 2.1 віднесено два незалежних радіусних різці для нарізання торцевої канавки, картридж, на якому закріплені радіусні різці, оправку та шпиндель розточного верстата. Кожен із представлених елементів має свою масу, момент інерції, жорсткість та демпфуючі властивості. Контактні деформації з'єднань елементів системи не враховано.

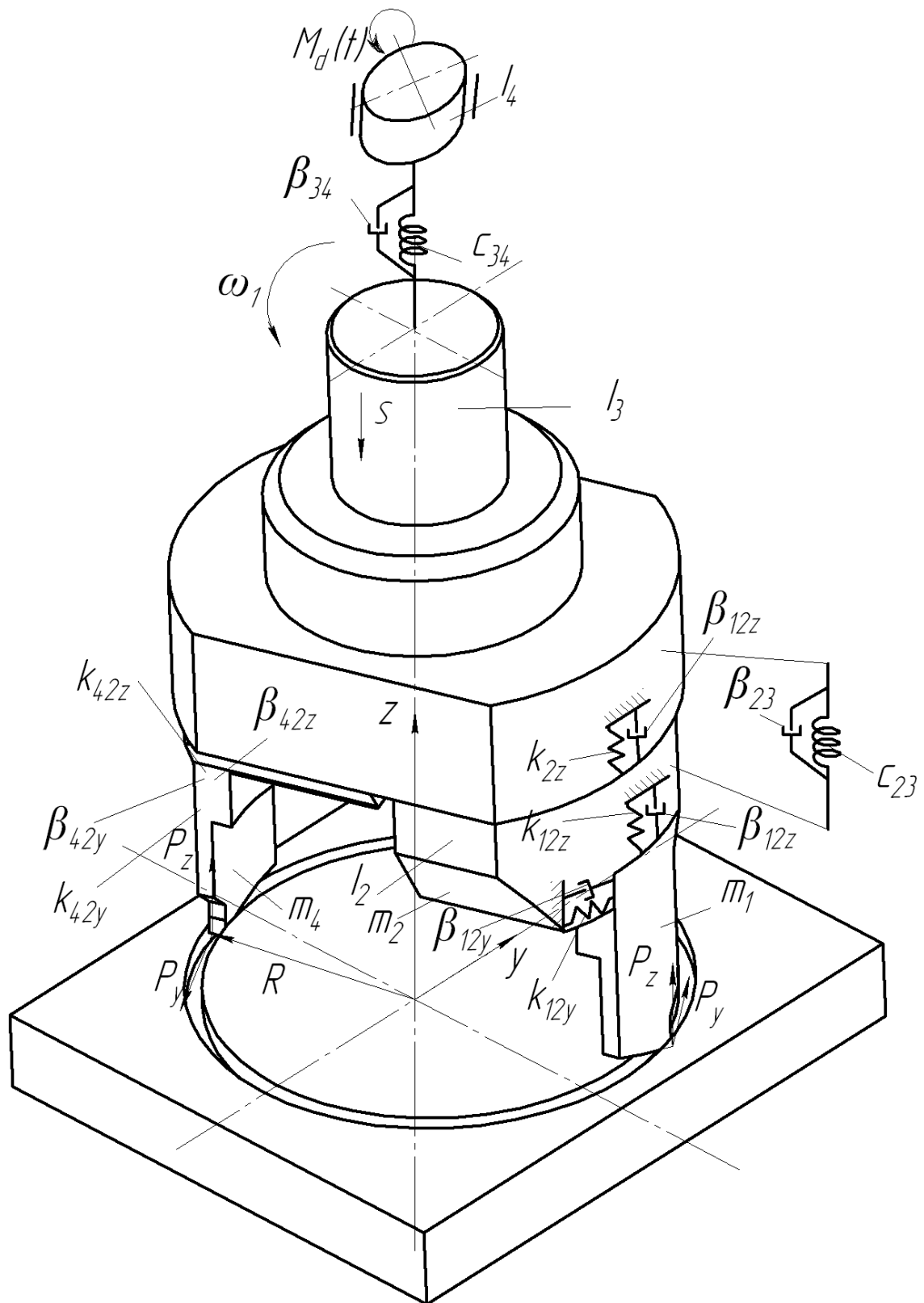


Рисунок 2.1 - Схема динамічної моделі процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями на розточному верстаті

Для процесу нарізання торцевої канавки двома різцями можна виділити такі етапи:

1. Ударна взаємодія між першим радіусним різцем та поверхнею заготовки;
2. Врізання першого радіусного різця;
3. Ударна взаємодія між другим радіусним різцем та поверхнею заготовки;
4. Врізання другого радіусного різця;
5. Одночасне нарізання торцевої канавки двома радіусними різцями.

На рисунку 2.1 умовно позначено:  $I_2$  – момент інерції картриджа із різцями;  $I_3$  – момент інерції оправки;  $I_4$  – приведений момент інерції шпинделя розточного верстата,  $m_1$  – маса радіусного різця,  $m_2$  – маса картриджа; Жорсткості елементів системи рис. 2.1:  $C_{23}$  – крутильна жорсткість картриджа,  $C_{34}$  – крутильна жорсткість оправки,  $k_{12z}$ ,  $k_{12y}$  – лінійні жорсткості першого радіусного різця в напрямку осей  $z$  та  $y$  відповідно,  $k_{42z}$ ,  $k_{42y}$  – лінійні жорсткості другого радіусного різця в напрямку осей  $z$  та  $y$  відповідно,  $k_{2z}$  – лінійна жорсткість картриджа в напрямку осі  $z$ .

Коефіцієнти демпфування елементів системи рис. 2.1:  $\beta_{12z}$ ,  $\beta_{12y}$  – коефіцієнти демпфування першого радіусного різця в напрямку осей  $z$  та  $y$  відповідно,  $\beta_{42z}$ ,  $\beta_{42y}$  – коефіцієнти демпфування другого радіусного різця в напрямку осей  $z$  та  $y$  відповідно,  $k_{2z}$  – коефіцієнт демпфування картриджа в напрямку осі  $z$ .

На перший радіусний різець ( $m_1$ ) діють вертикальна  $P_{z1}$  і тангенціальна горизонтальна  $P_{y1}$  складові сили різання, відповідно на другий радіусний різець ( $m_4$ ) діють вертикальна  $P_{z2}$  і тангенціальна горизонтальна  $P_{y2}$  складові сили різання. Також в момент врізання у заготовку на кожний із різців діє сила удару  $P_u$ . Величини вказаних вище коефіцієнтів жорсткості, коефіцієнтів демпфування а також величини складових сили різання визначаються експериментальними дослідженнями.



Зростання складової сили різання для радіусного різця представлено функцією:

$$P_{z2}(t) = \frac{P_{z2}}{2t_v}(t - t_1), \quad (2.1)$$

де  $t_1$  – час між врізаннями першого та другого радіусних різців;  
 $t_v$  – час врізання радіусного різця.

Аналогічно визначається залежність для інших складових сил різання на різцях.

Час між врізаннями першого та другого радіусних різців:

$$t_1 = \frac{\pi}{\omega_1}, \quad (2.2)$$

де  $\omega_1$  – кутова швидкість обертання оправки.

Для опису зміни у часі вертикальної  $P_{z1}$  і тангенціальної горизонтальної  $P_{y1}$  складові сили різання, складових сили різання використано аналогічний підхід статті [24]:

$$P_{z1n}(t) = \frac{F_n(t) + P_{z1}(t) - |F_n(t) - P_{z1}(t)| + |F_n(t) + P_{z1}(t) - |F_n(t) - P_{z1}(t)||}{4}, \quad (2.3)$$

$$P_{y1n}(t) = \frac{F_n(t) + P_{y1}(t) - |F_n(t) - P_{y1}(t)| + |F_n(t) + P_{y1}(t) - |F_n(t) - P_{y1}(t)||}{4}, \quad (2.4)$$

де  $F_n(t)$  - допоміжна функція, використана у статті [24].

Кути повороту  $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  картриджа, на якому закріплені радіусні різці, оправки та шпинделя розточного верстата відповідно та лінійні переміщення:  $u_1, z_1, u_4, z_4, z_2$  першого, другого радіусних різців та картриджа прийнято за узагальнені координати.

Кінетична енергія системи динамічної моделі процесу нарізання торцевої канавки рис. 2.1:

$$T = \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{I_3 \cdot \dot{\varphi}_3^2}{2} + \frac{I_4 \cdot \dot{\varphi}_4^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot \dot{z}_2^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{z}_4^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot \dot{y}_2^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{y}_4^2}{2}. \quad (2.5)$$

Потенціальна енергія системи динамічної моделі процесу нарізання торцевої канавки рис. 2.1:

$$\Pi = \frac{C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2)^2}{2} + \frac{C_{34} \cdot (\varphi_4 - \varphi_3)^2}{2} + \frac{k_{2z} \cdot z_2^2}{2} + \frac{k_{12z} \cdot (z_2 - z_1)^2}{2} + \frac{k_{42z} \cdot (z_4 - z_1)^2}{2} + \frac{k_{12y} \cdot (R\varphi_2 - y_1)^2}{2} + \frac{k_{42y} \cdot (R\varphi_2 - y_1)^2}{2}, \quad (2.6)$$

де  $R$  – середній радіус канавки, що нарізається.

Функція розсіювання системи динамічної моделі процесу нарізання торцевої канавки рис. 2.1:

$$\Phi = \frac{\beta_{23} \cdot (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2)^2}{2} + \frac{\beta_{34} \cdot (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_3)^2}{2} + \frac{\beta_{2z} \cdot \dot{z}_2^2}{2} + \frac{\beta_{12z} \cdot (\dot{z}_2 - \dot{z}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{42z} \cdot (\dot{z}_4 - \dot{z}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{12y} \cdot (R\dot{\varphi}_2 - \dot{y}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{42y} \cdot (R\dot{\varphi}_2 - \dot{y}_1)^2}{2}. \quad (2.7)$$

Рівняння Лагранжа другого роду [24]:

- для крутих коливань картриджа, на якому закріплені радіусні різці, оправки та шпинделя розточного верстата

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_n} = (P_{y1}(t) + P_{y2}(t) + P_u(t))R; \quad (2.8)$$

- для лінійних коливань першого, другого радіусних різців та картриджа

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{z}_n} = P_{zn}(t) + P_u(t), \quad (2.9)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial y_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial y_n} = P_{y_n}(t) + P_u(t). \quad (2.10)$$

На основі рівнянь (2.8), (2.9) та (2.10) виведено систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} I_2 \cdot \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} + C_{23} \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) + \beta_{23\varphi} \left( \frac{d\varphi_2}{dt} - \frac{d\varphi_3}{dt} \right) + k_{12y} (R\varphi_2 - y_1) + \beta_{12y} \left( R \frac{d\varphi_2}{dt} - \frac{dy_1}{dt} \right) + \\ + k_{42y} (R\varphi_2 - y_4) + \beta_{42y} \left( R \frac{d\varphi_2}{dt} - \frac{dy_4}{dt} \right) = (P_{y_1}(t) + P_{y_2}(t) + P_u(t))R \\ I_3 \cdot \frac{d^2 \varphi_3}{dt^2} + C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2) + \beta_{23} \left( \frac{d\varphi_3}{dt} - \frac{d\varphi_2}{dt} \right) + C_{34} \cdot (\varphi_3 - \varphi_4) + \beta_{34} \left( \frac{d\varphi_3}{dt} - \frac{d\varphi_4}{dt} \right) = 0; \\ I_4 \cdot \frac{d^2 \varphi_4}{dt^2} + C_{34} \cdot (\varphi_4 - \varphi_3) + \beta_{34} \left( \frac{d\varphi_4}{dt} - \frac{d\varphi_3}{dt} \right) = M_d; \\ m_1 \cdot \frac{d^2 y_1}{dt^2} - k_{12y} (R\varphi_2 - y_1) - \beta_{12y} \left( R \frac{d\varphi_2}{dt} - \frac{dy_1}{dt} \right) = P_{y_1}(t) + P_u(t); \\ m_4 \cdot \frac{d^2 y_4}{dt^2} - k_{12y} (R\varphi_2 - y_4) - \beta_{12y} \left( R \frac{d\varphi_2}{dt} - \frac{dy_4}{dt} \right) = P_{y_2}(t) + P_u(t); \\ m_1 \cdot \frac{d^2 z_1}{dt^2} + k_{12z} (z_1 - z_2) + \beta_{12z} \left( \frac{dz_1}{dt} - \frac{dz_2}{dt} \right) = P_{z_1}(t) + P_u(t); \\ m_4 \cdot \frac{d^2 z_4}{dt^2} + k_{42z} (z_4 - z_2) + \beta_{42z} \left( \frac{dz_4}{dt} - \frac{dz_2}{dt} \right) = P_{z_2}(t) + P_u(t); \\ m_2 \cdot \frac{d^2 z_2}{dt^2} + k_{12z} (z_2 - z_1) + \beta_{12z} \left( \frac{dz_2}{dt} - \frac{dz_1}{dt} \right) + k_{42z} (z_2 - z_4) + \\ + \beta_{42z} \left( \frac{dz_2}{dt} - \frac{dz_4}{dt} \right) + k_{2z} z_2 + \beta_{2z} \frac{dz_2}{dt} = 0. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Для розв'язку системи диференціальних рівнянь (2.11) використано нульові початкові координати та нульові початкові швидкості:

$$\frac{d\varphi_2}{dt}(0) = 0, \quad \frac{d\varphi_3}{dt}(0) = 0; \quad \frac{d\varphi_4}{dt}(0) = 0, \quad \frac{dz_1}{dt}(0) = 0, \quad \frac{dz_2}{dt}(0) = 0,$$

$$\frac{dz_4}{dt}(0) = 0, \quad \frac{dy_1}{dt}(0) = 0, \quad \frac{dy_4}{dt}(0) = 0. \quad (2.12)$$

Для розв'язку системи диференціальних рівнянь (2.11) з нульовими початковими умовами (2.12) використано прикладне програмне забезпечення, що має підпрограму чисельного методу Рунге-Кутта. Розв'язок представлено у вигляді графіків зміни: лінійної деформації (рис. 2.3) та швидкості (рис. 2.4) деформації радіусного різця для нарізання торцевої канавки в напрямку осі  $y$  в часі, динамічних навантажень на радіусний різець в часі (рис. 2.5); кутової деформації (рис. 2.6) та швидкості (рис. 2.7) деформації картриджа, на якому закріплені радіусні різці в часі; кутової деформації (рис. 2.8) та швидкості (рис. 2.9) деформації оправки в часі.

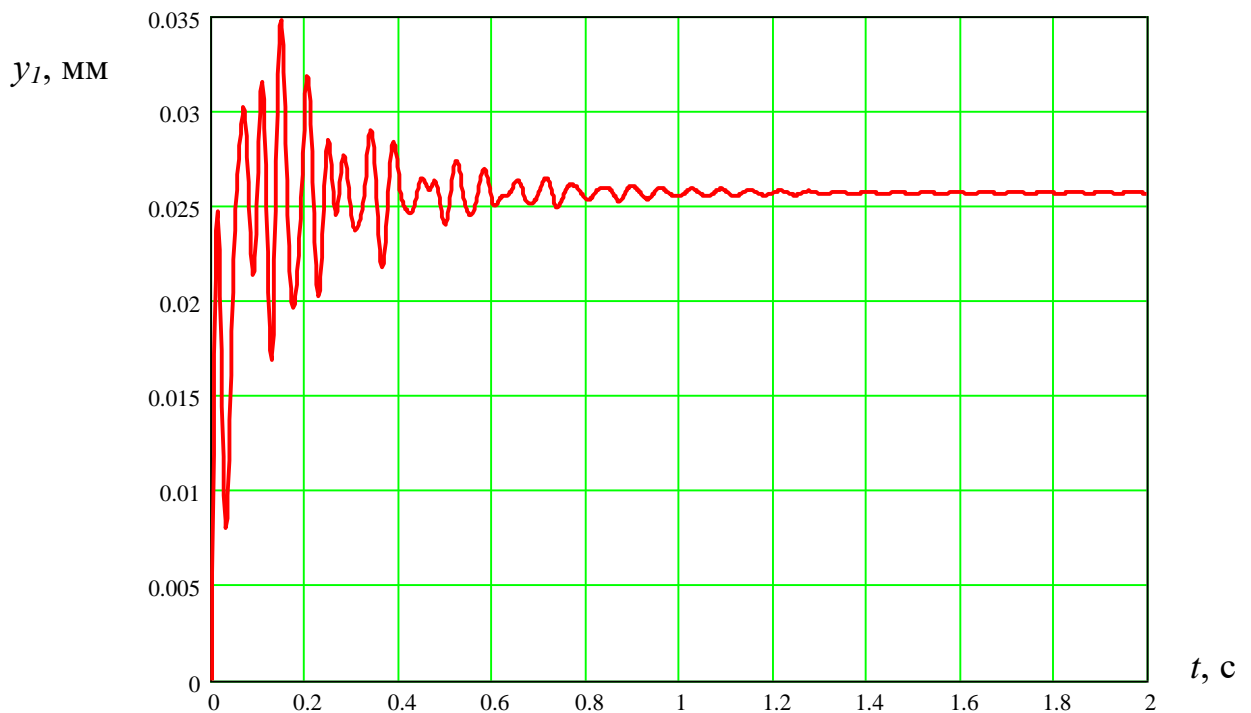


Рисунок 2.3 - Графік зміни лінійної деформації радіусного різця для нарізання торцевої канавки в напрямку осі  $y$  в часі

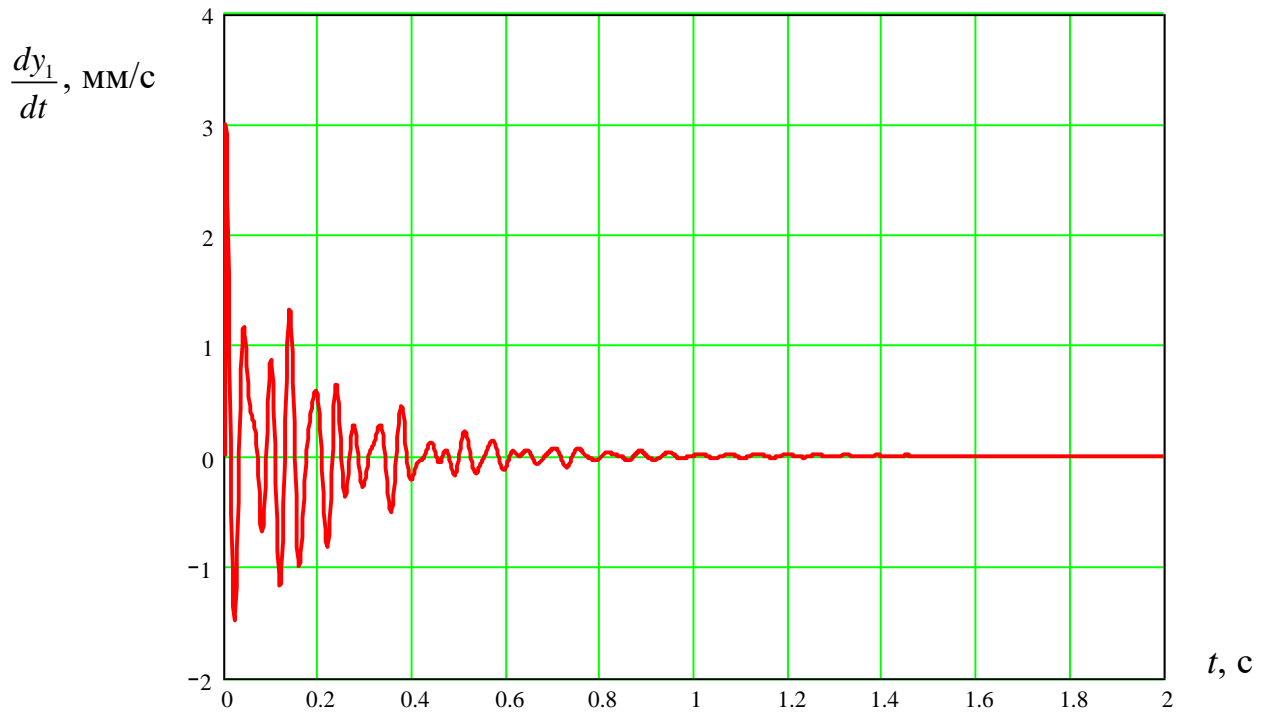


Рисунок 2.4 - Графік зміни швидкості лінійної деформації радіусного різця для нарізання торцевої канавки в напрямку осі  $y$  в часі

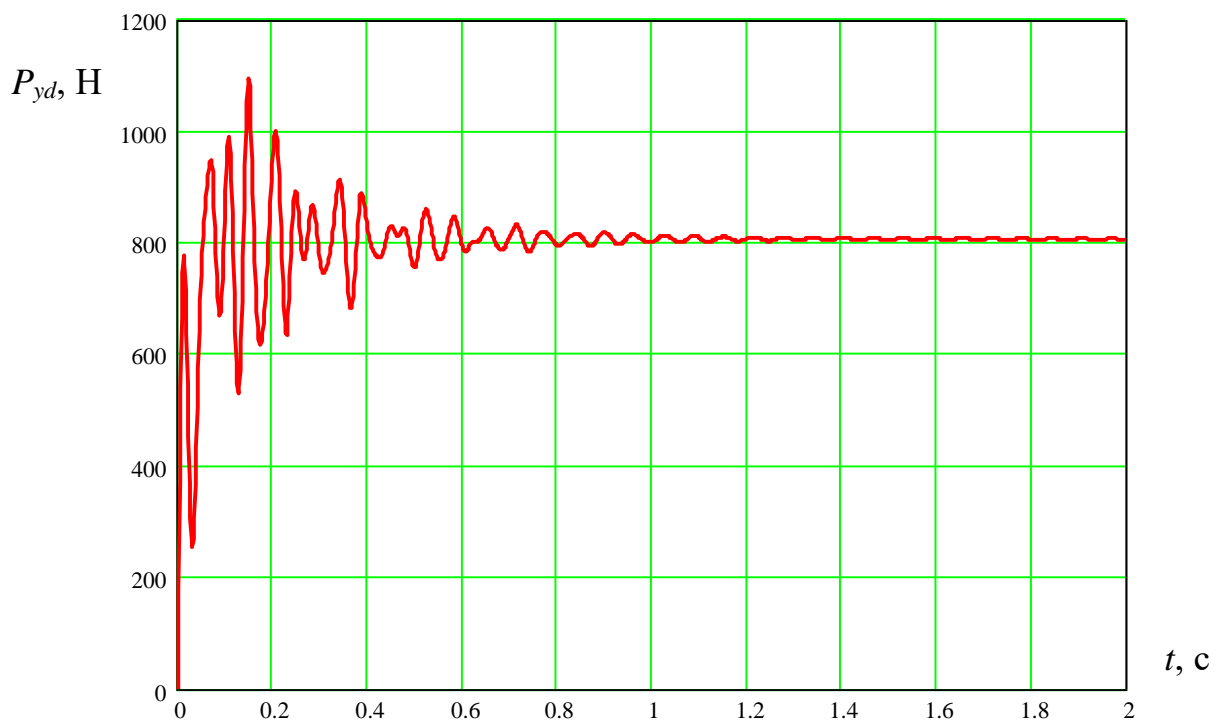


Рисунок 2.5 - Графік зміни динамічних навантажень на радіусний різець для нарізання торцевої канавки в напрямку осі  $y$  в часі

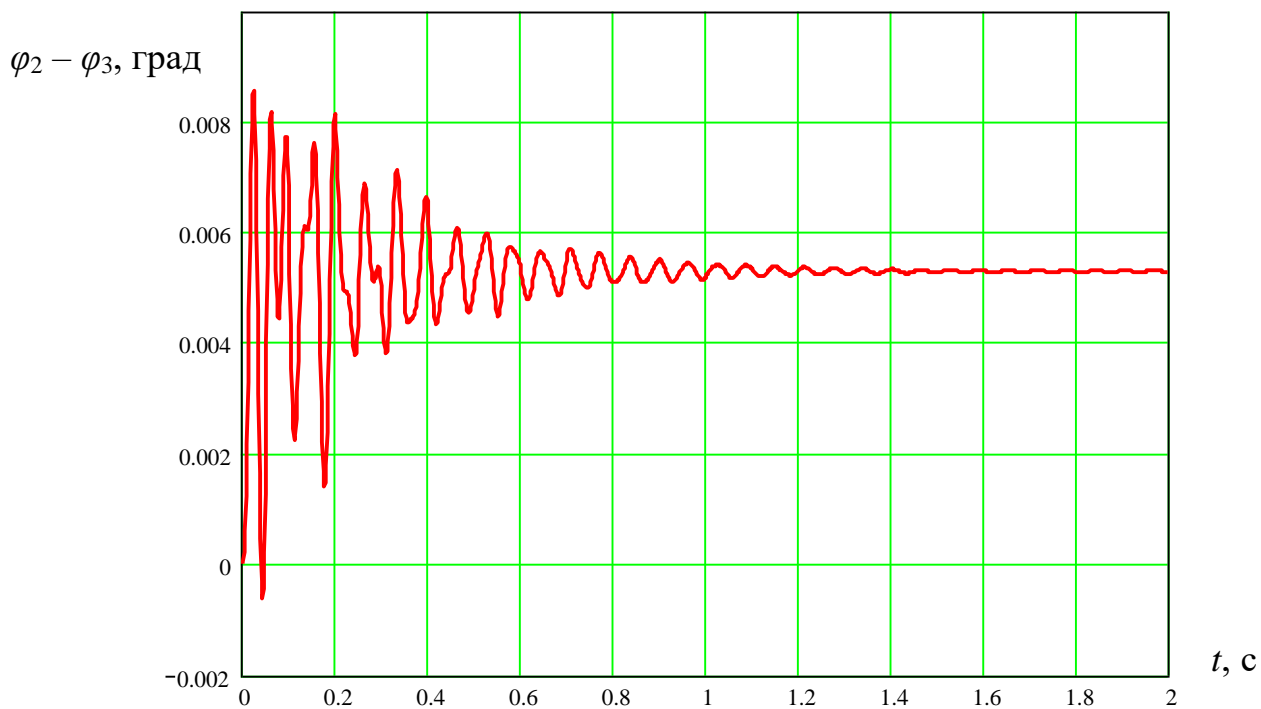


Рисунок 2.6 - Графік зміни кута деформації картриджа, на якому закріплені радіусні різці в часі

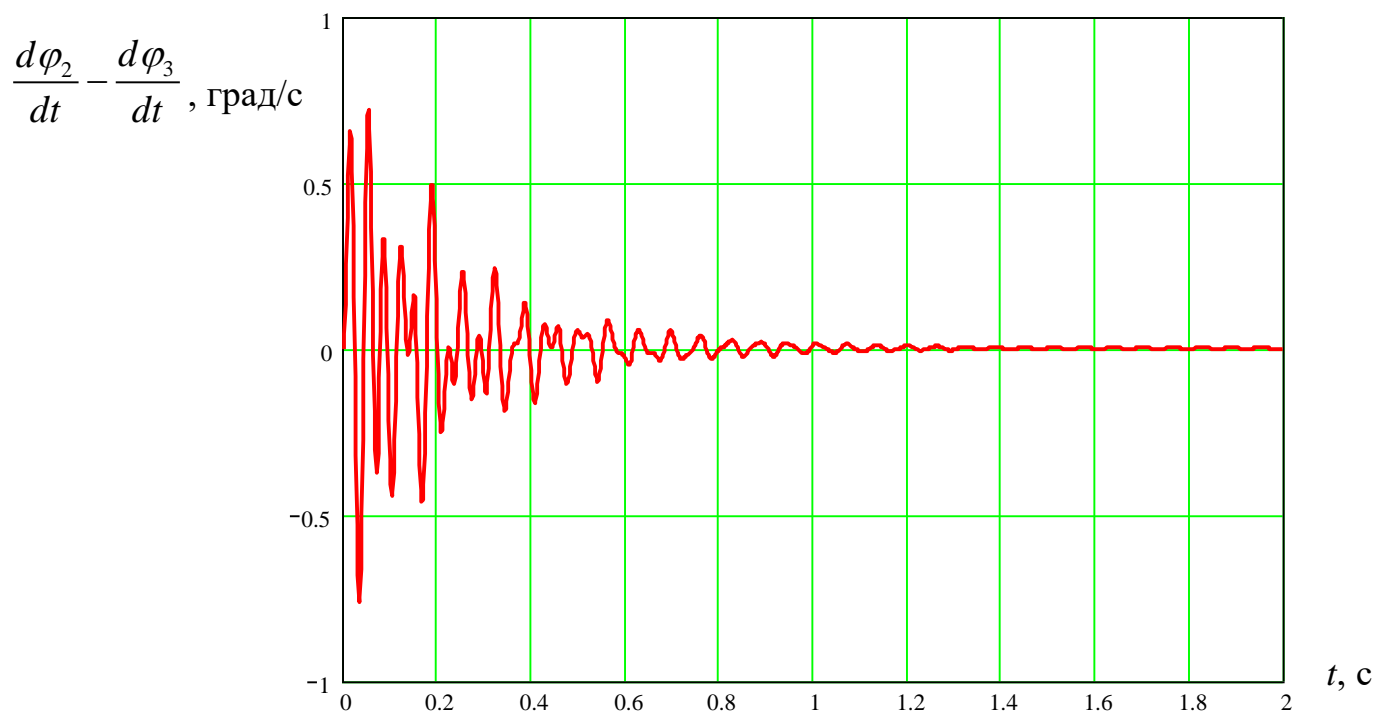


Рисунок 2.7 - Графік зміни швидкості кута деформації картриджа, на якому закріплені радіусні різці в часі

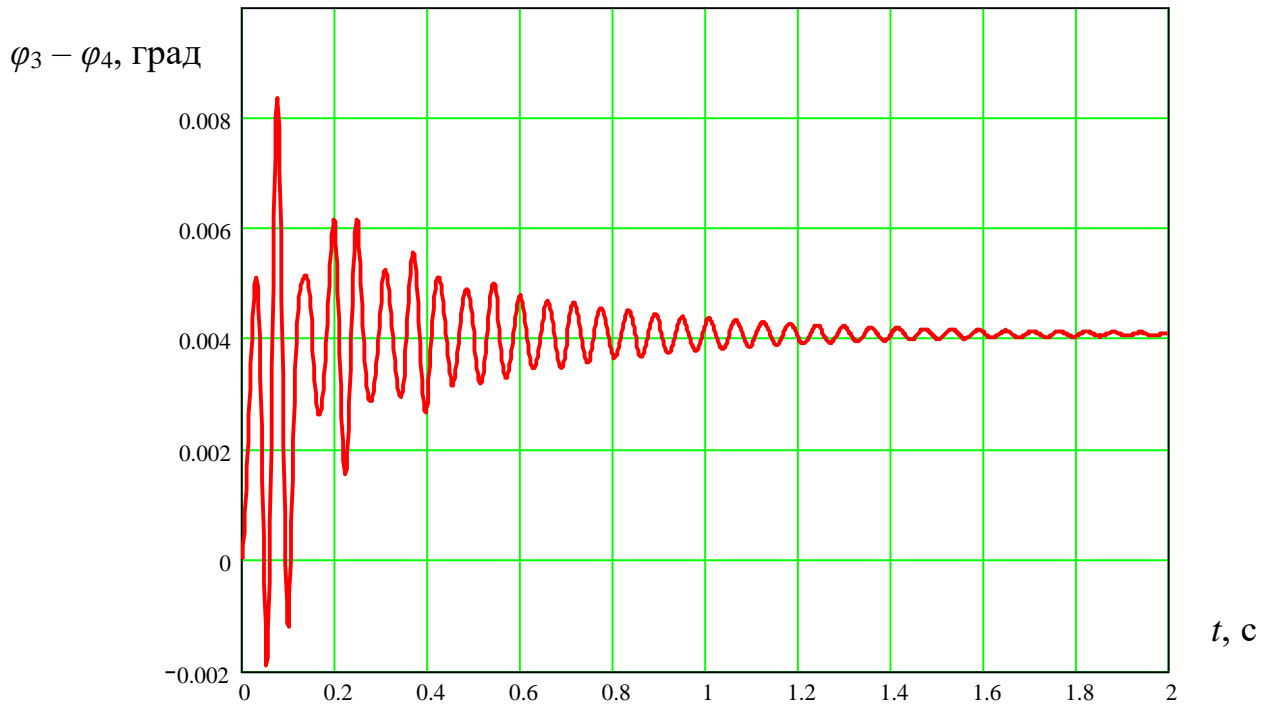


Рисунок 2.8 - Графік зміни кута деформації оправки в часі

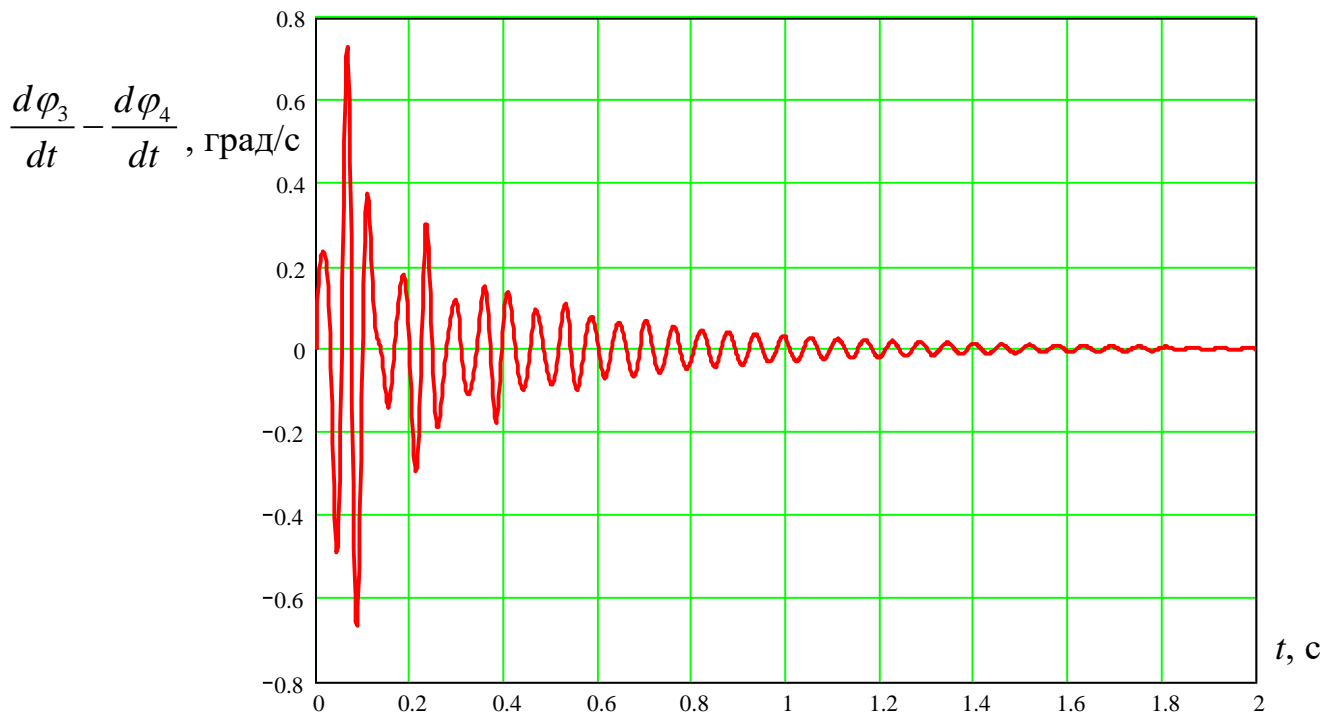


Рисунок 2.9 - Графік зміни швидкості кута деформації оправки в часі

Із графіків рисунків 2.3 – 2.9 можна побачити, що найбільші динамічні навантаження, деформації та швидкості деформацій радіусних різців для

нарізання торцевої канавки, картриджа, на якому закріплені радіусні різці, та оправки виникають в моменти врізання радіусного різця у заготовку, зокрема спостерігались стрибки величин в момент удару та досягнення максимальної глибини різання радіусного різця з наступною стабілізацією досліджуваних величин при усталеному процесі різання з постійною силою різання.

Зокрема, на графіку рис. 2.3 в момент удару лінійна деформація радіусного різця для нарізання торцевої канавки в напрямку осі  $y$  становила 0,025 мм, в момент досягнення максимальної глибини різання - 0,035 мм із стабілізацією на величині 0,025 мм, при цьому максимальна швидкість деформації становила 3 мм/с (рис. 2.4). В момент удару динамічне навантаження на радіусний різець становило 790 Н, в момент досягнення максимальної глибини різання - 1100 Н із стабілізацією на величині 800 Н (рис. 2.5).

На графіку рис. 2.6 в момент удару кут деформації картриджа, на якому закріплені радіусні різці становив 0,0084 град, в момент досягнення максимальної глибини різання - 0,008 град із стабілізацією на величині 0,0052 град, при цьому максимальна швидкість деформації становила 0,7 град/с (рис. 2.7).

На графіку рис. 2.8 в момент удару кут деформації оправки становив 0,005 град, в момент досягнення максимальної глибини різання - 0,0082 град із стабілізацією на величині 0,004 град, при цьому максимальна швидкість деформації становила 0,7 град/с (рис. 2.9).

## **2.2. Результати експериментальних досліджень шорсткості поверхні торцевої канавки після нарізання спеціальним інструментом**

Під час виконання кваліфікаційної роботи проведено ряд експериментальних досліджень процесу нарізання циліндричної канавки на торцевій плоскій поверхні заготовки, зокрема серед досліджуваних параметрів різання розглянуто шорсткість  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом, конструктивна схема якого представлена на рис.



2.1. Шорсткість обробленої поверхні є одним із параметрів, що характеризують динамічні характеристики процесу нарізання торцевої канавки, які розглянуто у попередньому підрозділі. Нарізання ряду канавок проведено на вертикально-розточному верстаті. Закріплення заготовки здійснювалось на столі верстата двома прихватами. У конструкції інструменту використано два спеціальних радіусних канавочних різці із пластинами з твердого сплаву Т15К6. Для вимірювання шорсткості обробленої поверхні використано профілограф-профілометр. При цьому для доступу щупа приладу до поверхні канавки, глибина канавки складала 5 мм. Діаметр оброблюваної поверхні становив 50 мм. Матеріал заготовки сталь Ст 3.

Перед початком експерименту відбувалось його планування відповідно до план-матриці повнофакторного експерименту із трьома незалежними змінними вхідними параметрами на трьох рівнях. Попередні дослідження та літературний огляд дозволив встановити, що основними факторами, які впливають на шорсткість  $Ra$  обробленої поверхні торцевої канавки є: глибина різання  $t$ , що дорівнює ширині канавки, подача  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя та швидкість нарізання канавки  $V$ .

Відповідно досліджувану шорсткість  $Ra$  поверхні торцевої канавки після нарізання спеціальним інструментом представлено у вигляді функції  $Ra = f(t, S, V)$ .

Визначено межі варіювання основних змінних факторів:

- глибина різання  $t = 3 - 5$  мм;
- подача на один інструмент при одному оберті шпинделя  $S = 0,08 - 0,16$  мм/об;
- швидкість нарізання канавки  $V = 120 - 160$  м/хв.

Визначено нульові рівні кожного із факторів:

- для глибини різання  $t$ :

$$X_{01} = \frac{3+5}{2} = 4 \text{ (мм);} \quad (2.13)$$

- для подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя:

$$X_{02} = \frac{0,08 + 0,16}{2} = 0,12 \text{ (мм/об)}; \quad (2.14)$$

- для швидкості нарізання канавки V:

$$X_{03} = \frac{120 + 160}{2} = 140 \text{ (м/хв)}. \quad (2.15)$$

Інтервали варіювання факторів та їх кодовані значення:

$$\Delta X_1 = \frac{5 - 3}{2} = 1 \text{ (мм)}; \quad x_1 = \frac{t - 4}{1}; \quad (2.16)$$

$$\Delta X_2 = \frac{0,16 - 0,08}{2} = 0,04 \text{ (мм/об)}; \quad x_2 = \frac{S - 0,12}{0,04}; \quad (2.17)$$

$$\Delta X_3 = \frac{160 - 120}{2} = 20 \text{ (м/хв)}; \quad x_3 = \frac{V - 140}{20}. \quad (2.18)$$

Результати вибору основних факторів, що впливають на шорсткість торцевої поверхні нарізаної канавки та вибір рівнів їх варіювання представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Змінні фактори що впливають на шорсткість торцевої поверхні нарізаної канавки та вибір рівнів їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтервал варіювання	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.		5 (+1)	4 (0)	3 (-1)
Глибина різання	t, мм	x <sub>1</sub>	1	5 (+1)	4 (0)	3 (-1)
Подача на один інструмент при одному оберті шпинделя	S, мм/об	x <sub>2</sub>	0,04	0,16 (+1)	0,12 (0)	0,08 (-1)
Швидкість нарізання канавки	V, м/хв	x <sub>3</sub>	20	160 (+1)	140 (0)	120 (-1)

Рівняння регресії, що визначають взаємозв'язок вхідних факторів та шорсткість нарізаної поверхні канавки апроксимували поліномом другої степені. Значущість коефіцієнтів рівняння регресії визначали за критерієм Стюдента. Значення коефіцієнтів рівняння регресії представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коеф.	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
Сталь Ст 3	1,59	0,481	0,111	-0,368	0,00125	-0,021	-0,00125	-0,108	-0,018	0,057

Загальний вигляд рівняння регресії шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом залежно від зміни: глибини різання  $t$ , що дорівнює ширині канавки, подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя та швидкості нарізання канавки  $V$ , тобто  $Ra_{(x_1, x_2, x_3)} = f(t, S, V)$  за результатами експериментів у кодованих величинах дорівнює:

$$Ra_{(x_1, x_2, x_3)} = 1,59 + 0,481x_1 + 0,111x_2 - 0,368x_3 + 0,00125x_1x_2 - 0,021x_1x_3 - (2.19) \\ - 0,00125x_2x_3 - 0,108x_1^2 - 0,018x_2^2 + 0,057x_3^2,$$

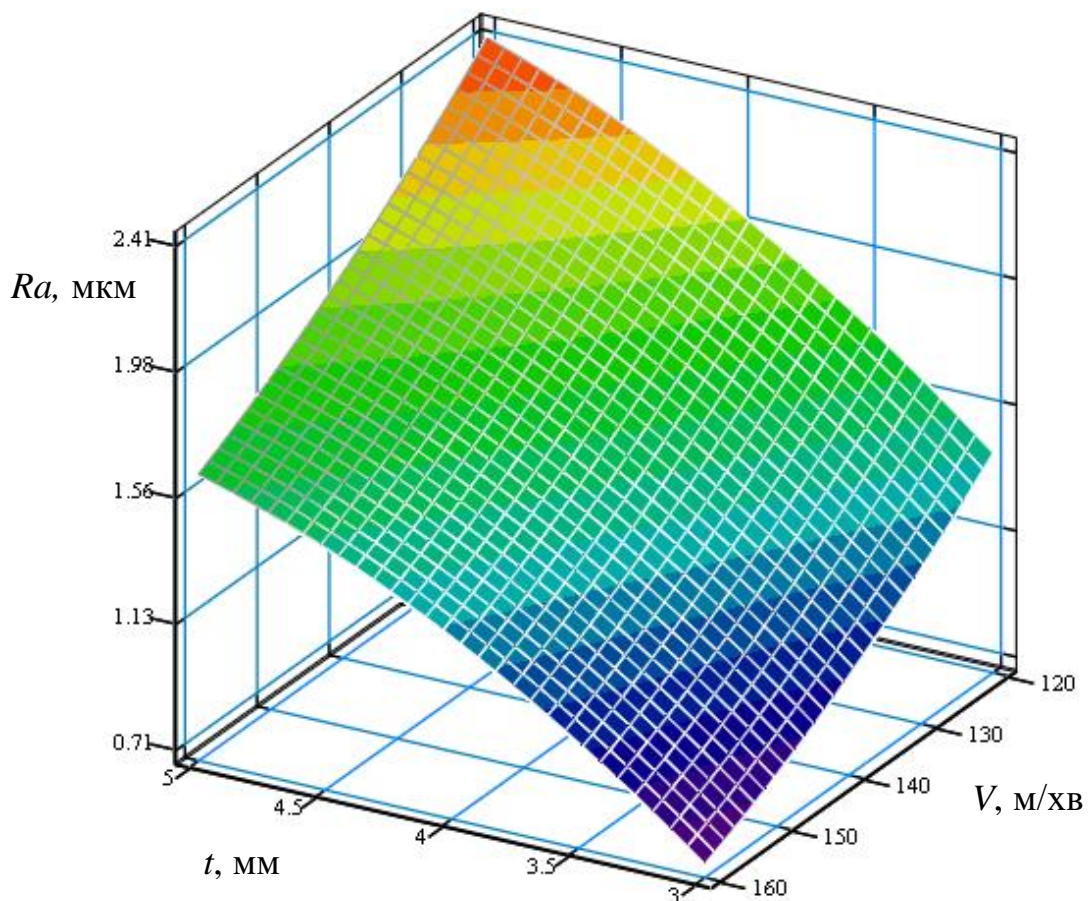
де  $x_1$  - кодоване значення глибини різання  $t$ ;  $x_2$  - кодоване значення подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя;  $x_3$  - кодоване значення швидкості нарізання канавки  $V$ .

Усі коефіцієнти рівняння регресії (2.19) є значущими.

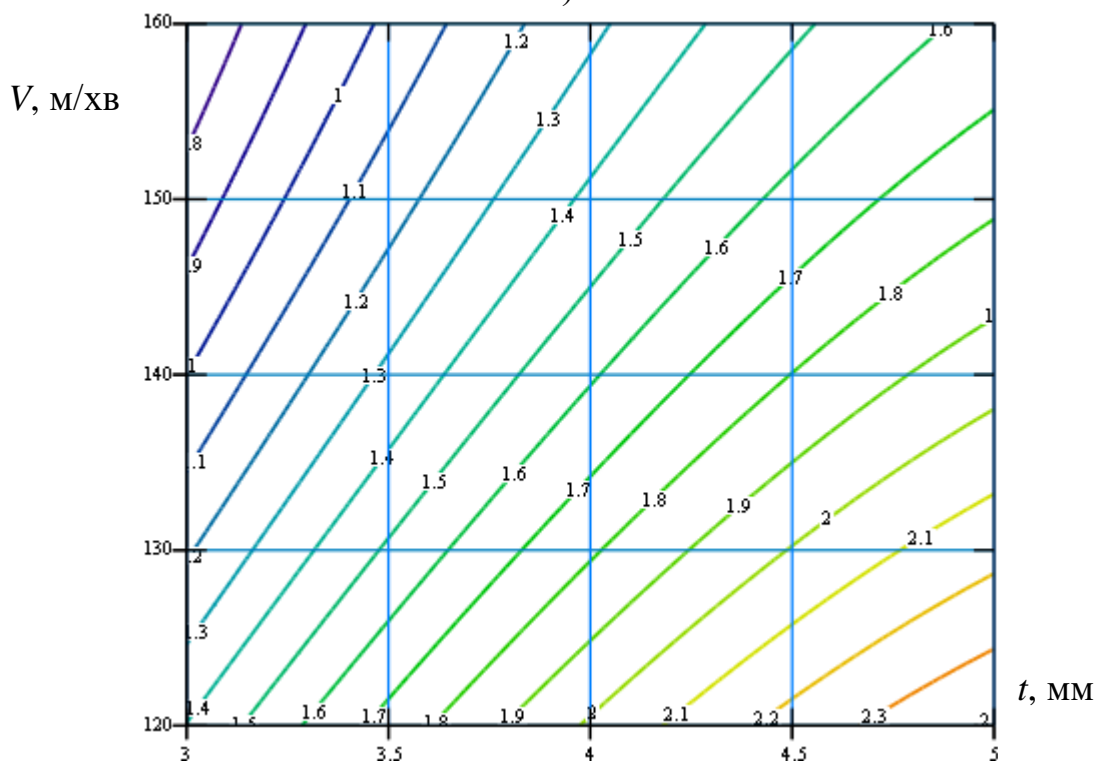
У натуральних величинах рівняння регресії шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом має вигляд:

$$Ra_{(t, S, V)} = 2,212 + 1,488t + 5,568S - 0,054V + 0,0312tS - 0,00105tV - (2.20) \\ - 0,00156SV - 0,108t^2 - 11,25S^2 + 1,425 \cdot 10^{-4}V^2.$$

На основі даних експериментальних досліджень та рівняння регресії (2.20) за допомогою прикладного програмного забезпечення виконано креслення поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів, що можна використовувати для прогнозування шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом. Графіки зображено на рисунках 2.10 – 2.15.

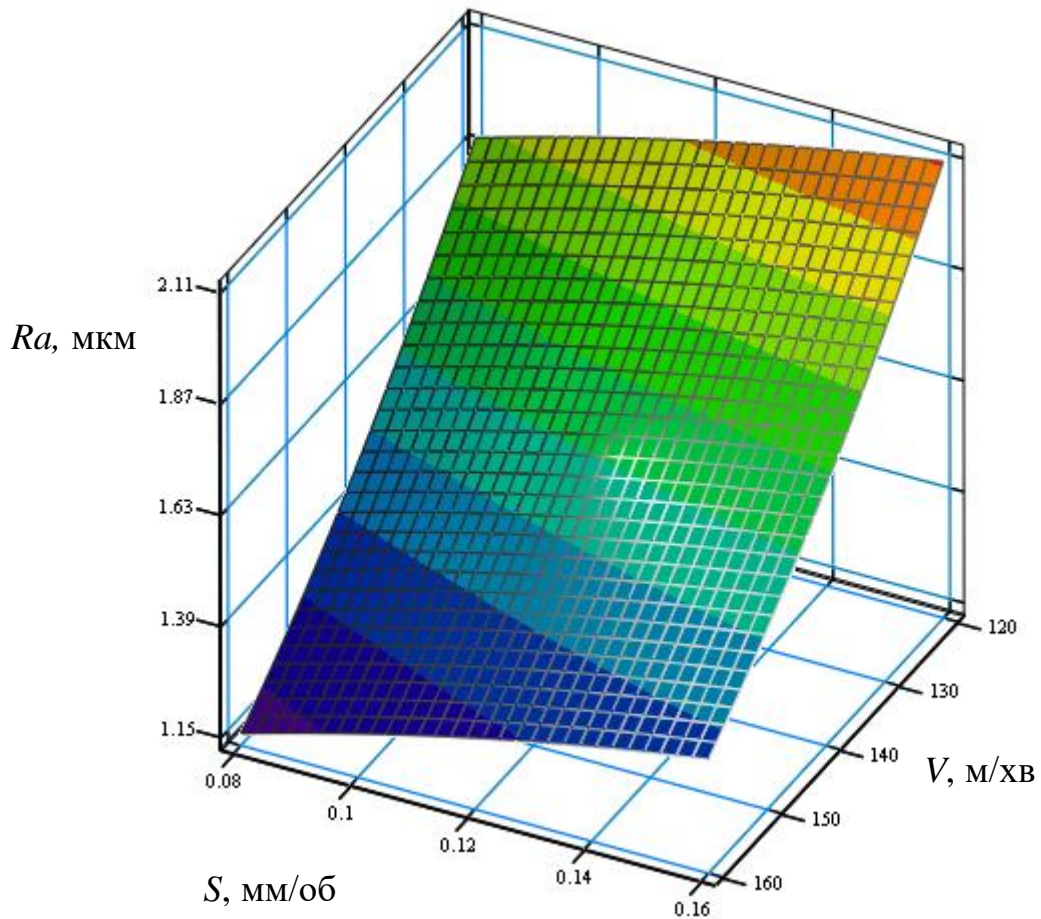


a)

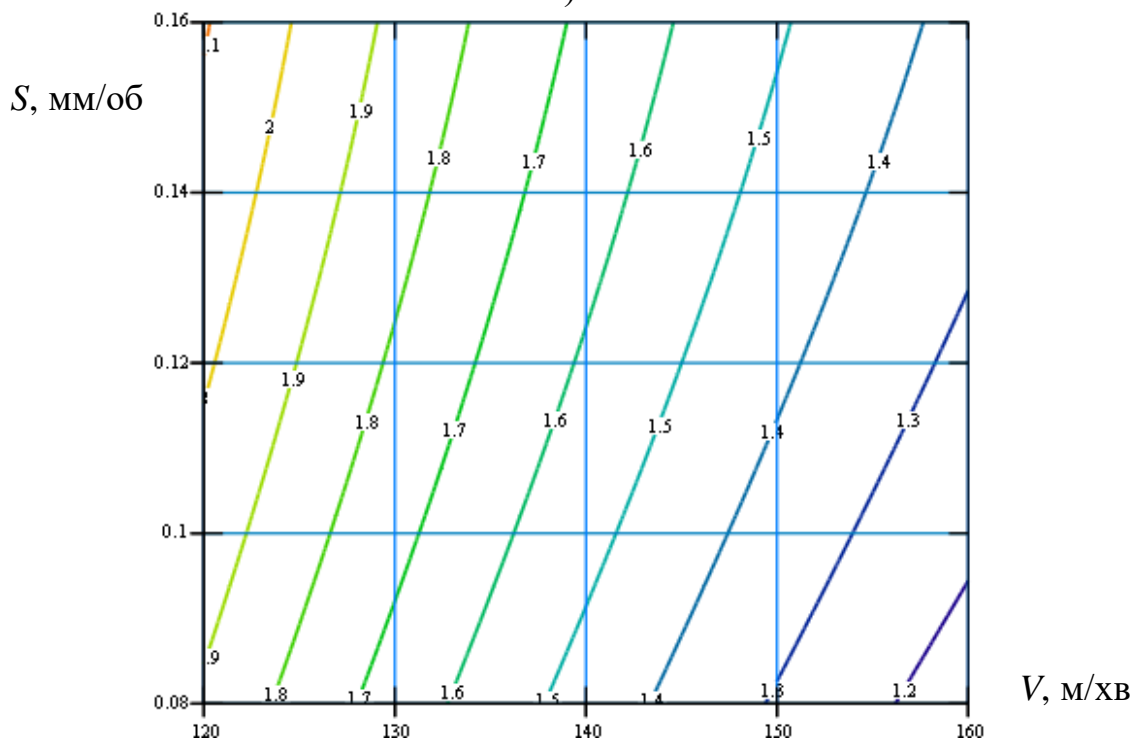


б)

Рисунок 2.10 - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом від глибини різання  $t$  та швидкості нарізання канавки  $V$  ( $S=0,12$   $\text{мм}/\text{об}$ )

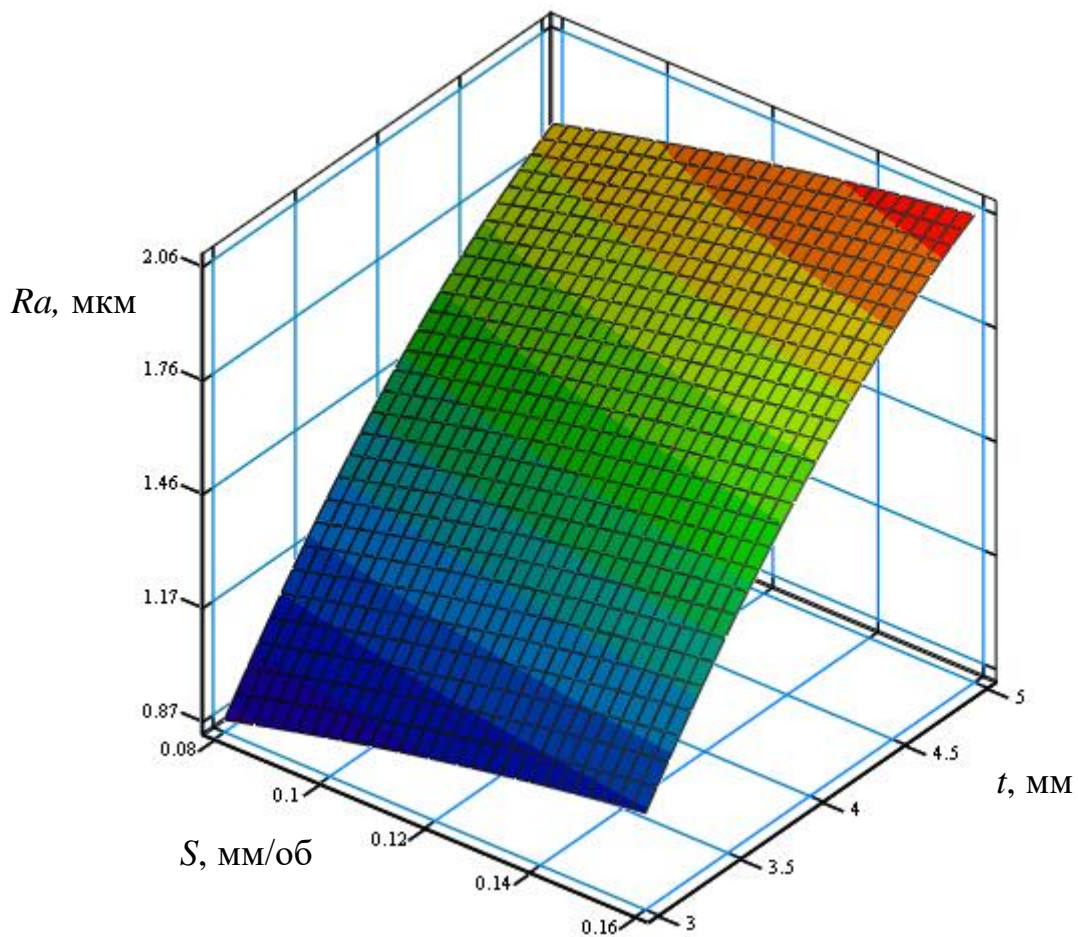


а)

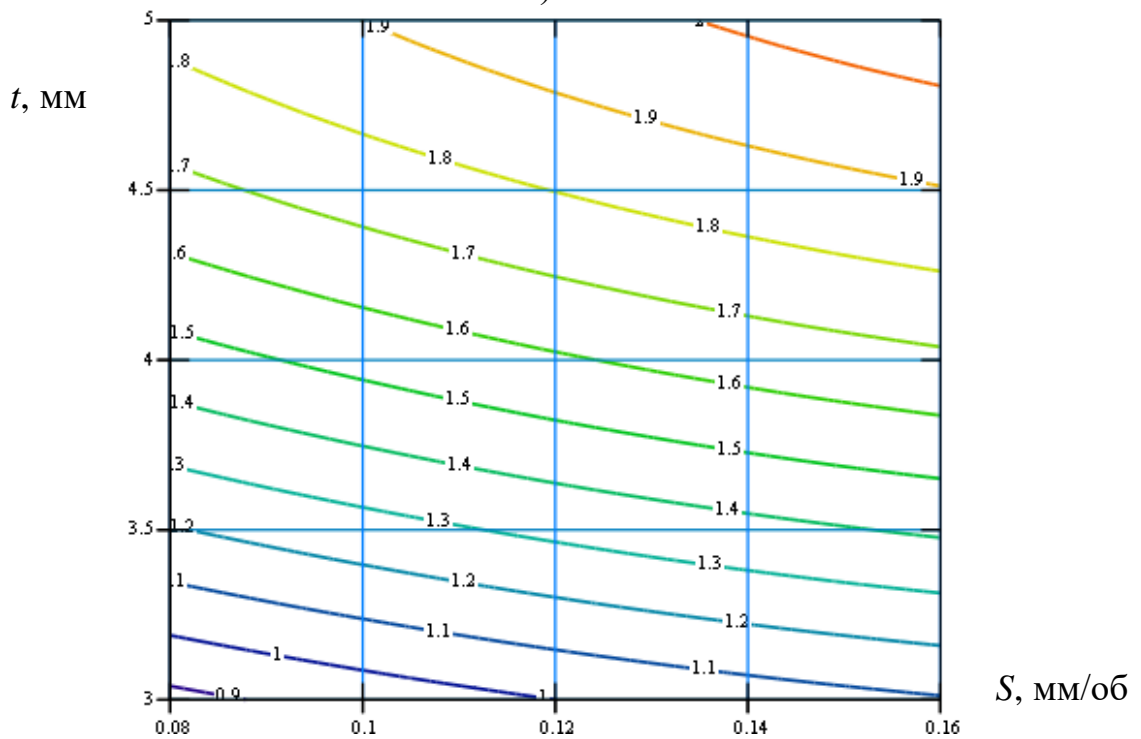


б)

Рисунок 2.11 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом від подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя та швидкості нарізання канавки  $V$  ( $S=0,12$  мм/об)



а)



б)

Рисунок 2.12 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом від глибини різання  $t$  та подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя ( $V=140$  м/хв)



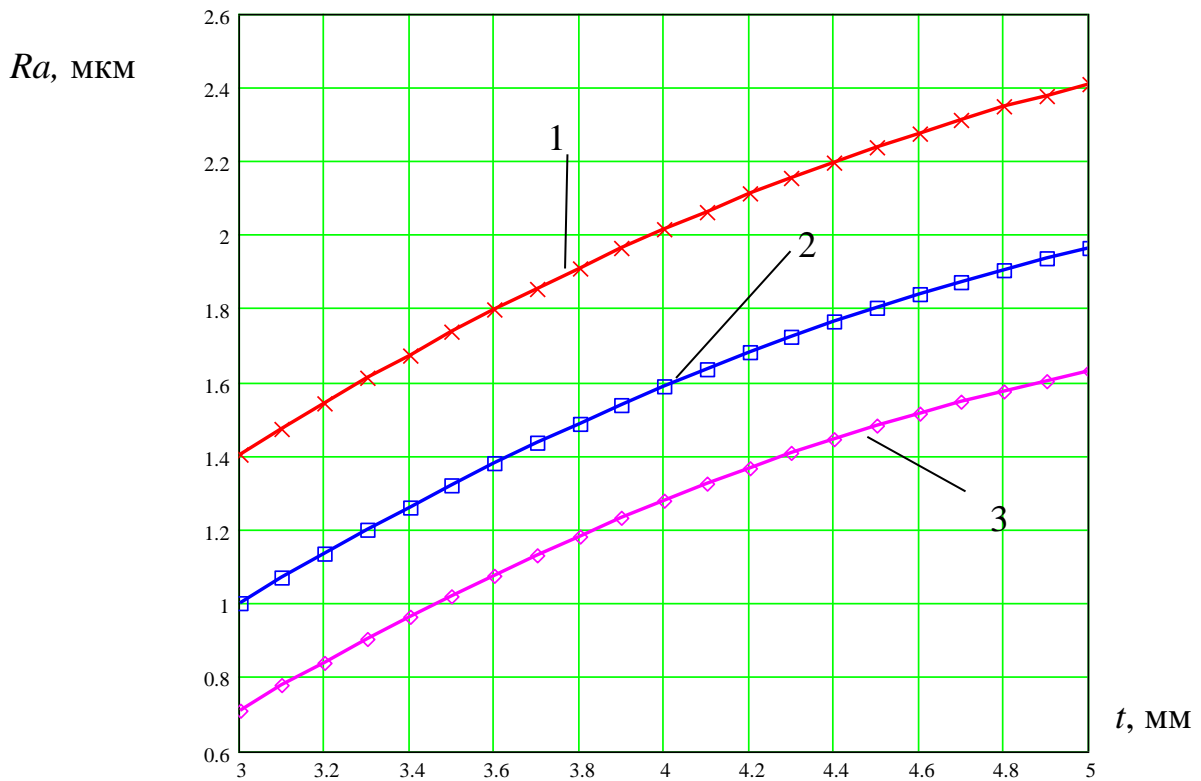


Рисунок 2.13 – Графіки залежності шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом від глибини різання  $t$ :  $S=0,12$  мм/об: 1)  $V=120$  м/хв; 2)  $V=140$  м/хв; 3)  $V=160$  м/хв

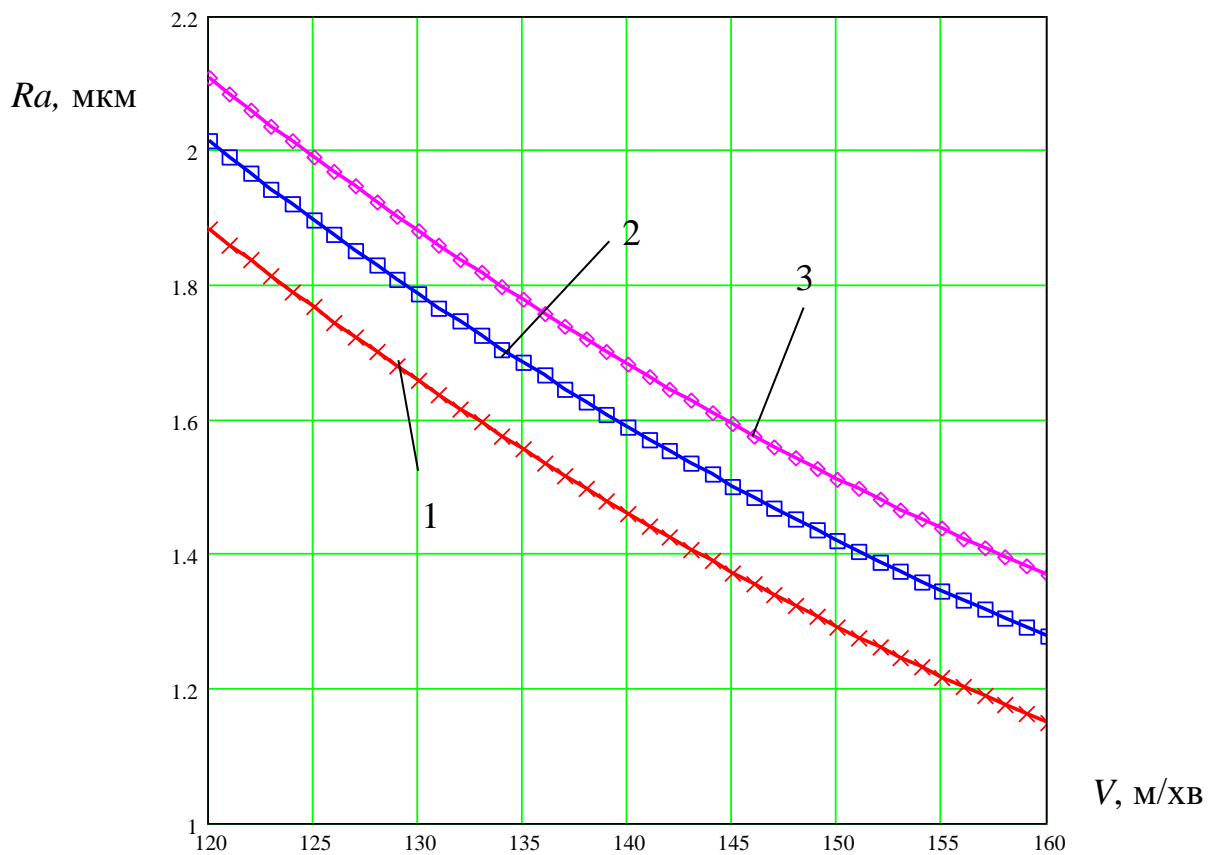


Рисунок 2.14 – Графіки залежності шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом від швидкості нарізання канавки  $V$ :  $t=4$  мм: 1)  $S=0,08$  мм/об; 2)  $S=0,12$  мм/об; 3)  $S=0,16$  мм/об

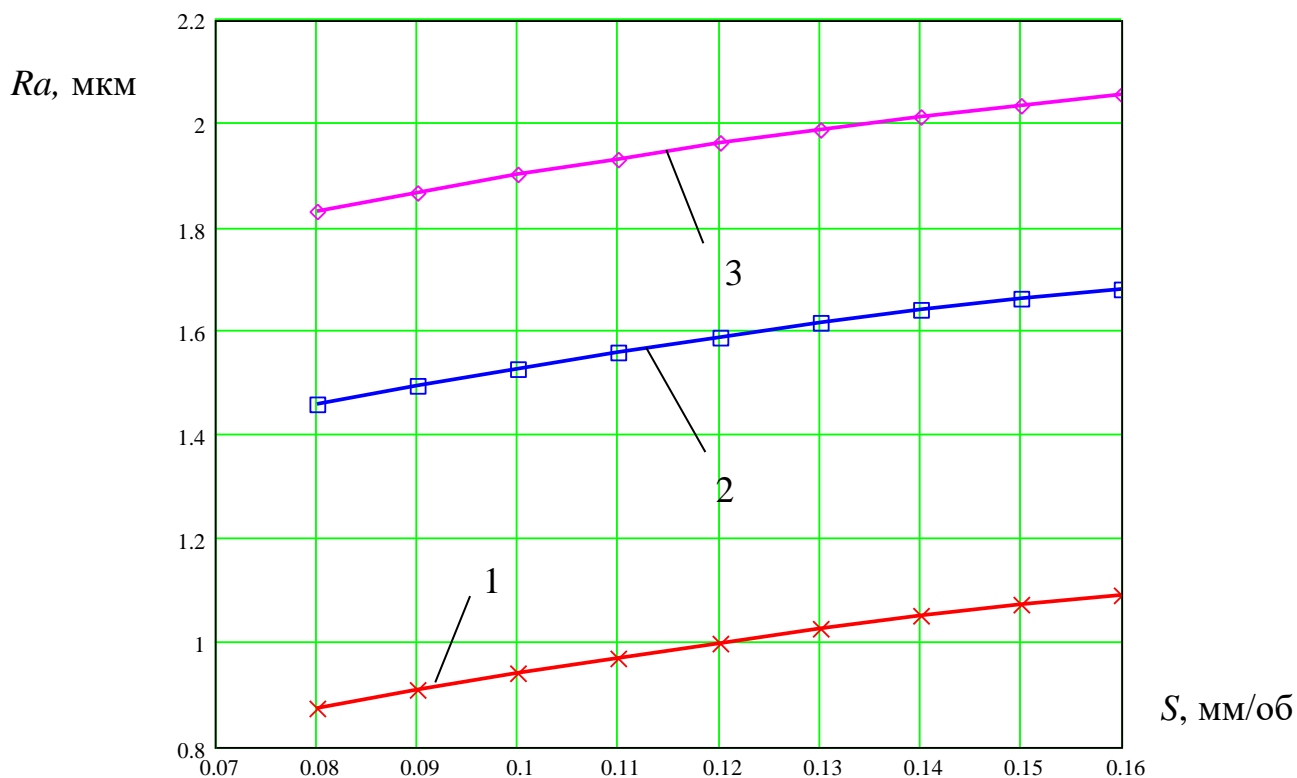


Рисунок 2.15 – Графіки залежності шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом від подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя,  $V=140$  м/хв:

1)  $t=3$  мм; 2)  $t=4$  мм; 3)  $t=5$  мм

Рівняння регресії у кодovаних (2.19) та натуральних (2.20) величинах адекватно відображають шорсткість  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом при таких параметрах:

$$3 \leq t \leq 5 \text{ (мм)}; 0,08 \leq S \leq 0,16 \text{ (мм/об)}; 120 \leq V \leq 160 \text{ (м/хв)}.$$

В результаті аналізу представлених вище графіків встановлено, що найбільший вплив на шорсткість  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом має глибина різання  $t$ . Менший вплив має швидкість нарізання канавки  $V$  і найменший - подача  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя. При збільшенні глибини різання  $t$ , подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя шорсткість  $Ra$  торцевої поверхні канавки зростає, а при збільшенні швидкості нарізання канавки  $V$  – спадає.

Максимальне значення шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після



нарізання спеціальним інструментом становить 2,48 мкм, а мінімальне – 0,6 мкм. Збільшення глибини різання  $t$  від 3 мм до 5 мм призводить до зростання шорсткості торцевої поверхні канавки в 1,79 рази. Збільшення подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя від 0,08 мм/об до 0,16 мм/об призводить до зростання шорсткості торцевої поверхні канавки в 1,17 рази, а збільшення швидкості нарізання канавки  $V$  від 120 мм до 160 м/хв призводить до зменшення шорсткості торцевої поверхні канавки в 2,1 рази.

### **2.3. Висновки**

У розділі проведено дослідження динаміки нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом. Представлено схема процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями. Дослідження деформацій та динамічних навантажень на конструктивні елементи процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями з достатньою для інженерних розрахунків точністю проведено на основі виведення системи диференціальних рівнянь, що визначають вплив зовнішніх навантажень на деформації елементів системи та їх розв'язку чисельними методами.

Для розв'язку системи диференціальних рівнянь з нульовими початковими умовами використано прикладне програмне забезпечення, що має підпрограму чисельного методу Рунге-Кутта. Розв'язок представлено у вигляді графіків зміни: лінійної деформації та швидкості деформації радіусного різця для нарізання торцевої канавки в напрямку осі  $y$  в часі, динамічних навантажень на радіусний різець в часі; кутової деформації та швидкості деформації картриджа, на якому закріплені радіусні різці в часі; кутової деформації та швидкості деформації оправки в часі.

Встановлено, що найбільші динамічні навантаження, деформації та швидкості деформацій радіусних різців для нарізання торцевої канавки, картриджа, на якому закріплені радіусні різці, та оправки виникають в моменти

врізання радіусного різця у заготовку, зокрема спостерігались стрибки величин в момент удару та досягнення максимальної глибини різання радіусного різця з наступною стабілізацією досліджуваних величин при усталеному процесі різання з постійною силою різання.

В момент удару лінійна деформація радіусного різця для нарізання торцевої канавки в напрямку осі  $u$  становила 0,025 мм, в момент досягнення максимальної глибини різання - 0,035 мм із стабілізацією на величині 0,025 мм, при цьому максимальна швидкість деформації становила 3 мм/с. В момент удару динамічне навантаження на радіусний різець становило 790 Н, в момент досягнення максимальної глибини різання - 1100 Н із стабілізацією на величині 800 Н.

В момент удару кут деформації картриджа, на якому закріплені радіусні різці становив 0,0084 град, в момент досягнення максимальної глибини різання - 0,008 град із стабілізацією на величині 0,0052 град, при цьому максимальна швидкість деформації становила 0,7 град/с.

В момент удару кут деформації оправки становив 0,005 град, в момент досягнення максимальної глибини різання - 0,0082 град із стабілізацією на величині 0,004 град, при цьому максимальна швидкість деформації становила 0,7 град/с.

Представлено результати експериментальних досліджень шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом. Визначено, що найбільший вплив на шорсткість  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом має глибина різання  $t$ . Менший вплив має швидкість нарізання канавки  $V$  і найменший - подача  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя. При збільшенні глибини різання  $t$ , подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя шорсткість  $Ra$  торцевої поверхні канавки зростає, а при збільшенні швидкості нарізання канавки  $V$  – спадає.

Максимальне значення шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після

нарізання спеціальним інструментом становить 2,48 мкм, а мінімальне – 0,6 мкм. Збільшення глибини різання  $t$  від 3 мм до 5 мм призводить до зростання шорсткості торцевої поверхні канавки в 1,79 рази. Збільшення подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя від 0,08 мм/об до 0,16 мм/об призводить до зростання шорсткості торцевої поверхні канавки в 1,17 рази, а збільшення швидкості нарізання канавки  $V$  від 120 м до 160 м/хв призводить до зменшення шорсткості торцевої поверхні канавки в 2,1 рази.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Корпус” 737140.052 застосовується у промислових світильниках для взаємного розміщення та захисту робочих елементів.

Основними поверхнями деталі є: внутрішня циліндрична поверхня  $\varnothing 200\text{H}9^{(+0,115)}$ ; Ra2,5, торцева поверхня  $\varnothing 238\text{H}14^{(+1,15)}$  Ra12,8 та канавка  $\varnothing 214\text{H}14^{(+1,15)}$  шириною 6H14 Ra2,5, що призначені для кріплення оптичної системи світильника; внутрішня циліндрична поверхня  $\varnothing 25\text{H}14^{(+0,052)}$ , Ra12,8 є посадочною поверхнею під сальник вводу; три різеві отвори М4-7Н Ra 6,7 для кріплення корпусу до оптичної системи гвинтами, чотири різеві отвори М4-7Н Ra 6,7 для кріплення електричних панелей всередині корпусу; два різеві отвори М6-7Н Ra6,7 для кріплення сальника, два різеві отвори М6-7Н Ra6,7 для загвинчування гвинтів заземлення, два різеві отвори М8-7Н Ra6,7 для кріплення скоби. Один різевий отвір М22×1,5 Ra6,7 призначений для кріплення сальника. Шорсткість обробки поверхонь є невисокою.

Аналіз технічних вимог представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз технічних вимог

Номер поверхні	Назва поверхні	Квалітет	Шорсткість
1	2	3	4
1	Торцева поверхня 196,2; $\varnothing 238\text{H}14^{(+1,15)}$	14	Ra12,8
2	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 200\text{H}9^{(+0,115)}$	9	Ra3,2
3	Внутрішня циліндрична канавка b=6; $4\pm 0,6$ $\varnothing 214$	14	Ra12,8
4	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 25\text{H}14^{(+0,052)}$	14	Ra12,8
5	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 41$	не обробляється	Rz50

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
6	Торцева поверхня $\varnothing 46$	не обробляється	Rz50
7...9	Різьбові отвори М4-7Н; $45^{\circ} \pm 10'$	7 ступінь точності	Ra 6,7
10...11	Різьбові отвори М4-7Н; $45^{\circ} \pm 10'$	7 ступінь точності	Ra 6,7
12...13	Різьбові отвори М4-7Н; $45^{\circ} \pm 10'$	7 ступінь точності	Ra 6,7
14...16	Різьбові отвори М4-7Н; $45^{\circ} \pm 10'$	7 ступінь точності	Ra 6,7
17	Різьбовий отвір М6-7Н; $45^{\circ} \pm 10'$	7 ступінь точності	Ra 6,7
18...19	Різьбові отвори М6-7Н; $45^{\circ} \pm 10'$	7 ступінь точності	Ra 6,7
20...21	Різьбові отвори М4-7Н; $45^{\circ} \pm 10'$	7 ступінь точності	Ra 6,7
22	Різьбовий отвір М6-7Н; $45^{\circ} \pm 10'$	7 ступінь точності	Ra 6,7
23...24	Різьбові отвори М8-7Н; $45^{\circ} \pm 10'$	7 ступінь точності	Ra 6,7
25	Різьбовий отвір М22×1,5-7Н; $45^{\circ} \pm 10'$	7 ступінь точності	Ra 6,7
26	Отвір $\varnothing 5H14$	14	Ra12,8

### 3.2. Вибір способу одержання заготовки

Деталь “Корпус” 737140.052 формується методами литва із сплаву АК12, що має підвищену рідкотекучість і здатний заповнювати тонкостінні елементи.

Тому запропоновано такі способи одержання заготовки:

- 1) литво у піщані форми підвищеної точності;
- 2) литво під тиском.

Для розрахунку маси заготовки використано формулу:

$$Q = q + m_{\text{пр}}, \quad (3.1)$$

$q = 1,5$  кг – маса деталі;

$$m_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \cdot \rho. \quad (3.2)$$

Для розрахунку припусків заготовки використано узагальнені в результаті аналізу дані із таблиці 3.2.

Ескізи запропонованих варіантів литих заготовок представлено на рис. 3.1, 3.2.

Таблиця 3.2 – Припуски деталі “Корпус” 737140.052

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) литво у піщані форми підвищеної точності				
Торцева поверхня 196,2±0,5	Ra12,8	6,4	7	203,2±3,2
Внутрішня циліндрична поверхня Ø 200H9(+0,115)	Ra3,2	6,4	7,0 × 2 = 14,0	Ø193±3,2
Внутрішня циліндрична поверхня Ø 25H14(+0,052)	Ra12,8	3,6	4,6 × 2 = 9,2	Ø15,8±1,8
Різьбовий отвір M22×1,5-7H; 45°±10'	Ra6,7	3,6	4,6 × 2 = 9,2	Ø11,8±1,8
Зовнішня циліндрична поверхня Ø46	Rz400	4	–	Ø46±2
Зовнішня циліндрична поверхня Ø238	Rz400	7	–	Ø238±3,5
Внутрішня циліндрична поверхня Ø41	Rz400	4	–	Ø41±2
Внутрішня циліндрична поверхня Ø169	Rz400	5,6	–	Ø169±2,8
Внутрішня циліндрична поверхня Ø90,5	Rz400	4,4	–	Ø90,5±2,2
Внутрішня циліндрична поверхня Ø174	Rz400	5,6	–	Ø174±2,8

Закінчення таблиці 3.2

1	2	3	4	5
Торцева поверхня 19	Rz400	3,2	-	26±1,6
Торцева поверхня 70	Rz400	4,4	-	70±2,2
2) литво під тиском				
Торцева поверхня 196,2±0,5	Ra12,8	1,4	2	198,2±0,7
Внутрішня циліндрична поверхня Ø200H9(+0,115)	Ra3,2	1,4	2 × 2 = 4,0	Ø196±0,7
Внутрішня циліндрична поверхня Ø25H14(+0,052)	Ra12,8	0,8	1,4 × 2 = 2,8	Ø22,2±0,4
Різьбовий отвір M22×1,5- 7H; 45°±10'	Ra6,7	0,8	1,4 × 2 = 2,8	Ø18,2±0,4
Зовнішня циліндрична поверхня Ø46	Rz50	1	–	Ø46±0,5
Зовнішня циліндрична поверхня Ø238	Rz50	1,4	–	Ø238±0,7
Внутрішня циліндрична поверхня Ø41	Rz50	1	–	Ø41±0,5
Внутрішня циліндрична поверхня Ø169	Rz50	1,4	–	Ø169±0,7
Внутрішня циліндрична поверхня Ø90,5	Rz50	1,1	–	Ø169±0,55
Внутрішня циліндрична поверхня Ø174	Rz50	1,4	–	Ø174±0,7
Торцева поверхня 70	Rz50	1,2	-	70±0,6

Визначаємо об'єми припусків запропонованих варіантів литих заготовок:

- литво у піщані форми підвищеної точності:

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (203,2^2 - 196^2) \cdot 7}{4} = 15793,57 \text{ мм}^3 = 15,79 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (200^2 - 193^2) \cdot 19}{4} = 41031,17 \text{ мм}^3 = 41,03 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (25^2 - 15,8^2) \cdot 3}{4} = 883,97 \text{ мм}^3 = 0,89 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (22^2 - 11,8^2) \cdot 5}{4} = 1353,18 \text{ мм}^3 = 1,35 \text{ см}^3.$$

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

$$V_{\text{пр}} = 15,79 + 41,03 + 0,89 + 1,35 = 59,06 \text{ см}^3.$$

- ЛИТВО ПІД ТИСКОМ

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (198,2^2 - 196,2^2) \cdot 2}{4} = 1238,42 \text{ мм}^3 = 1,24 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (200^2 - 196^2) \cdot 19}{4} = 23625,36 \text{ мм}^3 = 23,63 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (25^2 - 22,2^2) \cdot 3}{4} = 311,24 \text{ мм}^3 = 0,31 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (21^2 - 18,2^2) \cdot 5}{4} = 430,8 \text{ мм}^3 = 0,43 \text{ см}^3.$$

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

$$V_{\text{пр}} = 1,24 + 23,63 + 0,31 + 0,43 = 25,61 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

– литво у піщані форми підвищеної точності:

$$m_{\text{пр1}} = 59,06 \cdot 2,6 = 153,55 \text{ г} = 0,153 \text{ кг}.$$

– литво під тиском:



$$m_{\text{пр2}} = 25,61 \cdot 2,6 = 66,59 \text{ г} = 0,067 \text{ кг.}$$

Визначаємо маси заготовок:

– литво у піщані форми підвищеної точності:

$$Q_1 = 1,5 + 0,153 + 0,1 = 1,753 \text{ кг.}$$

– литво під тиском:

$$Q_2 = 1,5 + 0,067 + 0,1 = 1,667 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.3)$$

– литво у піщані форми підвищеної точності:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{1,5}{1,753} = 0,86.$$

– литво під тиском:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{1,5}{1,667} = 0,90.$$

В результаті аналізу двох варіантів виготовлення заготовки деталі “Корпус” 737140.052 для розроблення технологічного процесу в умовах крупносерійного типу виробництва вибрано литво під тиском.

### 3.3. Формування технологічного процесу

Після вибору і розрахунку параметрів заготовки здійснено проектування технологічного процесу механічної обробки деталі “Корпус” 737140.052 з аналізом двох варіантів.

В проектному варіанті пропонується операції 010-065 та 075-125 вертикально-свердлильні та різенарізні, що виконуються універсальному обладнанні замінити на обробку на агрегатних верстатах.

#### 005 Токарно-револьверна

1. Підрізати попередньо торець 1, витримуючи розмір  $\varnothing 196,5 \pm 0,575$ .
2. Підрізати остаточно торець 1, витримуючи розмір  $\varnothing 196,2 \pm 0,575$
3. Розточити попередньо внутрішню поверхню 2, витримуючи розмір  $\varnothing 199,9^{+0,32}$ ; підрізати внутрішній торець, витримуючи розмір  $19 \pm 0,5$  послідовно.
4. Розточити остаточно внутрішню поверхню 2, витримуючи розмір  $\varnothing 200^{+0,115}$ ; підрізати внутрішній торець, витримуючи розмір  $19 \pm 0,5$  послідовно.
5. Розточити остаточно внутрішню канавку 3 на токарно-револьверному верстаті, витримуючи розмір  $\varnothing 214^{+1,15}$ ,  $b=6$ .

#### 010 Агрегатна

1. Центрувати одночасно отвори 14, 15, 16, 17, 20, 21 з утворенням фасок на операційній станції 1 з горизонтальної силової головки в розміри  $3 \times 45^\circ$ ,  $4 \times 45^\circ$  та розсвердлити отвір 4 з вертикальної силової головки в розмір  $\varnothing 25H14(^{+0,052})$ .
2. Свердлити одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 14, 15 16 з горизонтальної силової головки витримуючи розміри  $\varnothing 3,3^{+0,16}$ ;  $l=18H16$  та  $\varnothing 3,3^{+0,16}$ ;  $l=12H16$ .
3. Свердлити одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 17, 20, 21 з горизонтальної силової головки та свердлити одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 18, 19 комбінованим інструментом з формуванням фаски з вертикальної силової

головки, витримуючи розміри  $\varnothing 4,95^{+0,26}$ ;  $l=18H16$ .

4. Нарізати одночасно різь в отворах 14, 15, 16 за допомогою багатошпindelної насадки з горизонтальної силової головки, витримуючи розміри M4-7H,  $l=8\text{min}$ .

5. Нарізати одночасно різь в отворах 17, 20, 21 за допомогою багатошпindelної насадки з горизонтальної силової головки та нарізати одночасно різь в отворах 18, 19 з вертикальної силової головки, витримуючи розміри M6-7H,  $l=14\text{min}$ .

#### 015 Агрегатна

1. Зацентрувати одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 з утворенням фасок на операційній станції 1 з вертикальної силової головки та зацентрувати одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 22, 23, 24 з утворенням фасок з горизонтальної силової головки в розміри  $2,5 \times 45^\circ$ ,  $3 \times 45^\circ$ ,  $4 \times 45^\circ$ .

2. Свердлити одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 з вертикальної силової головки та свердлити одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 22, 23, 24 з горизонтальної силової головки, витримуючи розміри  $\varnothing 3,3^{+0,16}$ ;  $l=11H16$ ,  $\varnothing 3,3^{+0,16}$ ;  $l=12H16$ ,  $\varnothing 3,3^{+0,16}$ ;  $l=17H16$ ,  $\varnothing 4,95^{+0,26}$ ;  $l=12H16$ ,  $\varnothing 6,7^{+0,36}$ ;  $l=17H16$ .

3. Розсвердлити по кондуктору отвір 25 комбінованим інструментом з формуванням фаски з вертикальної силової головки, витримуючи розміри  $\varnothing 20,4^{+0,52}$ ,  $1 \times 45^\circ$ .

4. Нарізати різь в отворі 25 з вертикальної силової головки витримуючи розмір M22 $\times$ 1,5-7H.

5. Нарізати одночасно різь в отворах 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 за допомогою багатошпindelної насадки з вертикальної силової головки та нарізати одночасно різь в отворах 22, 23, 24 з горизонтальної силової головки, витримуючи розміри M4-7H,  $l=8\text{min}$ ; M4-7H,  $l=12\text{min}$ ; M6-7H,  $l=8\text{min}$ ; M8-7H,

l=12min.

020 Вертикально-свердлильна

Свердлити отвір, витримуючи розміри  $\varnothing 5^{+0,3}$ ; l=3 наскрізь.

Операція 025 Контроль.

### 3.4. Визначення припусків на оброблення

Результати оформлено у вигляді таблиці 3.4.

Габаритні розміри заготовки:  $198,2 \pm 0,7 \times \varnothing 238 \pm 0,7$ .

Схема розташування припусків та допусків для поверхні  $\varnothing 200H9^{(+0,115)}$  представлена на рис. 3.3.

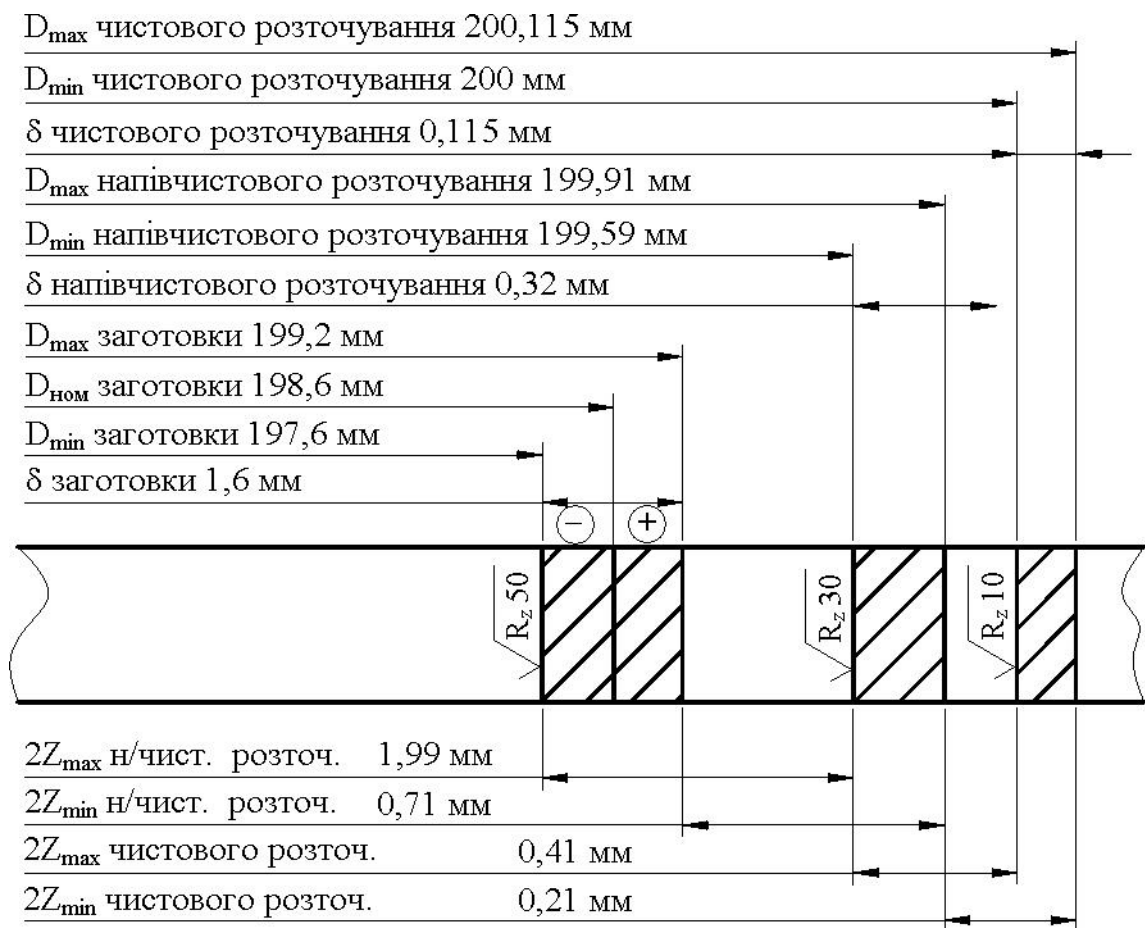


Рисунок 3.3 – Схема розташування припусків та допусків для поверхні  $\varnothing 200H9^{(+0,115)}$

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски деталі “Корпус” 737140.052

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (клас точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Торцева поверхня 196,2					
Напівчистове точіння	14	Ra12,8	1,115	0,3	Ø196,2±0,575
Чорнове точіння	14	Ra25	1,115	1,7	Ø196,5±0,575
Заготовка	7 кл.	R <sub>z</sub> 50	1,4		Ø198,2±0,7
Внутрішня циліндрична поверхня Ø25H14 <sup>(+0,052)</sup>					
Розсвердлювання	14	Ra12,8	0,8	1,4 × 2 = 2,8	Ø25 <sup>(+0,052)</sup>
Заготовка	7 кл.	R <sub>z</sub> 50	0,8		Ø22,2±0,4
Різьбовий отвір M22×1,5-7H; 45°±10'					
Розсвердлювання	7 кл.	Ra6,7	-	1,4 × 2 = 2,8	Ø20,4
Заготовка	7 кл.	R <sub>z</sub> 50	0,8		Ø18,2±0,4

### 3.5. Визначення режимів різання

Результати розрахунку режимів різання деталі “Корпус” 737140.052 подано у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Режими різання технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 737140.052

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T <sub>м</sub> , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S <sub>м</sub> , мм/хв	T <sub>о</sub> , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>005 Токарно-револьверна</b>										
Перехід 2 Підрізати попередньо торець 1, витримуючи розмір $\varnothing 196,5 \pm 0,575$	1,7	28	1	66	0,77	301	224,2	–	0,12	2,9
Перехід 3. Підрізати остаточно торець 1, витримуючи розмір $\varnothing 196,2 \pm 0,575$	0,3	28	1	66	0,77	301	224,2	–	0,12	1,9
Перехід 4 Розточити попередньо внутрішню поверхню 2, витримуючи розмір $\varnothing 199,9^{+0,32}$ ; підрізати внутрішній торець, витримуючи розмір $19 \pm 0,5$ послідовно	0,75	25	1	66	0,4	457	302	–	0,08	2,4
Перехід 5 Розточити остаточно внутрішню поверхню 2, витримуючи розмір $\varnothing 200^{+0,115}$ ;	0,18	25	1	66	0,08	1001	601	–	0,31	0,7

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 6										
Розточити остаточно внутрішню канавку 3 на токарно-револьверному верстаті, витримуючи розмір $\varnothing 214^{+1,15}$ , $b=6$	6	9	1	66	0,1	301	231	-	0,07	2,3
010 Агрегатна										
Перехід 2 Центрувати одночасно отвори 14, 15, 16, 17, 20, 21 з утворенням фасок на операційній станції 1 з горизонтальної силової головки в розміри $3 \times 45^\circ$ , $4 \times 45^\circ$ та розсвердлити отвір 4 з вертикальної силової головки в розмір $\varnothing 25H14^{(+0,052)}$	3, 4, 1,4	6, 7, 7	3, 3, 1	21	0,083, 0,208	1254 534	267, 41,6	-	0,36	0,65 1,2
Перехід 3 Свердлити одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 14, 15 16 з горизонтальної силової головки витримуючи розміри $\varnothing 3,3^{+0,16}$ ; $l=18H16$ та $\varnothing 3,3^{+0,16}$ ; $l=12H16$	115	18	3	21	0,069	2037	428	-	0,3	0,32

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<p>Перехід 4</p> <p>Свердлити одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 17, 20, 21 з горизонтальної силової головки та свердлити одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 18, 19 комбінованим інструментом з формуванням фаски з вертикальної силової головки, витримуючи розміри <math>\varnothing 4,95^{+0,26}</math>; <math>l=18H16</math></p>	2,5	21	1	21	0,090	1557	24,21	–	0,28	0,39 0,34
<p>Перехід 5</p> <p>Нарізати одночасно різь в отворах 14, 15, 16 за допомогою багатошпindelної насадки з горизонтальної силової головки, витримуючи розміри M4-7H, <math>l=8\text{min}</math></p>	0,3	20	3	21	0,681 0,7	407	5,14	-	0,2	0,47
<p>Перехід 6</p> <p>Нарізати одночасно різь в отворах 17, 20, 21 за допомогою багатошпindelної насадки з горизонтальної силової головки та нарізати одночасно різь в отворах 18, 19 з вертикальної силової головки, витримуючи розміри M6-7H, <math>l=14\text{min}</math></p>	0,5	30, 21	3, 2	21	0,994, 1,0	307	5,77	-	0,3	0,7, 0,57



Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
015 Агрегатна										
<p>Перехід 2</p> <p>Центрувати одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 з утворенням фасок на операційній станції 1 з вертикальної силової головки та центрувати одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 22, 23, 24 з утворенням фасок з горизонтальної силової головки в розміри 2,5×45°, 3×45°, 4×45°,</p>	2,5 3, 4	7	7, 1, 2	21	0,083, 0,107	1549 1047	24,6 21,8	–	0,13	0,26, 0,29
<p>Перехід 3</p> <p>Свердлити одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 з вертикальної силової головки та свердлити одночасно по кондуктору за допомогою багатошпindelної насадки отвори 22, 23, 24 з горизонтальної силової головки, витримуючи розміри <math>\varnothing 3,3^{+0,16}</math>; l=11H16, <math>\varnothing 3,3^{+0,16}</math>; l=12H16, <math>\varnothing 3,3^{+0,16}</math>; l=17H16, <math>\varnothing 4,95^{+0,26}</math>; l=12H16, <math>\varnothing 6,7^{+0,36}</math>; l=17H16.</p>	1,15, 2,5, 3,35	18, 24	7, 1, 2	21	0,069 0,091	2037 1339	21,4, 29,4	-	0,3	0,3 0,43

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 4 Розсвердлити по кондуктору отвір 25 комбінованим інструментом з формуванням фаски з вертикальної силової головки, витримуючи розміри $\varnothing 20,4^{+0,52}$ , $1 \times 45^\circ$ .	1,7	32	1	21	0,174	618	39,7	-	0,42	0,95
Перехід 5 Нарізати різь в отворі 25 з вертикальної силової головки витримуючи розмір M22×1,5-7H	0,75	12	1	21	1,452 1,5	393	39,7	-	0,45	0,67
Перехід 6 Нарізати одночасно різь в отворах 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 за допомогою багатошпіндельної насадки з вертикальної силової головки та нарізати одночасно різь в отворах 22, 23, 24 з горизонтальної силової головки, витримуючи розміри M4-7H, l=8min; M4-7H, l=12min; M6-7H, l=8min; M8-7H, l=12min	0,35, 0,62, 0,5	14	7, 1, 2	21	0,681 0,7, 1,245 1,25, 0,994. 1,0	394 266 324	4,8 6,5 5,88	-	0,45	0,28
020 Вертикально-свердлильна										
Свердлити отвір, витримуючи розміри $\varnothing 5^{+0,3}$ ; l=3 наскрізь	2,5	6	1	21	0,1	451	7,1	-	0,25	0,25

Результати розрахунку технічних норм часу технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 737140.052 подано у таблиці 3.6 та на графіку завантаження обладнання (рис. 3.4).

Таблиця 3.6 – Норми часу на механічну обробку деталі “Корпус” 737140.052

Номер та назва операції	T <sub>о</sub> , хв	Час циклу н/автомата, T <sub>ц</sub> , хв	Час обслуговування, T <sub>об</sub> , хв		T <sub>відп.</sub> , хв	T <sub>шт.</sub> , хв
005 Токарно-револьверна	0,7	0,76	0,14	0,24	0,08	0,878
010 Агрегатна	1,44					0,66
015 Агрегатна	1,8					0,82
020 Вертикально-свердлильна	0,25					0,43

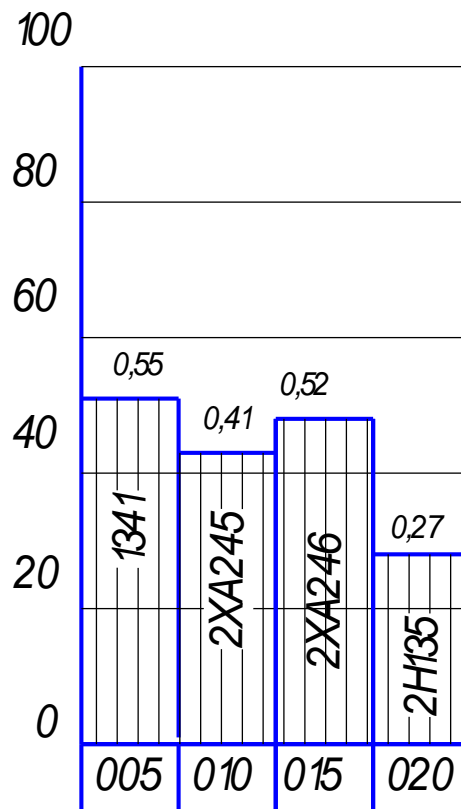


Рисунок 3.4 – Графік завантаження обладнання

### 3.6. Розрахунок пристосування

Для обробки деталі “Корпус” 737140.052 на 015 агрегатній операції розроблено спеціальний пристрій для базування та закріплення заготовки а також направлення кондукторів та багатопшпіндельних насадок агрегатного

верстата до оброблюваних поверхонь деталі. Базування заготовки здійснюється по зовнішньому торцю і циліндричній поверхні  $\varnothing 238H14$  на базі поз.10; орієнтація деталі виконується за рахунок бази поз. 8 по двох бобишках. Затиск заготовки виконується двома підпружиненими прихватами важільного типу по торцю заготовки. Креслення пристрою представлено у графічній частині кваліфікаційної роботи.

Похибку установки заготовки у пристрої визначено за відомою формулою [11]:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta \varepsilon_6^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{\text{пр}}^2} . \quad (3.4)$$

Похибка базування  $\Delta \varepsilon_6$  дорівнює величині зазору між заготовкою та базою 10. Оскільки база 10 припасовується до розмірів заготовки із зазором 0,1мм, то  $\Delta \varepsilon_6 = 0,1$ мм. Найбільший поперечний розмір корпуса дорівнює до 260 мм, тому похибка закріплення дорівнює  $\Delta \varepsilon_3 = 80$  мкм. Пристосування виготовлено, витримуючи точність до  $\Delta \varepsilon_{\text{пр}} = 0,02$  мм.

Отже, підставляючи дані у рівняння (3.4), одержуємо:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta \varepsilon_6^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{\text{пр}}^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,08^2 + 0,02^2} = 0,12 \text{мм}.$$

Визначення сили затиску заготовки проведено для нарізанні різі M22×1,5 на 015 агрегатній операції.

Розрахункова схема спеціального пристрою для базування та закріплення заготовки подана на рисунку 3.5.

Рівняння рівноваги моментів при затиску заготовки із коефіцієнтом запасу  $K$ :

$$P_{\text{зат1}} \cdot f_1 \cdot R + P_{\text{зат2}} \cdot f_1 \cdot R = K \cdot M_{\text{різ}} , \quad (3.7)$$

де  $R$  – радіус затиску заготовки,  $R = \frac{L}{2} = \frac{230}{2} = 115 \text{мм} = 0,115 \text{м}$ .

Момент різання [16]:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot P^y \cdot K_p, \quad (3.8)$$

де  $C_p = 0,0022$ ;  $q = 1,8$ ;  $y = 1,5$  ;

$D = 22$  мм;

$$K_p = K_{MP}, \quad K_{MP} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left( \frac{980}{750} \right)^{0,75} = 1,22.$$

Із формули (3.8) одержуємо:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0022 \cdot 22^{1,8} \cdot 1,5^{1,5} \cdot 1,22 = 12,88 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$K = 1,8, \quad f_1 = 0,2.$$

Оскільки сили затиску на двох прихватах є однаковими, то із рівняння (3.7) маємо  $2P_{зат} \cdot f_1 \cdot R = KM_{різ}$ .

Отже, необхідна сила затиску заготовки:

$$P_{зат} = \frac{K \cdot M_{різ}}{2 \cdot f_1 \cdot R} = \frac{2,5 \cdot 12,88}{2 \cdot 0,2 \cdot 0,115} = 700 \text{ Н}. \quad (3.9)$$

Сила затиску на одному прихваті:

$$P_{зат1} = P_{зат2} = \frac{Q}{2} = \frac{700}{2} = 350 \text{ Н}.$$

Сила штовхання на штоці пневмоциліндра [20]:

$$F_{шт.тяг.} = 0,785 \cdot (D_{ц}^2 - d_{шт}^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (3.10)$$

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

Сила затиску заготовки при дії пневмоциліндра:

$$W = \frac{F_{шт.тяг.}}{2 \operatorname{tg}(\beta + \varphi)} \cdot l_1 \cdot \eta. \quad (3.11)$$

Відповідно до розрахункової схеми рис. 3.5:  $l_1 = 127$  мм ;  $l_2 = 141$  мм,  
 $\varphi=11^\circ$ ;  $\beta=10^\circ$ .

Підставляючи дані у формулу (3.11), одержано:

$$W = \frac{2689,2}{2\text{tg}(10+11)} \frac{127}{141} \cdot 0,9 = 2839,5 \text{ Н.}$$

Оскільки  $W = 2839,5 \text{ Н} > P_{\text{зат}} = 700 \text{ Н}$ , то вимога надійного закріплення заготовки забезпечується.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1. Інструкція з охорони праці для обслуговуючого персоналу верстату, що проектується (модернізується)**

Для виготовлення деталі “Корпус” 737140.052 використовується спеціальний агрегатний верстат.

Робота на агрегатних верстатах відноситься до робіт з підвищеною небезпекою. Усім робітникам, які працюють на агрегатних верстатах, необхідно присвоїти II групу з електробезпеки. До самостійної роботи на агрегатному верстаті допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли:

- медичний огляд;
- інструктаж з основної спеціальності;
- інструктаж з цієї Інструкції.

Під час експлуатації агрегатного верстата необхідно користуватися інструкцією (паспортом) заводу-виробника.

Підключення (відключення) агрегатного верстата до електромережі, планово-попереджувальний ремонт повинен проводити електротехнічний працівник, що має III групу з електробезпеки.

Під час роботи на агрегатному верстаті робітник для захисту від дії стружки забезпечується захисними окулярами, а також спецодягом (без висячих кінців). Захисні окуляри повинні видаватися під розпис.

Металеві частини агрегатного верстата, що можуть опинитися під напругою у випадку пошкодження ізоляції, повинні бути заземленими. Заземлення здійснюється металевою шиною або спеціальною жилою живильного кабелю, що не може одночасно бути провідником робочого струму. Використовувати з цією метою нульовий робочий провід забороняється.

Під час введення в експлуатацію електрообладнання агрегатного верстата підлягає випробуванню (вимірювання опору ізоляції, наявності та параметрів кола заземлення тощо). Агрегатний верстат підлягає також періодичній перевірці в терміни, встановлені графіком планово-попереджувального

ремонту, затвердженого головним інженером та узгодженого головними спеціалістами підприємства.

Дані про проведені ремонти заносяться в паспорт верстата, а результати перевірок і випробувань електрообладнання верстата заносяться в журнал.

На верстаті повинна бути прикріплена табличка з інвентарним номером, даними про особу, відповідальну за її технічний стан, і вивішена інструкція з безпечної експлуатації верстата.

Перелік робітників, які мають право працювати на агрегатному верстаті, повинен бути затверджений начальником виробничого підрозділу та вивішеним на видному місці на виробничій ділянці.

Біля верстата на підлозі повинен бути дерев'яний трап на всю довжину робочої зони завширшки не менше 0,6 м, відстань між планками якого повинна бути не більше 30 мм.

Біля верстата повинна передбачатися площа, на якій розміщуються стелажі, тара, столи та інші пристосування для розміщення оснастки, матеріалів, заготовок, готових виробів і відходів виробництва.

Агрегатний верстат повинен бути захищеним від впливу зовнішнього середовища (атмосферних опадів) та розташовуватися у приміщенні згідно з вимогами до умов експлуатації, зазначеними в паспорті заводу-виробника.

Для зняття, установлення деталей або заготовок масою понад 20 кг необхідно використовувати вантажно-підймальний механізм, що обладнаний спеціальним пристроєм (захватом).

Забороняється використовувати під час роботи на агрегатному верстаті несправний інструмент або інструмент не за призначенням, а також працювати без інвентарного огороження частин, що обертаються, та знятих конструктивних елементів верстата.

Дозволяється працювати на агрегатному верстаті тільки тим робітникам, які пройшли відповідний інструктаж з питань охорони праці.



Під час встановлення свердл та інших різальних інструментів у шпindel верстата необхідно звертати особливу увагу на міцність їх закріплення і точність центрування.

Видалення стружки з просвердленого отвору дозволяється виконувати тільки після зупинення верстата і відведення інструмента.

Усі предмети, призначені для обробки, за виключенням особливо важких, повинні бути встановлені і закріплені на столі або плиті агрегатного верстата нерухомо за допомогою лещат, кондукторів або інших надійних пристроїв.

#### **4.2. Заходи щодо підвищення стійкості систем енергопостачання водопостачання підприємства**

Найбільш вразливими елементами систем енергопостачання є повітряні лінії електропередач, будівлі і споруди трансформаторних станцій та розподільчих пунктів [26]. У разі руйнування будівель можливими є обриви проводів у середині приміщень, що при збереженні кабельних мереж призведе до короткого замикання, а ті в свою чергу можуть призвести до пожеж. Для забезпечення надійного електропостачання в умовах надзвичайних ситуацій (НС) при його проектуванні і будівництві також повинні враховуватися вимоги цивільного захисту (ЦЗ). Електропостачання повинно здійснюватися від енергосистем, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива. Великі електростанції потрібно розміщувати на значних відстанях одна від одної і від великих міст поза зоною можливих руйнувань. Районні понижувальні станції, диспетчерські пункти та лінії електропередач необхідно розміщувати розосереджено і вони повинні бути надійно захищені.

Постачання об'єктів промисловості, що продовжують роботу під час НС мирного часу та в особливий період, потрібно передбачати від двох незалежних і територіально розмежованих джерел. При електропостачанні від одного джерела повинно бути не менш двох введів з різних напрямів. Це значно підвищить надійність електропостачання, оскільки одночасний вихід з ладу двох ліній подачі електроенергії (у разі кільцювання мережі) є менш імовірним.

Також доцільним є заміна повітряних ліній на підземні кабельні. Трансформаторні підстанції повинні бути надійно захищені і їх стійкість повинна бути не нижче за стійкість самого об'єкта. Електроенергію до дільниць виробництва потрібно подавати по незалежних електрокабелях, прокладених в землі на глибині 0,8...1,2 м. Для стійкого постачання об'єктів енергією необхідно створювати автономні резервні джерела електропостачання (пересувні ДЕС на залізничних або автомобільних платформах). Особливо це стосується забезпечення електроенергією цехів з безперервним технологічним циклом, водопровідних і каналізаційних станцій, котелень, медичних та інших закладів. Система електропостачання повинна бути надійно захищена від дії удару блискавки (грозового розряду) та електромагнітного імпульсу ядерного вибуху.

Нормальна робота більшості підприємств залежить від безперебійного постачання технічною і питною водою. Потреба промислових підприємств у воді досить висока. Так, для отримання 1 т хімічних волокон потрібно біля 2000 м<sup>3</sup> води. Порушення постачання промислових об'єктів водою може призвести до їх зупинки і викликати ускладнення в проведенні робіт щодо ліквідації наслідків НС. Для підвищення стійкості постачання об'єктів водою необхідно, щоб система водопостачання базувалася не менш ніж на двох незалежних джерелах води, одне з яких повинне бути підземним. На випадок виходу з ладу системи водопостачання створюється запас питної води на 3 доби з розрахунку 10 л на добу на одну людину. На об'єкті господарювання мережі водопостачання повинні бути за кільцьовані. Водопровідне кільце об'єкта треба підключати до двох різних міських магістралей, а також до підземних і відкритих джерел. Артезіанські свердловини, резервуари чистої води і шахтні колодязі повинні бути пристосовані для роздачі води в пересувну тару. Резервуари для зберігання і роздачі питної води повинні бути обладнані герметичними люками та системою вентиляції для очищення повітря від пилу, радіоактивних речовин (РР), крапельно-рідинних отруйних речовин (ОР) та пристроями для роздавання води у переносну тару. Стійкість мереж

водопостачання підвищується при заглибленні в ґрунт всіх ліній водопроводу і розміщенні пожежних гідрантів та вимикаючих пристроїв на території, яка не може бути завалена при руйнуванні будівель, а також при влаштуванні перемичок, що дозволяють відключати пошкоджені лінії і споруди. Стійкість роботи системи водопостачання полягає в тому, щоб за будь-яких умов забезпечити подачу необхідної кількості води навіть у разі руйнування її окремих елементів. З цією метою комунікації насосних станцій, головних, очисних та інших споруд обладнуються великою кількістю вимикаючих і перемикаючих пристроїв, що забезпечують подачу води насосами в будь-який напірний трубопровід, обминаючи пошкоджені споруди і трубопроводи. У разі пошкодження електромережі, що живить занурювальні і глибинні насоси в бурильних свердловинах, можуть застосовуватися ерліфти, виготовлені безпосередньо на підприємстві. На підприємствах також потрібно передбачати очищення і оборотне використання води для технічних цілей, це зменшить потребу у воді і підвищить стійкість водопостачання. Одним із способів підвищення стійкості водопостачання об'єктів для виробничих потреб є будівництво на відкритих джерелах самостійних водозаборів. Звідси вода може подаватися безпосередньо в мережу підприємства.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження динаміки нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом. Представлено схема процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями. Дослідження деформацій та динамічних навантажень на конструктивні елементи процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями з достатньою для інженерних розрахунків точністю проведено на основі виведення системи диференціальних рівнянь, що визначають вплив зовнішніх навантажень на деформації елементів системи та їх розв'язку чисельними методами.

Для розв'язку системи диференціальних рівнянь з нульовими початковими умовами використано прикладне програмне забезпечення, що має підпрограму чисельного методу Рунге-Кутта. Розв'язок представлено у вигляді графіків зміни: лінійної деформації та швидкості деформації радіусного різця для нарізання торцевої канавки в напрямку осі  $y$  в часі, динамічних навантажень на радіусний різець в часі; кутової деформації та швидкості деформації картриджа, на якому закріплені радіусні різці в часі; кутової деформації та швидкості деформації оправки в часі.

Встановлено, що найбільші динамічні навантаження, деформації та швидкості деформацій радіусних різців для нарізання торцевої канавки, картриджа, на якому закріплені радіусні різці, та оправки виникають в моменти вривання радіусного різця у заготовку, зокрема спостерігались стрибки величин в момент удару та досягнення максимальної глибини різання радіусного різця з наступною стабілізацією досліджуваних величин при усталеному процесі різання з постійною силою різання.

В момент удару лінійна деформація радіусного різця для нарізання торцевої канавки в напрямку осі  $y$  становила 0,025 мм, в момент досягнення максимальної глибини різання - 0,035 мм із стабілізацією на величині 0,025 мм, при цьому максимальна швидкість деформації становила 3 мм/с. В момент

удару динамічне навантаження на радіусний різець становило 790 Н, в момент досягнення максимальної глибини різання - 1100 Н із стабілізацією на величині 800 Н.

В момент удару кут деформації картриджа, на якому закріплені радіусні різці становив 0,0084 град, в момент досягнення максимальної глибини різання - 0,008 град із стабілізацією на величині 0,0052 град, при цьому максимальна швидкість деформації становила 0,7 град/с.

В момент удару кут деформації оправки становив 0,005 град, в момент досягнення максимальної глибини різання - 0,0082 град із стабілізацією на величині 0,004 град, при цьому максимальна швидкість деформації становила 0,7 град/с.

Представлено результати експериментальних досліджень шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом. Визначено, що найбільший вплив на шорсткість  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом має глибина різання  $t$ . Менший вплив має швидкість нарізання канавки  $V$  і найменший - подача  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя. При збільшенні глибини різання  $t$ , подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя шорсткість  $Ra$  торцевої поверхні канавки зростає, а при збільшенні швидкості нарізання канавки  $V$  – спадає.

Максимальне значення шорсткості  $Ra$  торцевої поверхні канавки після нарізання спеціальним інструментом становить 2,48 мкм, а мінімальне – 0,6 мкм. Збільшення глибини різання  $t$  від 3 мм до 5 мм призводить до зростання шорсткості торцевої поверхні канавки в 1,79 рази. Збільшення подачі  $S$  на один інструмент при одному оберті шпинделя від 0,08 мм/об до 0,16 мм/об призводить до зростання шорсткості торцевої поверхні канавки в 1,17 рази, а збільшення швидкості нарізання канавки  $V$  від 120 мм до 160 м/хв призводить до зменшення шорсткості торцевої поверхні канавки в 2,1 рази.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпусу 737140.052.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування”. Тернопіль, 2001. 58 с.
2. Пилипець М.І., Комар Р.В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин. Тернопіль, 2019. 58 с.
3. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. 148 с.
4. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
5. Добрянський С. С., Малафеев Ю. М. Методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок» Частина І. Розробка креслення та технології виготовлення литої заготовки. К.: НТУУ «КПІ», 2012. 71 с.
6. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
7. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.
8. Розмірні ланцюги: навчально-методичний посібник / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Капаціла Ю.Б, Ткаченко І.Г. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с.
9. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
10. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисциплін “Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин ” та “Технологія машинобудування” для студентів спеціальностей 131 “Прикладна механіка” і 133 “Галузеве машинобудування” на тему “Структура технологічного процесу. Принципи побудови технологічних операцій” / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. - Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 53 с.

11. 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.
12. <https://www.ctemag.com/products/insert-holders>
13. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.
14. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.
15. [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com).
16. 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.
17. Хічій А. М., Приказюк В. М., Маслянка В. М. Дослідження величини деформації багатолезової оправки для розточування ступінчастого отвору. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій": 6-7 грудня 2023 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2023. С. 44.
18. V. A. Grechishnikov, A. R. Maslov, P. M. Pivkin (2015), Tool System for Face Grooving Using CNC Machines, Engineering Research, Vol. 35, No. 11, pp. 814–817.
19. <https://catalog.tungaloy.com/Family.aspx?fnum=1461&mapr=TG&app=369&Lang=EN&GFSTYP=M>.
20. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.
21. Гевко І. Б. Технологічне забезпечення виготовлення елементів осьового стопоріння механізмів машин : дис. .... канд. техн. наук: 05.02.08. Тернопіль, 2005. 220 с.
22. Wojciechowski Szymon, Talar Rafał, Zawadzki Paweł, Stanisław Legutko, Radosław Maruda, Chander Prakash (2020), Study on Technological Effects of a

Precise Grooving of AlSi13MgCuNi Alloy with a Novel WCCo/PCD (DDCC) Inserts, *Materials*, No. 13, 2467, doi:10.3390/ma13112467.

23. Wertheim, R., Roberg, J., Ber A. (1992), Influence of high-pressure flushing through the rake face of the cutting tool, *Ann. CIRP*, 41(1), pp. 101-106.

24. Ivan Hevko, Andrii Diachun, Oleg Lyashuk, Yuriy Vovk, Andriy Hupka Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning. *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange. IV. DSMIE 2021*. Springer, Cham. P. 385-394.

25. <https://www.iscar.com.ua>.

26. Стручок В.С. “Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник. Тернопіль, 2022. 150 с.

27. Andriy Diachun, Vasyl Vasykiv, Oleg Korol, Volodymyr Myhailiuk, Ivan Golovatyi, Andriy Kuras. Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. 2021. № 1(101). С. 68–78.

28. Oleg Lyashuk, Andrii Diachun, Ivan Kuchvara, Yuriy Vovk, Volodymyr Dzyura. Study of power parameters of forming profile elliptical screw workpieces. *The International Journal of Integrated Engineering. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia Publisher’s Office*, 2021. Vol. 13 No. 4. P. 142-151.

29. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Третьяков О.Л. Дослідження деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок пристроєм із декількома різцями. *Перспективні технології та прилади. Зб. наук. праць. Луцьк*, 2018. Вип. 12. С. 105-110.

30. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Клендій В.М., Третьяков О.Л. Дослідження силових параметрів процесу зміцнення гвинтових поверхонь робочих органів деформуючими пуансонами. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ*, 2018. №. 1 (66). С. 38-43.

31. Дячун А.Є., Дзюра В.О., Клендій В.М., Третьяков О.Л. Дослідження методом 3d сканування шорсткості гвинтових поверхонь після процесу ударного зміцнення. *Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Луцьк*, 2017. №38. С. 66-74.