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 корпуса АЛАЯ 731.114.014 з дослідженням процесу фрезерування поверхонь торцевою фрезою

Виконав: студент VI курсу, групи МТм-61
спеціальності 131 “Прикладна механіка”
(шифр і назва спеціальності)
(підпис) Решетуха А.Б. (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Дичковський М.Г. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри (підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення корпуса АЛАЯ 731.114.014 з дослідженням процесу фрезерування поверхонь торцевою фрезою”

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження динаміки процесу фрезерування плоскої поверхні торцевою фрезою.

Розроблено розрахункову схему динамічної моделі процесу фрезерування, до якої входить торцева фреза, шпиндель верстата із коробкою швидкостей, ротор електродвигуна приводу, заготовка, пристрій для базування та затиску заготовки.

Виведено систему рівнянь переміщень елементів системи з початковими умовами, яку розв’язано , застосовуючи чисельний метод Рунге-Кутта.

Представити графічні залежності зміни кута, швидкості деформації торцевої фрези в часі із різними кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою, динамічного моменту на торцевій фрезі, величини деформації заготовки в часі.

Представлено результати експериментальних досліджень з використанням вибраного устаткування шорсткості плоскої поверхні заготовки із сталі 45 після фрезерування торцевою фрезою від зміни трьох основних технологічних факторів: подачі на зуб фрези, глибини різання та швидкості різання. Побудовано відповідні графічні залежності.

Також розроблено технологічний процес виготовлення корпуса АЛАЯ 731.114.014 з вибором устаткування та параметрів процесів механічної обробки.

ЗМІСТ

Вступ .....

1 Аналітична частина

1.1. Аналіз стану питання.....

1.2. Службове призначення деталі.....

1.3. Висновки та постановка задач.....

2 Науково-дослідна частина

2.1. Дослідження динаміки процесу фрезерування плоскої поверхні торцевою фрезою.....

2.2. Експериментальні дослідження шорсткості поверхні після фрезерування торцевою фрезою.....

2.3. Висновки.....

3 Технологічно-конструкторська частина

3.1. Аналіз технологічності конструкції 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 і вибір приводу пристосування.....

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1. Основні санітарно-гігієнічні вимоги до території підприємств і розташування будівель і споруд.....

4.2. Основні рятувальні роботи при надзвичайних ситуаціях.....

Висновки.....

Перелік посилань.....

Додатки

ВСТУП

Одним із найпоширеніших методів оброблення плоских поверхонь деталей машин є фрезерування торцевими фрезами. Для цього процесу розроблено велику кількість конструкцій торцевих фрез, основними параметрами яких є головний кут в плані на ріжучих зубах.

Встановлено надзвичайну складність процесу торцевого фрезерування, оскільки товщина зрізаного шару є змінною в процесі робочого обертання інструменту, відповідно змінюються сили різання. Також різною є кількість зубів, що одночасно беруть участь у процесі торцевого фрезерування. Усе це впливає на якість обробленої поверхні та динаміку фрезерування.

Результати моделювання та експериментів підтверджують, що складові сили різання при фрезеруванні торцевою фрезою мають змінний характер, при цьому можуть виникати значні стрибкоподібні зміни цих величин, що впливає на стійкість ріжучих пластин, а також на виникнення вібрацій у системі інструмент-пристрій-верстат.

Динамічні навантаження та деформації елементів системи, задіяних в процесі фрезерування плоскої поверхні торцевою фрезою потрібно визначати за допомогою диференціальних рівнянь руху системи в узагальнених координатах.

Тому актуальним є завдання розроблення динамічної моделі торцевого фрезерування поверхонь деталей машин.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення корпуса АЛАЯ 731.114.014 з вибором устаткування та параметрів процесів механічної обробки.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз стану питання

Одним із найпоширеніших методів оброблення плоских деталей машин є фрезерування торцевими фрезами. Для цього процесу розроблено велику кількість конструкцій торцевих фрез, основними параметрами яких є головний кут в плані на ріжучих зубах, переважно він становить 45 градусів.

Приклади торцевого фрезерування фірми Sandvik Coromant представлено на рисунку 1.1.

Рисунок 1.1 – Процес фрезерування плоских поверхонь торцевими фрезами [21]

Також різноманітними є твердосплавні пластини, що використовуються на торцевих фрезах. На рисунку 1.2 показано рекомендовані конструкції фрез для здійснення процесу різання залежно від глибини різання a_p, та подачі на зуб f_z.

При збільшенні подачі на зуб доцільно зменшувати головний кут в плані на зубі фрези, або використовувати круглі ріжучі твердосплавні пластини. При значній глибині різання і малій подачі рекомендовано використовувати ріжучі пластини з головним кутом в плані 90 градусів.

При цьому встановлено, що головний кут в плані впливає на напрям дії сили різання із залежно від жорсткості оброблюваної деталі можна використовувати фрези з різними головними кутами в плані, що схематично представлено на рисунку 1.3.

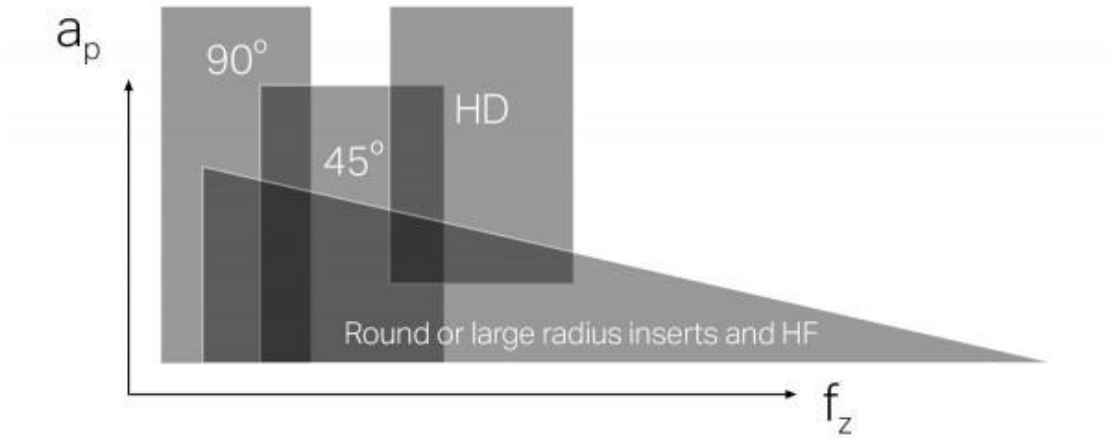


Рисунок 1.2 - Рекомендовані конструкції фрез для здійснення процесу різання залежно від глибини різання a_p, та подачі на зуб f_z [21]

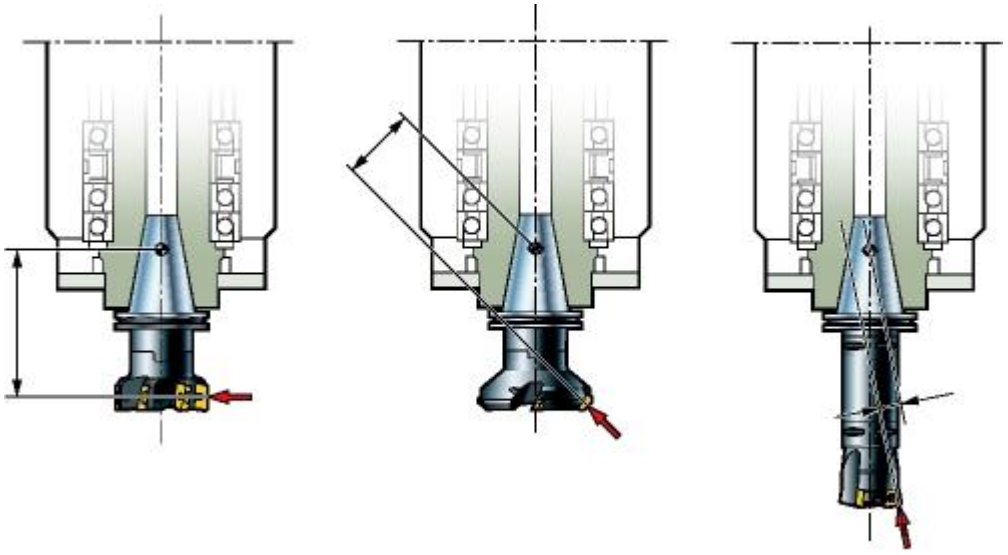


Рисунок 1.3 – Вплив головного кута в плані на напрям дії сили різання [21]

В роботі Степчина А.Я. [22] розглянуто динаміку торцевого фрезерування при швидкісній обробці, встановлено, що підвищення швидкості обертання фрези збільшує стійкість процесу торцевого фрезерування.

У статті П.П. Мельничука та В.Ю. Лоєва [23] досліджено особливості процесу торцевого фрезерування при виході інструменту із зони різання і при

зміні товщини зрізуваного шару. Встановлено, що при виході фрези зростає кількість ударних навантажень на інструмент, що призводить до збільшення динамічних навантажень та вимушених коливань фрези. Розрахункова схема для дослідження місць ударних навантажень при фрезеруванні торцевою фрезою представлена на рис. 1.4.

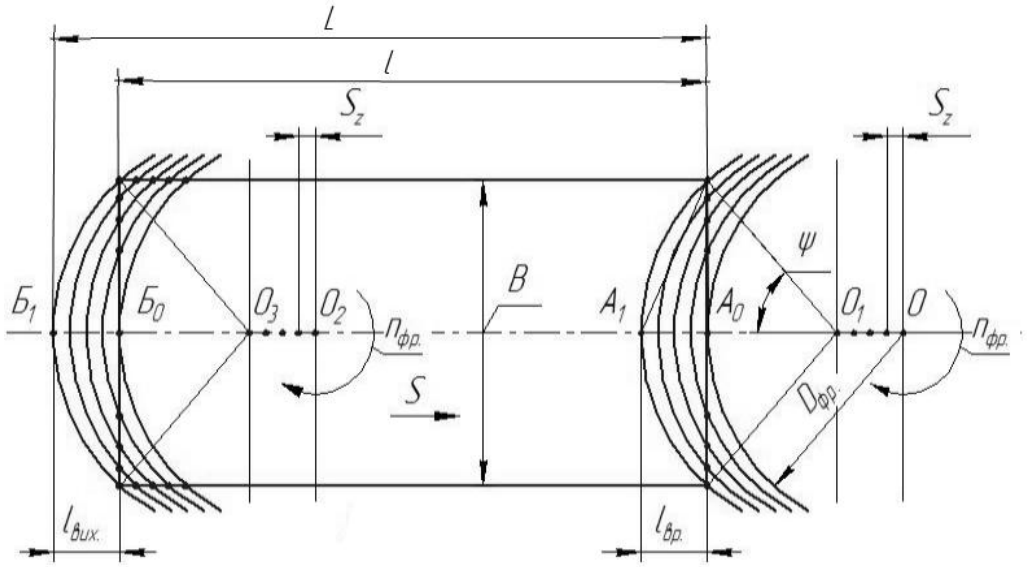


Рисунок 1.4 – Розрахункова схема для дослідження місць ударних навантажень при фрезеруванні торцевою фрезою [23]

Крім цього у роботі П.П. Мельничука та В.Ю. Лоєва [23] відмічено, що процесі фрезерування товщина зрізуваного має змінну величину, відповідно і змінюються сили різання, що призводить до коливань інструменту, а відповідно і до погіршення якості обробленої поверхні. Розрахункова схема для визначення товщини зрізаного шару представлена на рисунку 1.5.

Тому на основі цих досліджень зроблено висновок про надзвичайну складність процесу торцевого фрезерування, оскільки товщина зрізаного шару є змінною в процесі робочого обертання інструменту, відповідно змінюються сили різання. Також різною є кількість зубів, що одночасно беруть участь у процесі торцевого фрезерування. Усе це впливає на якість обробленої поверхні та динаміку фрезерування.

Значний внесок до теоретичних та експериментальних досліджень

процесів торцевого фрезерування та проектування відповідних інструментів зробили Виговський Г.М., Мельничук П.П, Петраков Ю.В., Панчук В.Г., Марчук В.І., Равська Н.С. та інші.

Поряд з існуючими конструкціями інструментів проводяться пошуки, досліджуються і проектуються нові торцеві фрези, що дозволяють підвищувати продуктивність процесу, зокрема при різанні важкооброблюваних матеріалів.

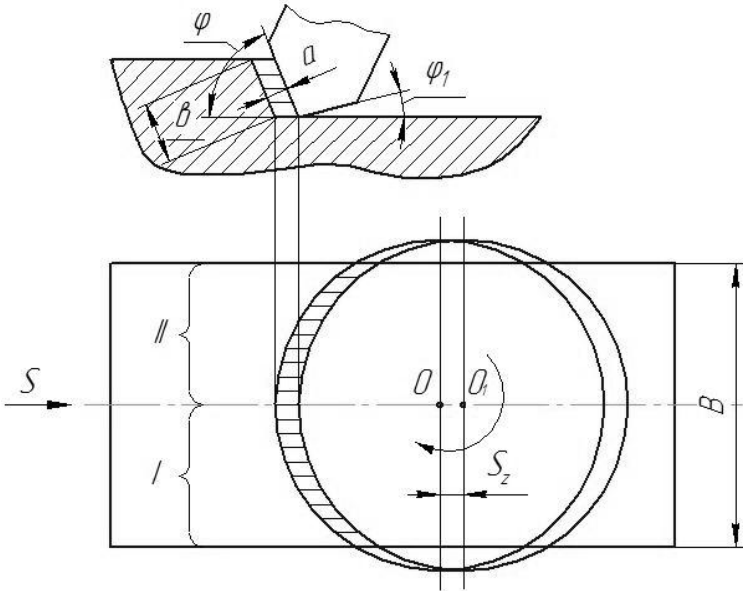


Рисунок 1.5 – Розрахункова схема для визначення товщини зрізаного шару при торцевому фрезеруванні [23]

Зокрема у роботі Глембоцької Л. Є. [24] представлено нові конструкції фрез та використано сучасне комп’ютерне моделювання для дослідження процесу торцевого фрезерування. Одна із комп’ютерних моделей представлена на рисунку 1.6.

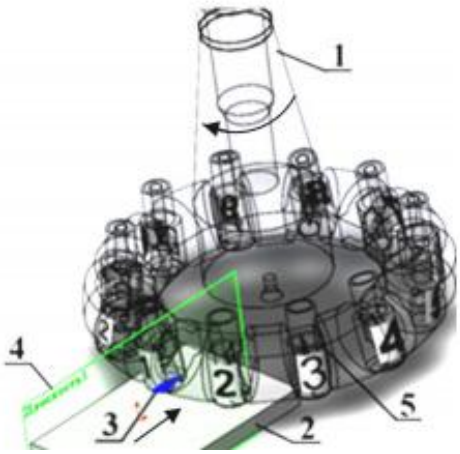


Рисунок 1.6 – Комп’ютерна модель торцевої фрези [24]

На основі комп’ютерної моделі торцевої фрези (рис. 1.6) у роботі Глембоцької Л. Є. [24] проведено моделювання процесу торцевого фрезерування в середовищі Deform 3d. Результати представлено на рисунку 1.7.

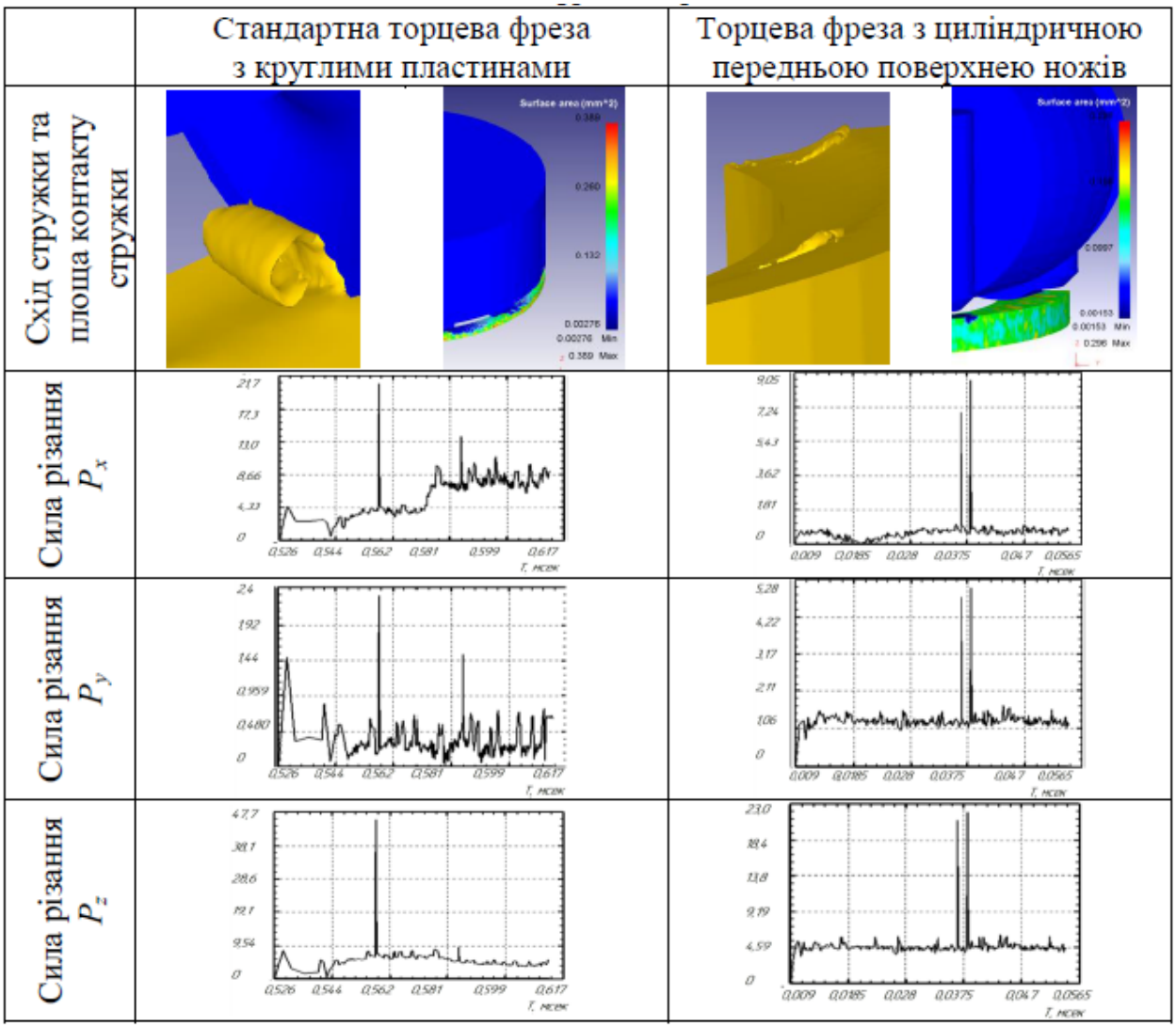


Рисунок 1.7 – Результати моделювання процесу торцевого фрезерування в середовищі Deform 3d [24]

Результати моделювання та експериментів підтверджують, що складові сили різання при фрезеруванні торцевою фрезою мають змінний характер, при цьому можуть виникати значні стрибкоподібні зміни цих величин, що впливає на стійкість ріжучих пластин, а також на виникнення вібрацій у системі інструмент-пристрій-верстат, що зображено на рисунку 1.8

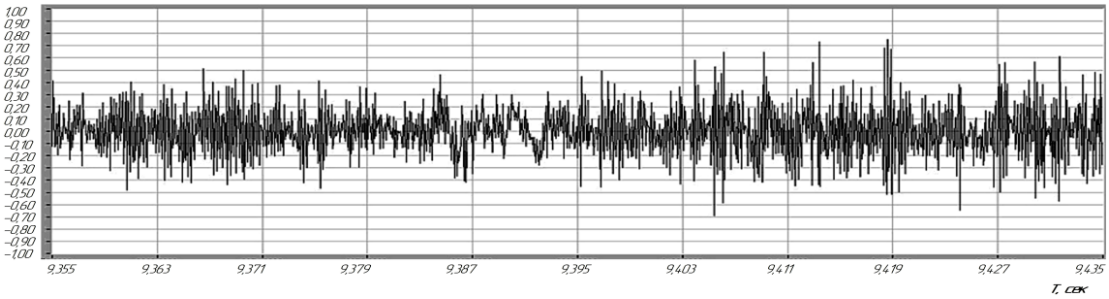


Рисунок 1.8 – Величина вібрацій при фрезеруванні торцевою фрезою [24]

Дослідження зміни сил різання при фрезеруванні також представлено у роботі [25]. Один з графіків зображено на рисунку 1.9.

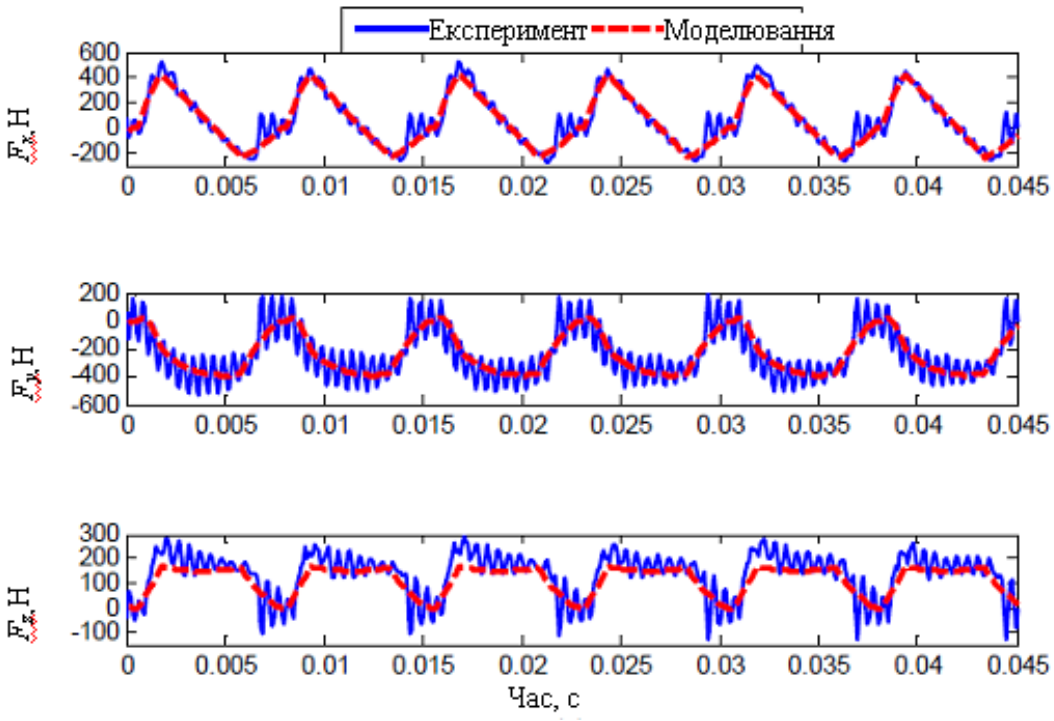


Рисунок 1.9 – Графіки зміни складових сили різання при фрезеруванні в часі [25]

1.2. Службове призначення деталі

Деталь “Корпус” АЛАЯ 731114.014 використовується в конструкції світлодіодного світильника.

Основні поверхні деталі: зовнішня торцева поверхня 36h14($_{-0,62}$); Ra 12,4; зовнішня поверхня 260±0,8; 130±0,6; Rz 40 – призначені для розміщення елементів світильника; торцевий паз b=3H14($^{+0,3}$); 5±0,1; 122±0,2; Ra 12,4 – для встановлення ущільнювача; вісім глухих отворів ∅2,5H14($^{+0,25}$); l=6; 30±0,2; 90±0,2; 40±0,2; Ra 12,4 – для кріплення панелей; два глухих отвори M4-7H; l=6; 20±0,1; Ra 6,2 – для приєднання апаратури; два наскрізних різевих отвори M4-7H; l=7; 250±0,2; Ra 6,2 – для приєднання розсіювача; отвір ∅15H7($^{+0,018}$); l=2; Ra 1,6 –для встановлення сальника; три глухих різьбових отвори M3-7H; l=3,5; 10±0,1; 5±0,2 Ra 6,2 – для приєднання елементів; два наскрізних отвори ∅12H14($^{+0,43}$); l=2; 18±0,1; Ra 12,4 – для приєднання кабелю; два наскрізних отвори ∅5H14($^{+0,3}$); 178±0,2; Ra 12,4 – для закріплення світильника.

Результати аналізу зводимо в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Аналіз технічних вимог

Номер поверхні	Назва поверхні	Шорсткість
1	2	3
1	Зовнішня поверхня 260±0,8; 130±0,6	Rz 40
2	Зовнішня торцева поверхня 36h14($_{-0,62}$)	Ra 12,4
3	Криволінійний торцевий паз b=3H14($^{+0,3}$); 5±0,1; 122±0,2	Ra 12,4
4-11	Вісім глухих отворів ∅2,5H14($^{+0,25}$); l=6; 30±0,2; 90±0,2; 40±0,2	Ra 12,4
12-19	Шість внутрішніх фасок 0,5×45°; 30±0,2; 90±0,2; 40±0,2	Ra 12,4
20-21	Два глухих отвори ∅3,3$^{+0,16}$; l=9,5; 20±0,1 під різь M4-7H;	Ra 6,2
22-23	Дві внутрішні фаски 0,5×45°; 20±0,1	Ra 12,4

Закінчення таблиці 1.1

1	2	3
24-25	Два глухих різевих отвори М4-7Н; l=6; 20±0,1	Ra 6,2
26-27	Два наскрізних отвори ∅$3{,}3^{+0{,}16}$; l=7; 250±0,2 під різь М4-7Н	Ra 6,2
28-29	Дві внутрішні фаски 2×45°; 250±0,2	Ra 12,4
30, 31	Два наскрізних різевих отвори М4-7Н; l=7; 250±0,2	Ra 6,2
32	Наскрізний отвір ∅15Н7($^{+0{,}018}$); l=2; 18±0,1	Ra 1,6
33, 34	Два наскрізних отвори ∅5Н14($^{+0{,}3}$); l=2; 178±0,2	Ra 12,4
35-37	Три глухих отвори ∅$2{,}5^{+0{,}14}$; l=5; 10±0,1; 5±0,2 під різь М3-7Н	Ra 6,2
38-40	Три внутрішні фаски 0,5×45°; 10±0,1; 5±0,2	Ra 12,4
41-43	Три глухих різевих отвори М3-7Н; l=6; 10±0,1; 5±0,2	Ra 6,2
44-45	Два наскрізних отвори ∅12Н14($^{+0{,}43}$); l=2; 18±0,1	Ra 12,4

Деталь “Корпус” АЛАЯ 731114.014 виготовляється з алюмінієвого сплаву АК12

1.3. Висновки та постановка задач

В результаті аналізу літературних джерел встановлено надзвичайну складність процесу торцевого фрезерування, оскільки товщина зрізаного шару є змінною в процесі робочого обертання інструменту, відповідно змінюються сили різання. Також різною є кількість зубів, що одночасно беруть участь у

процесі торцевого фрезерування. Усе це впливає на якість обробленої поверхні та динаміку фрезерування.

Результати моделювання та експериментів підтверджують, що складові сили різання при фрезеруванні торцевою фрезою мають змінний характер, при цьому можуть виникати значні стрибкоподібні зміни цих величин, що впливає на стійкість ріжучих пластин, а також на виникнення вібрацій у системі інструмент-пристрій-верстат.

Тому актуальним є завдання розроблення динамічної моделі торцевого фрезерування поверхонь деталей машин.

У дипломній роботі слід вирішити такі завдання:

1. Провести дослідження динаміки процесу фрезерування плоскої поверхні торцевою фрезою.

2. Представити графічні залежності зміни: кута деформації торцевої фрези в часі із кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ та $\alpha = 60^0$; швидкості деформації торцевої фрези в часі із кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ та $\alpha = 60^0$; динамічного моменту на торцевій фрезі в часі величини деформації заготовки в часі із кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ та $\alpha = 60^0$.

3. Провести експериментальні дослідження шорсткості плоскої поверхні заготовки із сталі 45 після фрезерування торцевою фрезою від зміни трьох основних технологічних факторів: подачі на зуб фрези, глибини різання та швидкості різання.

4. Представити графіки залежності шорсткості плоскої поверхні заготовки із сталі 45 після фрезерування торцевою фрезою від технологічних факторів.

5. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення корпуса АФКА 732.114.014.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження динаміки процесу фрезерування плоскої поверхні торцевою фрезою

Динамічні навантаження та деформації елементів системи, задіяних в процесі фрезерування плоскої поверхні торцевою фрезою потрібно визначати за допомогою диференціальних рівнянь руху системи в узагальнених координатах, при цьому виконується ідеалізація та спрощення системи за рахунок нехтування другорядними факторами для спрощення математичної моделі.

В процесі аналізу літературних даних розроблено розрахункову схему динамічної моделі процесу фрезерування, що представлена на рис. 2.1, до якої входить торцева фреза, шпиндель верстата із коробкою швидкостей, ротор електродвигуна приводу, заготовка, пристрій для базування та затиску заготовки.

Ці елементи системи представлені у вигляді зосереджених мас, з'єднаних пружними зв'язками. Коефіцієнти жорсткості цих зв'язків прийнято постійними в часі, при цьому не враховано напруження і деформації у складових частинах елементів системи.

На рисунку 2.1 представлено зосереджені маси елементів системи: I_1 – момент інерції торцевої фрези; I_2 – приведений момент інерції шпинделя верстата із коробкою швидкостей; I_4 – момент інерції ротора електродвигуна приводу, m_1 – маса торцевої фрези, m_4 – маса заготовки; m_5 – маса пристрою для базування та затиску заготовки. Також на рисунку 2.1 позначено приведені коефіцієнти жорсткості та демпфування: C_{12} – жорсткість з'єднання між торцевою фрезою та шпинделем верстата, C_{23} – приведена жорсткість ротора двигуна, k_{1z}, k_{1y} - лінійна жорсткість торцевої фрези у напрямках осей z та y відповідно, k_{45z}, k_{45y} - лінійна жорсткість заготовки у напрямках осей z та y відповідно, k_{5z}, k_{5y} - лінійна жорсткість пристрою для базування та затиску

заготовки в напрямках осей *z* та *y* відповідно.

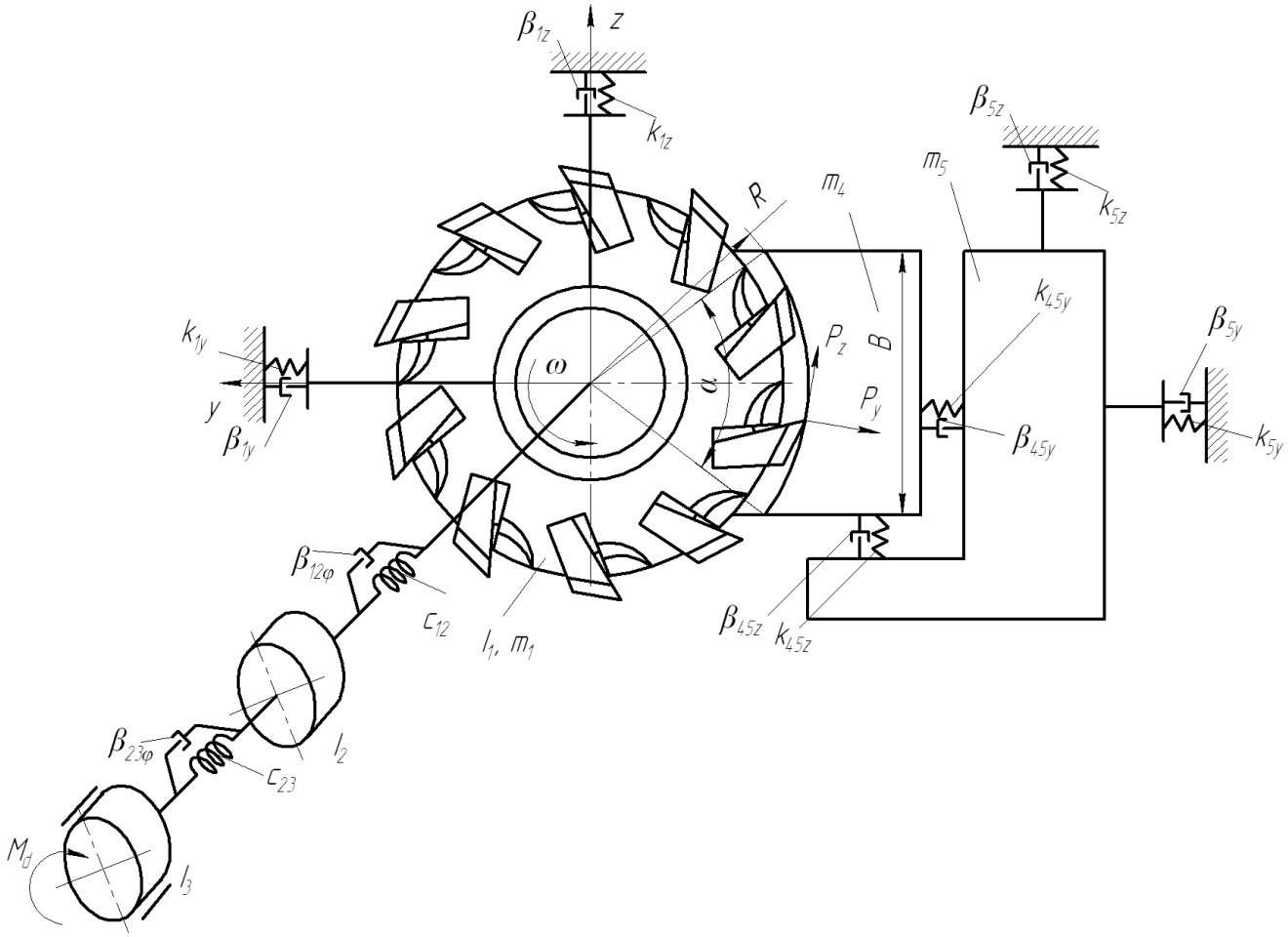


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема динаміки процесу фрезерування плоскої поверхні торцевою фрезою

Жорсткості і маси стола та станини верстата не враховані, оскільки вони набагато перевищують маси і жорсткості заготовки та пристрою для базування та затиску. Також на рисунку 2.1 позначено: β_{12} – коефіцієнт демпфування крутних коливань між торцевою фрезою та шпинделем верстата, β_{23} – коефіцієнт демпфування крутних коливань ротора двигуна, β_{1z}, β_{1y} – коефіцієнти демпфування лінійних коливань торцевої фрези у напрямках осей *z* та *y* відповідно, β_{45z}, β_{45y} – коефіцієнти демпфування лінійних коливань заготовки у напрямках осей *z* та *y* відповідно, β_{5z}, β_{5y} – коефіцієнти демпфування лінійних коливань пристрою для базування та затиску заготовки в напрямках осей *z* та *y* відповідно.

На маси I_1, m_1 (торцева фреза) і m_4 (заготовка) діє сила різання P, проекції якої на осі z та y визначено за формулами

$$P_z = P\cos\alpha;$$
$$P_y = P\sin\alpha, \qquad (2.1)$$

де α - кут повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою, рад.

Емпірична залежність для визначення сили різання під час фрезерування [20]:

$$P_{z0} = \frac{10C_p t_r^{\,x} s_z^y B^{n_1} z K_{Mp}}{D^q n^w}, \qquad (2.2)$$

“де C_p, x, q, w, n_1, y, K_{Mp} – коефіцієнти і показники степені, що характеризують оброблюваний матеріал і особливості процесу різання;»

«t_r - глибина різання, мм;»

«s_z - подача на зуб фрези;»

«B - ширина фрезерування, мм;»

«z - кількість зубів фрези;»

«D – діаметр фрези, мм;»

«n – частота обертання фрези, об/хв.”

Кут повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою:

$$\alpha = 2\arcsin\left(\frac{B}{2R}\right), \qquad (2.3)$$

де R – радіус фрези, мм.

Проекції сила різання P на осі z та y мають змінний характер в часі, при цьому ці величини змінюються від нульового значення до максимального по середині ширини оброблюваної заготовки, потім знову зменшуються до нуля.

Тому наближено ці проекції сили різання можна представити у вигляді синусоїди, аналогічно роботі [30]:

$$P_z(t) = P_{z0} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{t_k} t\right), \tag{2.4}$$

де t - час, с;

t_k - час різання одним зубом, с.

При цьому виконується умова $P_z(t)$=0, якщо $t < t_k$.

Проекції сили різання у динамічній моделі для i-х зубів також представлено у вигляді синусоїди

$$P_{zi}(t) = P_z \cdot \sin\left(\frac{\pi}{t_k} t - \frac{(i-1)\pi t_1}{t_k}\right), \tag{2.5}$$

де i – порядковий номер зуба,

t_1 - час між послідовними врізання зубами фрези у заготовку, с.

При цьому виконується умова $P_{zi}(t)$=0, якщо $t < it_1$ і $t > it_1 + t_k$.

Час різання одним зубом буде рівний:

$$t_K = \frac{\alpha}{\omega} = \frac{2\arcsin\left(\frac{B}{2R}\right)}{\omega}, \tag{2.6}$$

де ω – частота обертання торцевої фрези, рад/с.

Час між послідовними врізання зубами торцевої фрези у заготовку:

$$t_1 = \frac{2\pi}{z\omega}. \tag{2.7}$$

При одночасному різанні заготовки декількома зубами фрези виникає сумарна сила різання

$$P_{z\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^{z} P_{zi}(t). \tag{2.8}$$

На рис. 2.2 зображено графіки зміни сил різання торцевою фрезою в часі, при одночасному різанні поверхні двома зубами.

За узагальнені координати вибрано кути повороту φ_1, φ_2, φ_3 та лінійні переміщення елементів системи в напрямку осей y та z: y_1, y_4, y_5, z_1, z_4, z_5.

Кінетична енергія розробленої системи:

$$T = \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{I_3 \cdot \dot{\varphi}_3^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{z}_4^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{z}_5^2}{2} + \\ + \frac{m_1 \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{y}_4^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{y}_5^2}{2}. \tag{2.9}$$

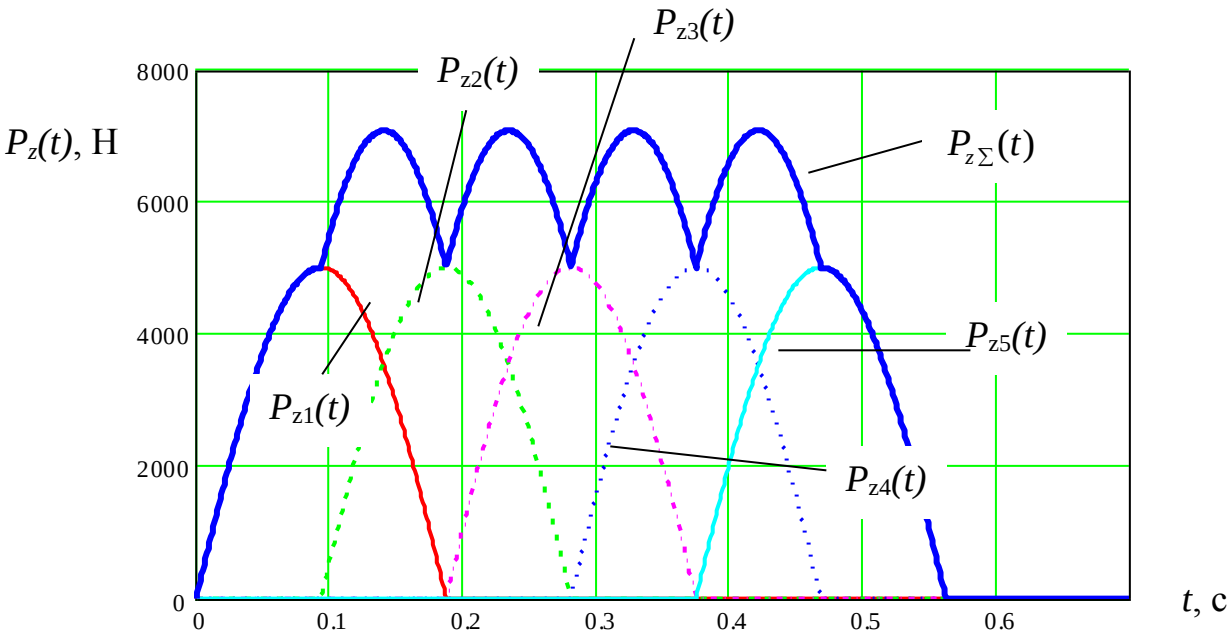


Рисунок 2.2 – Графіки зміни сил різання торцевою фрезою в часі із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$

Потенціальна енергія розробленої системи:

$$\Pi = \frac{C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)^2}{2} + \frac{C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2)^2}{2} + \frac{k_{1z} \cdot z_1^{\,2}}{2} + \frac{k_{45z} \cdot (z_5 - z_4)^2}{2} + \frac{k_{5z} \cdot z_5^{\,2}}{2} + \\ + \frac{k_{1y} \cdot y_1^{\,2}}{2} + \frac{k_{45y} \cdot (y_5 - y_4)^2}{2} + \frac{k_{5y} \cdot y_5^{\,2}}{2}. \tag{2.10}$$

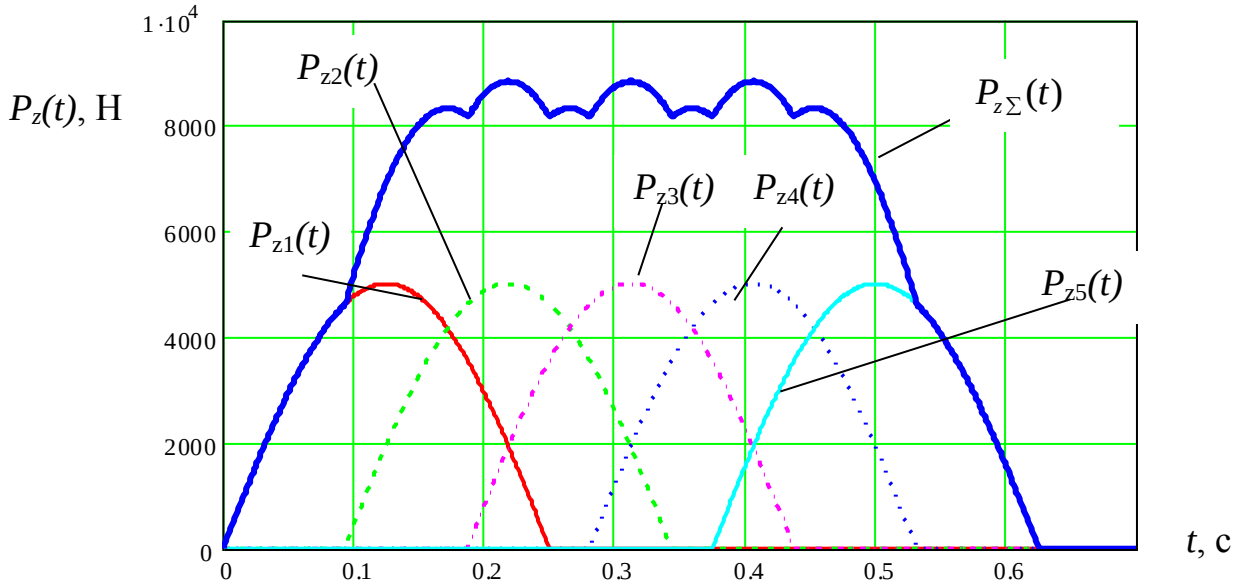


Рисунок 2.3 – Графіки зміни сил різання торцевою фрезою в часі із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 60^0$

Функція розсіювання:

$$\Phi = \frac{\beta_{12\varphi} \cdot \left(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1\right)^2}{2} + \frac{\beta_{23\varphi} \cdot \left(\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2\right)^2}{2} + \frac{\beta_{1z} \cdot \dot{z}_1^{\,2}}{2} + \\ + \frac{\beta_{45z} \cdot \left(\dot{z}_5 - \dot{z}_4\right)^2}{2} + \frac{\beta_{5z} \cdot \dot{z}_5^{\,2}}{2} + \frac{\beta_{1y} \cdot \dot{y}_1^{\,2}}{2} + \frac{\beta_{45y} \cdot \left(\dot{y}_5 - \dot{y}_4\right)^2}{2} + \frac{\beta_{5y} \cdot \dot{y}_5^{\,2}}{2}. \quad (2.11)$$

Рівняння Лагранжа другого роду для елементів системи, що здійснюють крутні коливання:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_n} = P_{z\Sigma}(t)R. \quad (2.12)$$

Для елементів системи, що здійснюють лінійні коливання:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{z}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{z}_n} = P_{z\Sigma}(t), \quad (2.13)$$

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial y_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial y_n} = P_{y\Sigma}(t). \quad (2.14)$$

На основі рівнянь (2.12), (2.13) та (2.14) виведено систему рівнянь переміщень елементів системи:

$$
\begin{gathered}
I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + C_{12} \cdot \left(\varphi_1 - \varphi_2\right) + \beta_{12\varphi}\left(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2\right) = P_{z\Sigma}(t)R; \\
I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{12} \cdot \left(\varphi_2 - \varphi_1\right) + \beta_{12\varphi}\left(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1\right) + C_{23} \cdot \left(\varphi_2 - \varphi_3\right) + \beta_{23\varphi}\left(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3\right) = 0; \\
I_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 + C_{23} \cdot \left(\varphi_3 - \varphi_2\right) + \beta_{23\varphi}\left(\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2\right) = -M_d; \\
m_1 \cdot \ddot{z}_1 + k_{1z} z_1 + \beta_{1z}\dot{z}_1 = P_{z\Sigma}(t); \\
m_4 \cdot \ddot{z}_4 + k_{45z}\left(z_4 - z_5\right) + \beta_{45z}\left(\dot{z}_4 - \dot{z}_5\right) = P_{z\Sigma}(t); \qquad (2.15) \\
m_5 \cdot \ddot{z}_5 + k_{45z}\left(z_5 - z_4\right) + \beta_{45z}\left(\dot{z}_5 - \dot{z}_4\right) + k_{5z} z_5 + \beta_{5z}\dot{z}_5 = 0; \\
m_1 \cdot \ddot{y}_1 + k_{1y} y_1 + \beta_{1y}\dot{y}_1 = P_{y\Sigma}(t); \\
m_4 \cdot \ddot{y}_4 + k_{45y}\left(y_4 - y_5\right) + \beta_{45y}\left(\dot{y}_4 - \dot{y}_5\right) = P_{y\Sigma}(t); \\
m_5 \cdot \ddot{y}_5 + k_{45y}\left(y_5 - y_4\right) + \beta_{45z}\left(\dot{y}_5 - \dot{y}_4\right) + k_{5y} y_5 + \beta_{5y}\dot{y}_5 = 0.
\end{gathered}
$$

де M_d – крутний момент приводу двигуна, Н·м.

Граничні умови для розв’язку системи диференціальних рівнянь (2.15) визначено у початковий момент часу t=0, коли відбувається врізання першого зуба у заготовку, при цьому відсутні деформації елементів системи. Тому початкові узагальнені координати та швидкості деформації прийнято рівними нулю. Отже,

$\varphi_1(0) = 0$, $\varphi_2(0) = 0, \varphi_3(0) = 0$, $z_1(0) = 0$, $z_4(0) = 0$, $z_5(0) = 0$, $y_1(0) = 0$, $y_4(0) = 0$, $y_5(0) = 0$,

$\dot{\varphi}_1(0) = 0$, $\dot{\varphi}_2(0) = 0$, $\dot{\varphi}_3(0) = 0$, $\dot{z}_1(0) = 0$, $\dot{z}_4(0) = 0$, $\dot{z}_5(0) = 0$, $\dot{y}_1(0) = 0$, $\dot{y}_4(0) = 0$, $\dot{y}_5(0) = 0$. (2.16)

Розв’язок системи диференціальних рівнянь (2.15) з початковими умовами (2.16) проведено, застосовуючи чисельний метод Рунге-Кутта.

Величину деформації елементів системи визначено за формулами:

$$\psi_i = \varphi_i - \varphi_{i+1}. \qquad (2.17)$$

$$\xi_i = z_i - z_{i+1}. \qquad (2.18)$$

За результатами математичного моделювання одержано графічні залежності зміни: кута деформації торцевої фрези в часі із кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ та $\alpha = 60^0$ (рис. 2.4 та рис. 2.5 відповідно); швидкості деформації торцевої фрези в часі із кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ та $\alpha = 60^0$ (рис. 2.6 та рис. 2.7 відповідно); динамічного моменту на торцевій фрезі в часі (рис. 2.8 та рис. 2.9), величини деформації заготовки в часі із кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ та $\alpha = 60^0$ (рис. 2.9 та рис. 2.10).

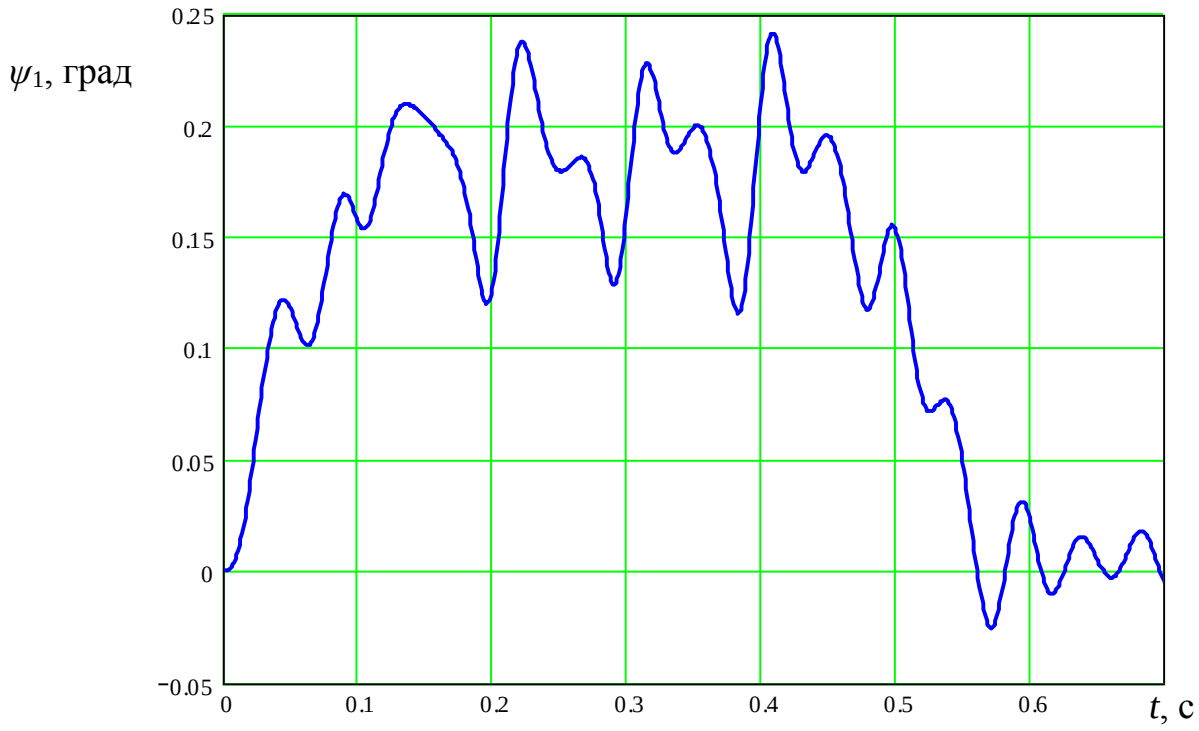


Рисунок 2.4 - Графік зміни кута деформації торцевої фрези в часі із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$

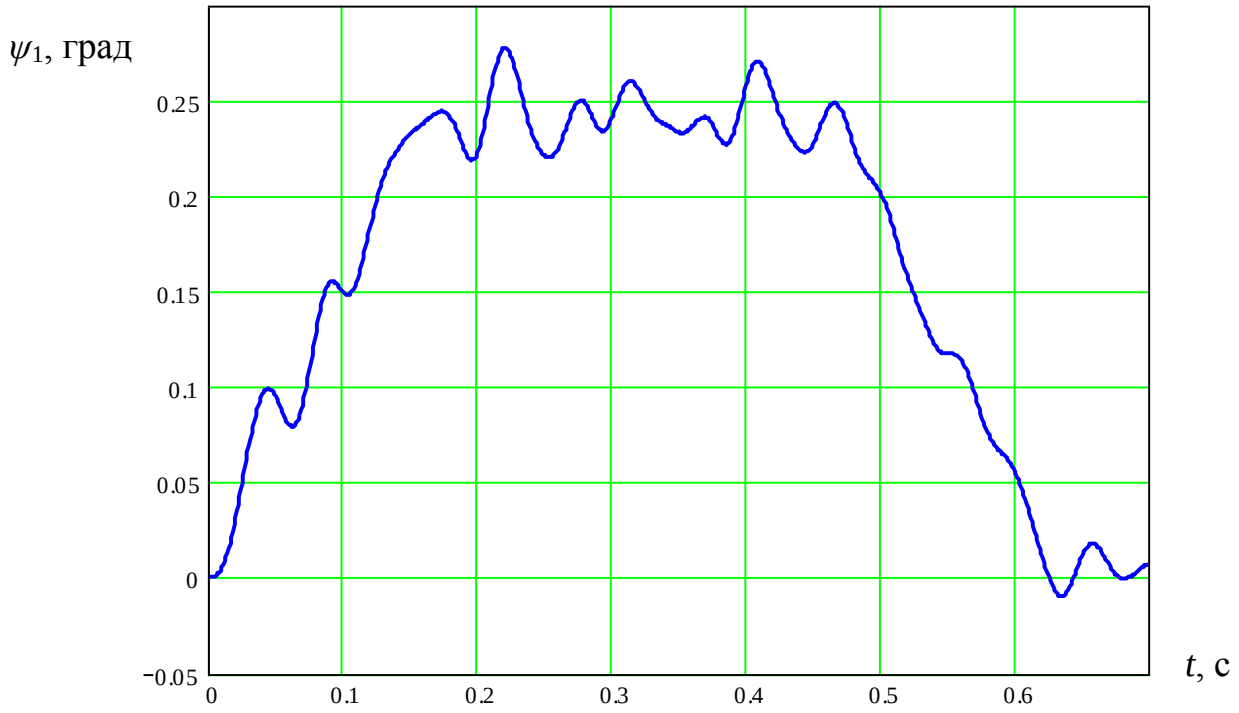


Рисунок 2.5 - Графік зміни кута деформації торцевої фрези в часі із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 60^0$

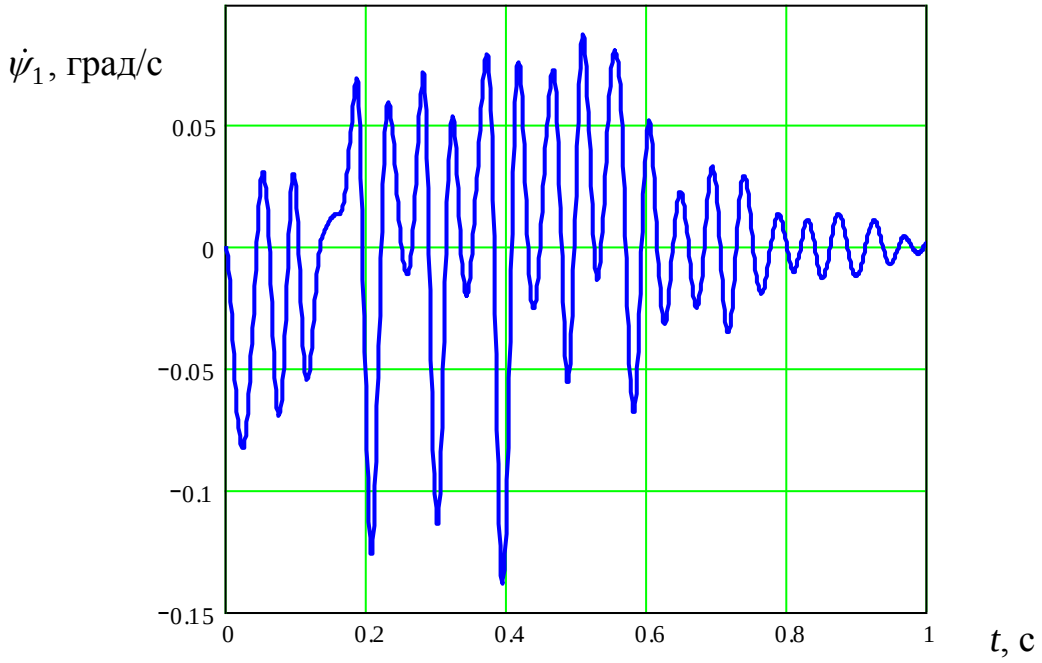


Рисунок 2.6 - Графік зміни швидкості деформації торцевої фрези в часі із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$

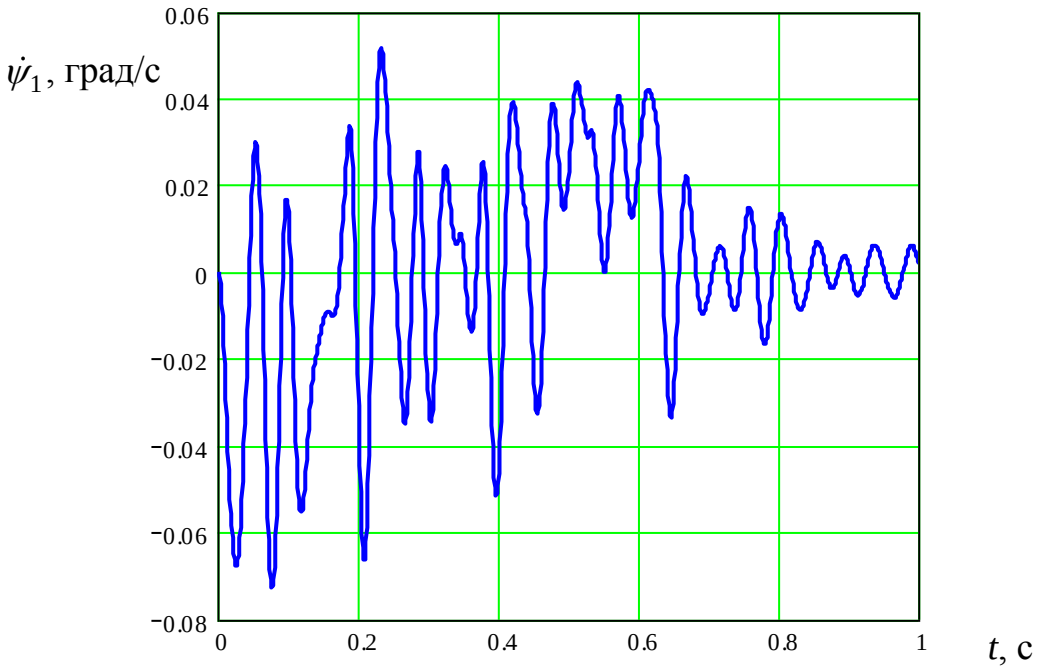


Рисунок 2.7 - Графік зміни швидкості деформації торцевої фрези в часі із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 60^0$

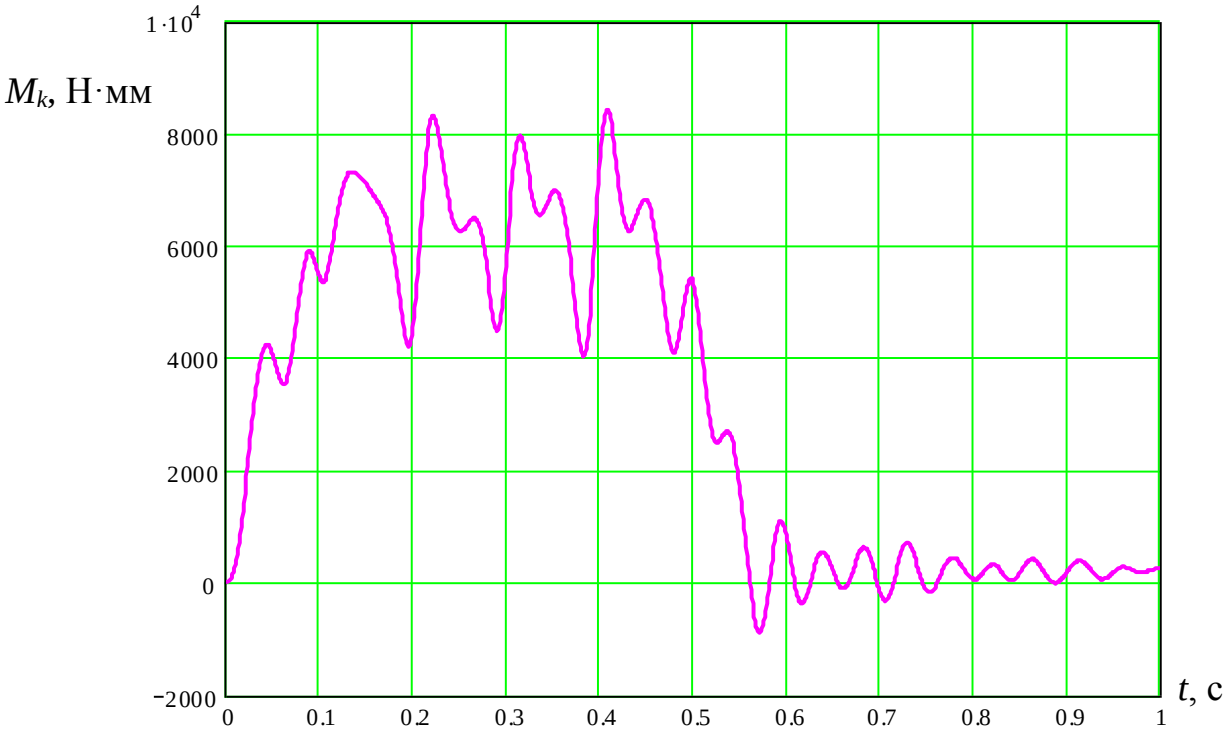


Рисунок 2.8 - Графік зміни динамічного моменту на торцевій фрезі в часі із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$

Рисунок 2.9 - Графік зміни динамічного моменту на торцевій фрезі в часі із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 60^0$

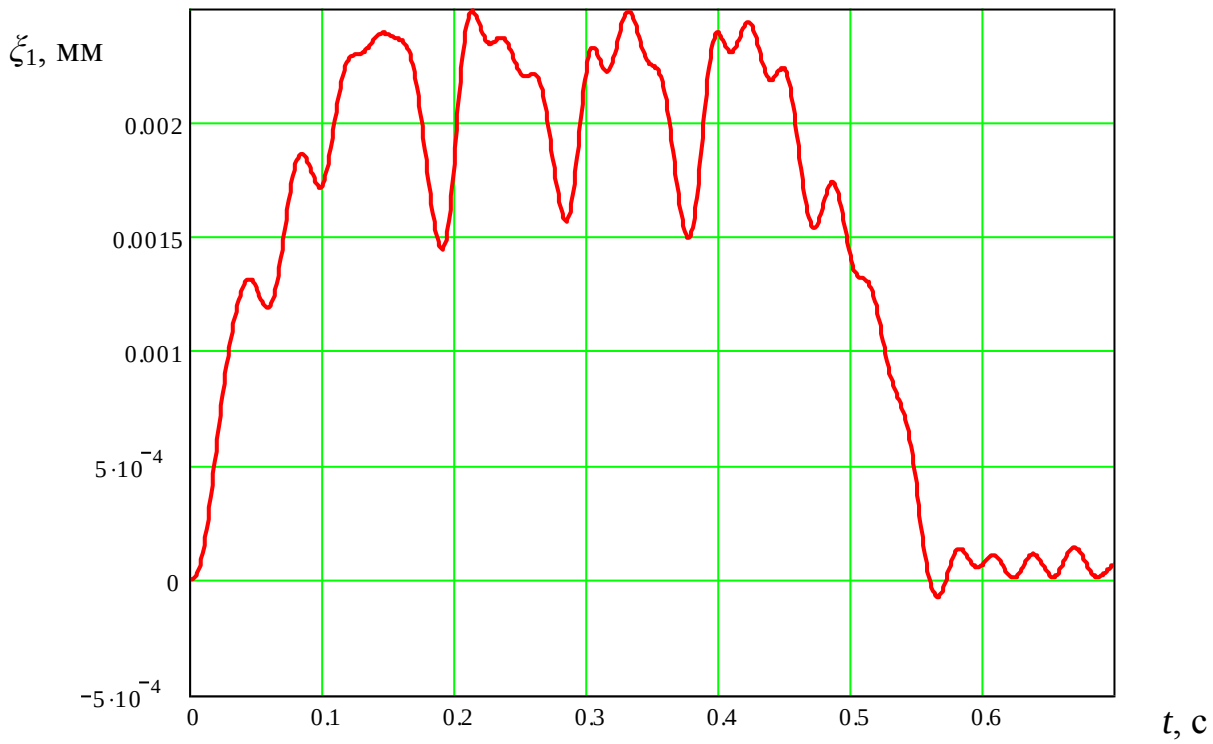


Рисунок 2.10 - Графік зміни величини деформації заготовки в часі із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$

Рисунок 2.11 - Графік зміни величини деформації заготовки в часі із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$

Із представлених графіків встановлено, що кут деформації торцевої фрези (0,24 град) в часі є меншим із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ ніж при $\alpha = 60^0$ (0,28 град), при цьому швидкість деформації торцевої фрези для $\alpha = 45^0$ складає 0,14 рад/с, а для $\alpha = 60^0$ - 0,07 рад/с. Динамічний момент на торцевій фрезі досягає максимального значення 8100 Н·мм при $\alpha = 45^0$, а при $\alpha = 60^0$ максимальний динамічний момент на торцевій фрезі дорівнює $1 \cdot 10^4$ Н·мм. Величина деформації заготовки при $\alpha = 45^0$ дорівнює 0,0025 мм, тоді як при $\alpha = 60^0$ ця деформація є вищою і становить 0,0032 мм. Ці значення можна пояснити тим, що при збільшенні кута повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою зростає кількість зубів фрези, що одночасно беруть участь в процесі різання, відповідно і зростають навантаження на елементи системи. Це призводить до збільшення величин деформації заготовки та торцевої фрези, а відповідно і до підвищення шорсткості обробленої поверхні. Тому при обробці

ширших заготовок потрібно зменшувати подачу та глибину різання торцевою фрезою.

2.2. Експериментальні дослідження шорсткості поверхні після фрезерування торцевою фрезою

Під час виконання дипломної роботи проведено експериментальні дослідження шорсткості поверхні після фрезерування торцевою фрезою. При цьому на першому етапі проведено вибір вертикально-фрезерного верстата, заготовок із сталі 45, торцевої фрези та приладу для вимірювання шорсткості обробленої поверхні.

Другий етап досліджень включав проведення експериментальних дослідження шорсткості плоскої поверхні заготовки із сталі 45 після фрезерування торцевою фрезою від зміни трьох основних технологічних факторів: подачі на зуб фрези, глибини різання та швидкості різання.

Шорсткість обробленої поверхні визначали із профілограм, записаних за допомогою профілографа-профілометра V-314. Одержані дані піддавались розшифровуванню та статистичній обробці результатів.

Для визначення впливу технологічних факторів процесу фрезерування торцевою фрезою заготовок із сталі 45 (незалежних факторів x_i) на шорсткість обробленої поверхні (параметр оптимізації *Ra*) проведено експерименти на трьох рівнях варіювання, тобто встановлення шорсткості обробленої поверхні від зміни трьох основних факторів: подачі на зуб торцевої фрези *Sz*, глибини різання *t* та швидкості різання *V*, тобто $Ra=f(Sz,t,V)$.

Функцію відгуку, тобто шорсткість обробленої поверхні $Ra=f(Sz,t,V)$, одержану в результаті експериментальних досліджень, представлено у вигляді повного квадратичного полінома. Результати вибору рівнів варіювання і кодування незалежних змінних факторів представлено у таблиці 2.1.

Вибір факторів ґрунтувався на результатах попередніх теоретичних та експериментальних досліджень, тому остаточно вибрано три фактори, які

найбільше впливають на шорсткість обробленої поверхні:

- подача на зуб торцевої фрези *Sz*, яку кодували індексом x_1;

- глибина різання *t*, яку кодували індексом x_2;

- швидкість різання *V*, яку кодували індексом x_3.

Таблиця 2.1 - Рівні зміни та кодування факторів при дослідженні шорсткості поверхні після фрезерування торцевою фрезою

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Подача на зуб торцевої фрези	*Sz*, мм/зуб	x_1	0,1	0,4 (+1)	0,3 (0)	0,2 (-1)
Глибина різання	*t*, мм	x_2	0,5	1,4 (+1)	0,9 (0)	0,4 (-1)
Швидкість різання	*V*, м/хв	x_3	5	30 (+1)	25 (0)	20 (-1)

Значення коефіцієнтів рівняння регресії (виведеного полінома другого порядку) 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 45	4,529	2,609	0,457	-1,208	0,248	-0,642	-0,115	0,298	-0,102	0,263

Загальний вигляд рівняння шорсткості поверхні після фрезерування торцевою фрезою залежно від зміни: подачі на зуб торцевої фрези *Sz*, глибини різання *t* та швидкості різання *V*, тобто $Ra_{(x_1,x_2,x_3)} = f(Sz,t,V)$ за даними експериментів у кодованих величинах дорівнює:

- під час фрезерування торцевою фрезою заготовок із сталі 45:

$$Ra_{(x_1,x_2,x_3)} = 4,529 + 2,609x_1 + 0,457x_2 - 1,208x_3 + 0,248x_1x_2 - 0,642x_1x_3 - \\ -0,115x_2x_3 + 0,298x_1^2 - 0,102x_2^2 + 0,263x_3^2, \tag{2.19}$$

де x_1 - кодоване значення подачі на зуб торцевої фрези; x_2 - кодоване значення

глибини різання; x_3 - кодоване значення швидкості різання.

Усі коефіцієнти рівняння (2.19) є значущими.

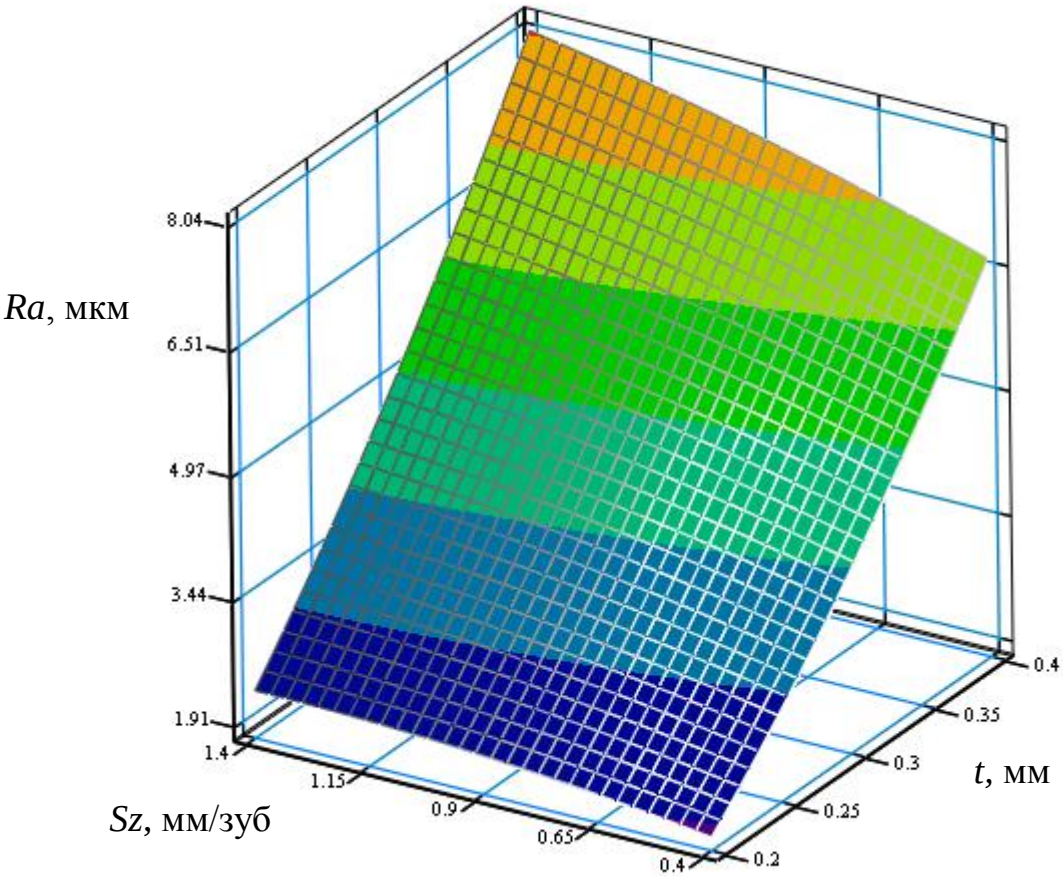
Після перетворення рівняння регресії (2.19) представлено в такому вигляді - під час фрезерування торцевою фрезою заготовок із сталі 45:

$$Ra_{(Sz,t,V)} = 1,52 + 35,846Sz + 1,3104t - 0,341V + 4,96Szt - 1,284SzV - \\ -0,046tV + 29,9Sz^2 - 0,408t^2 + 0,011V^2. \quad (2.20)$$

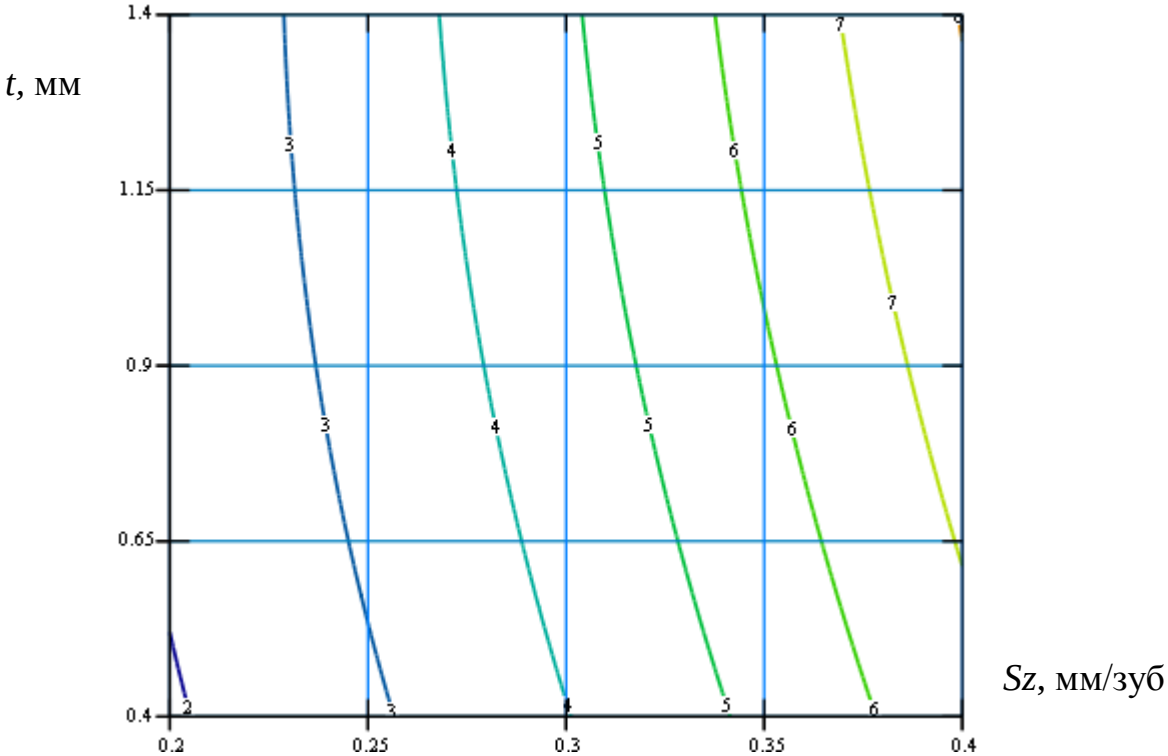
Одержані рівняння регресії (2.19) та (2.20) дійсні у таких межах змінних початкових факторів:

$0,2 \le Sz \le 0,4$ (мм/зуб); $0,4 \le t \le 1,4$ (мм); $20 \le V \le 30$ (м/хв).

На рисунках 2.12 – 2.16 представлено графічні залежності шорсткості плоскої поверхні після фрезерування торцевою фрезою заготовок із сталі 45, що одержані з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

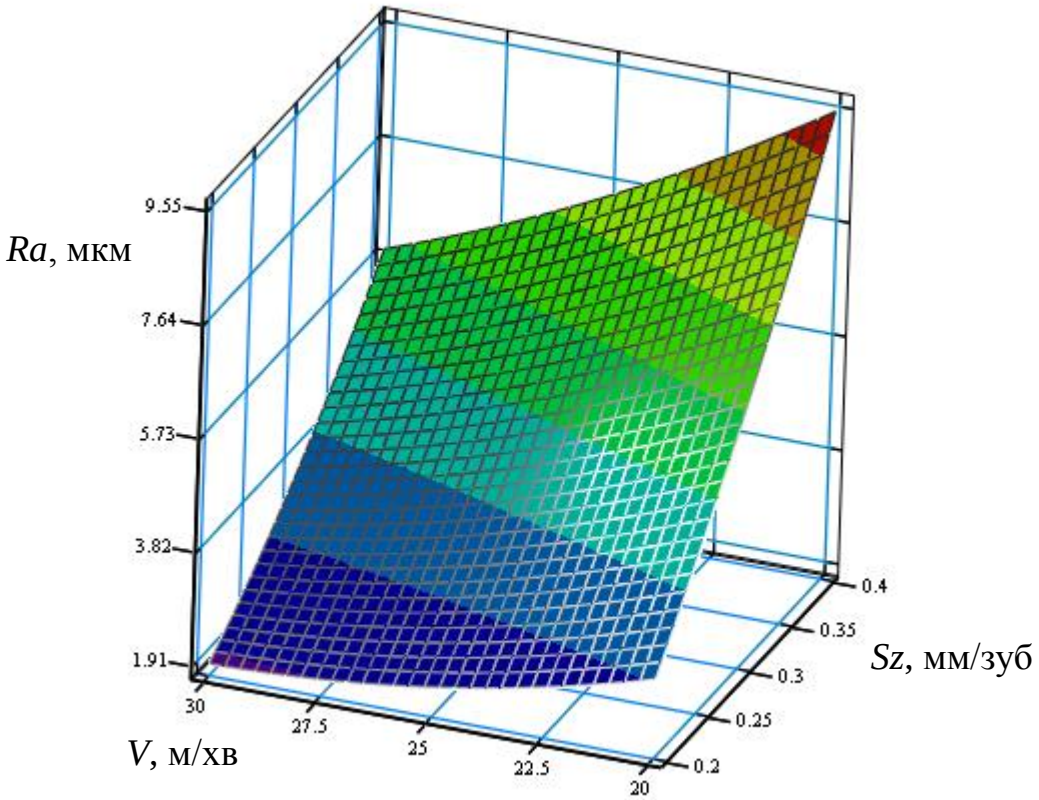


а)

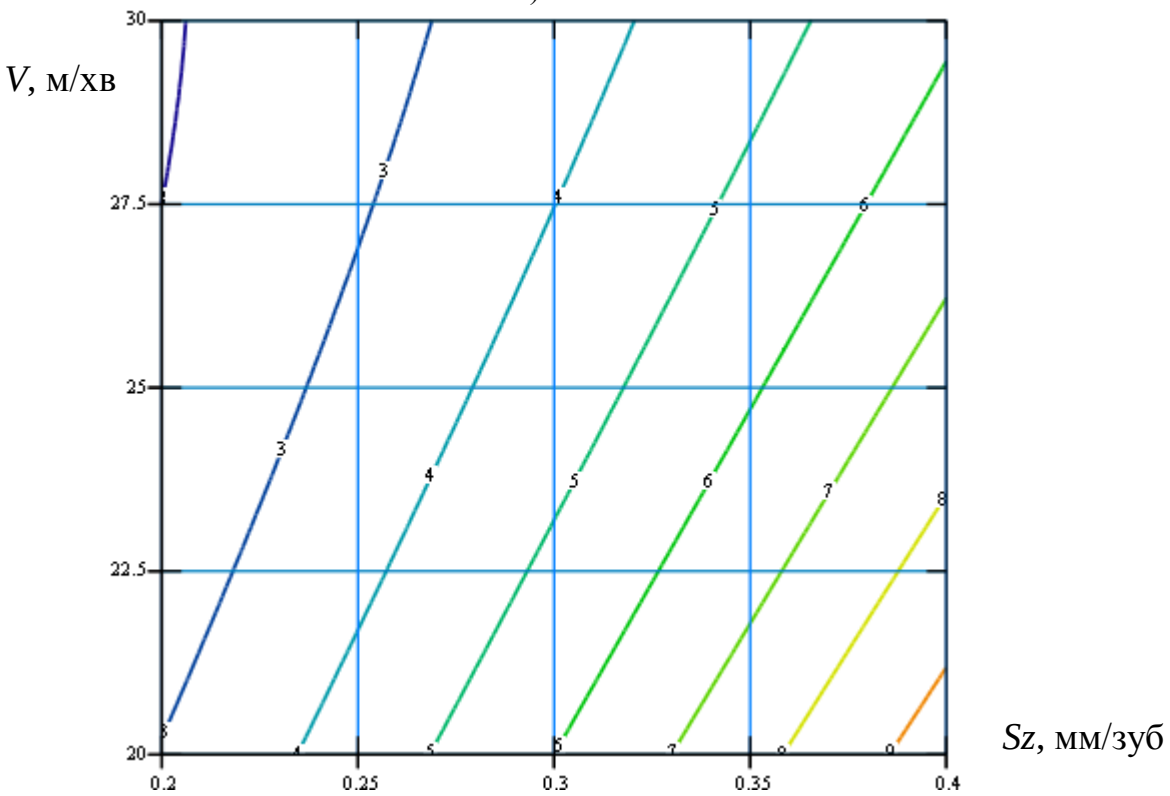


б)

Рисунок 2.12 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості поверхні після фрезерування торцевою фрезою від подачі на зуб торцевої фрези *Sz* та глибини різання *t* (*V*=25м/хв)

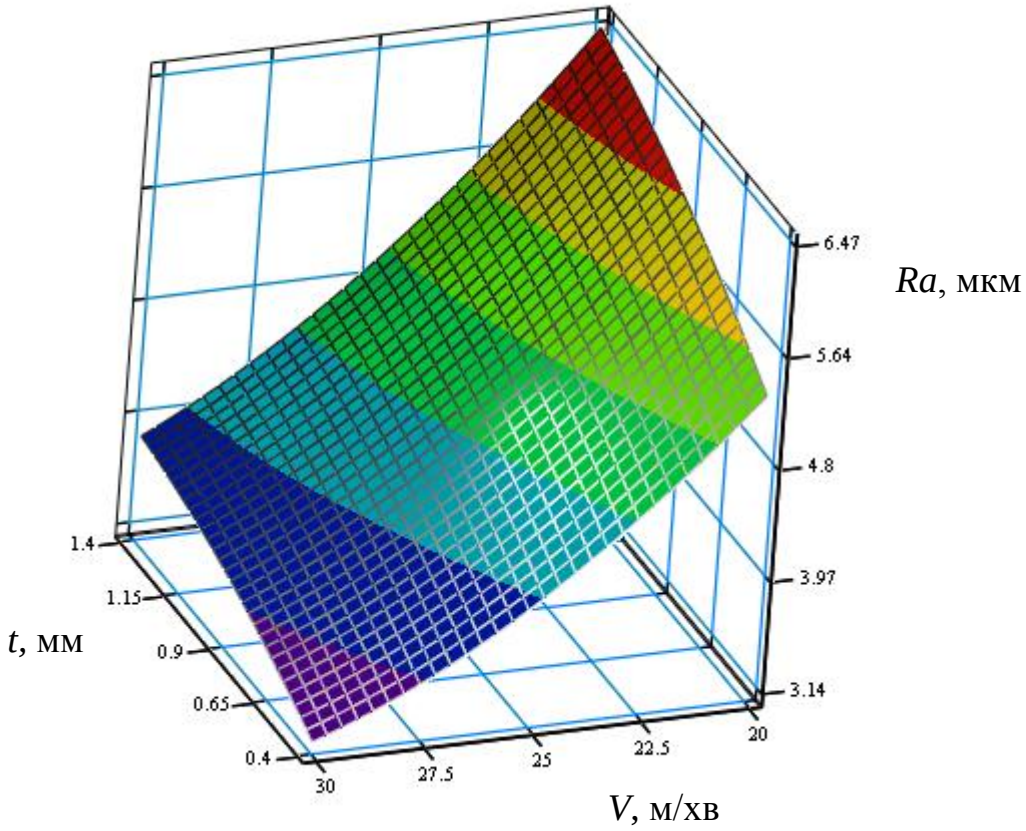


а)

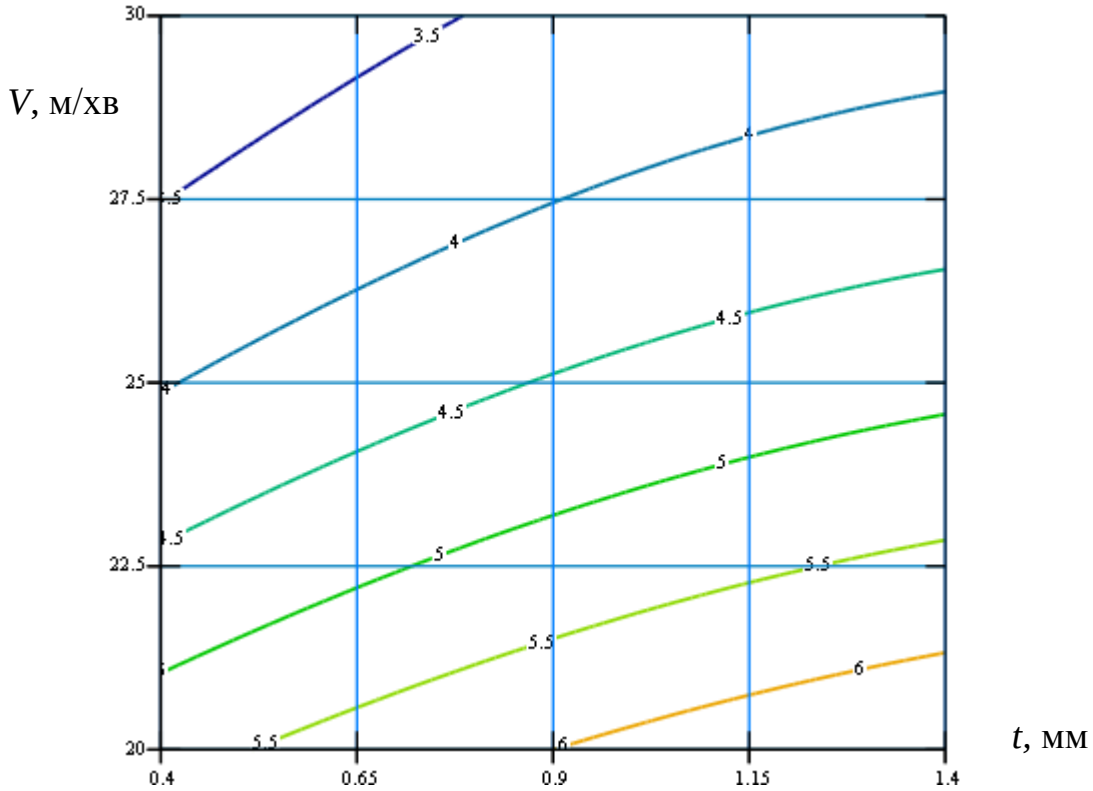


б)

Рисунок 2.13 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості поверхні після фрезерування торцевою фрезою від подачі на зуб торцевої фрези *Sz* та швидкості різання *V* (*t*=0,9 мм)



а)



б)

Рисунок 2.14 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості поверхні після фрезерування торцевою фрезою від глибини різання *t* та швидкості різання *V* (*Sz* =0,3 мм/зуб)

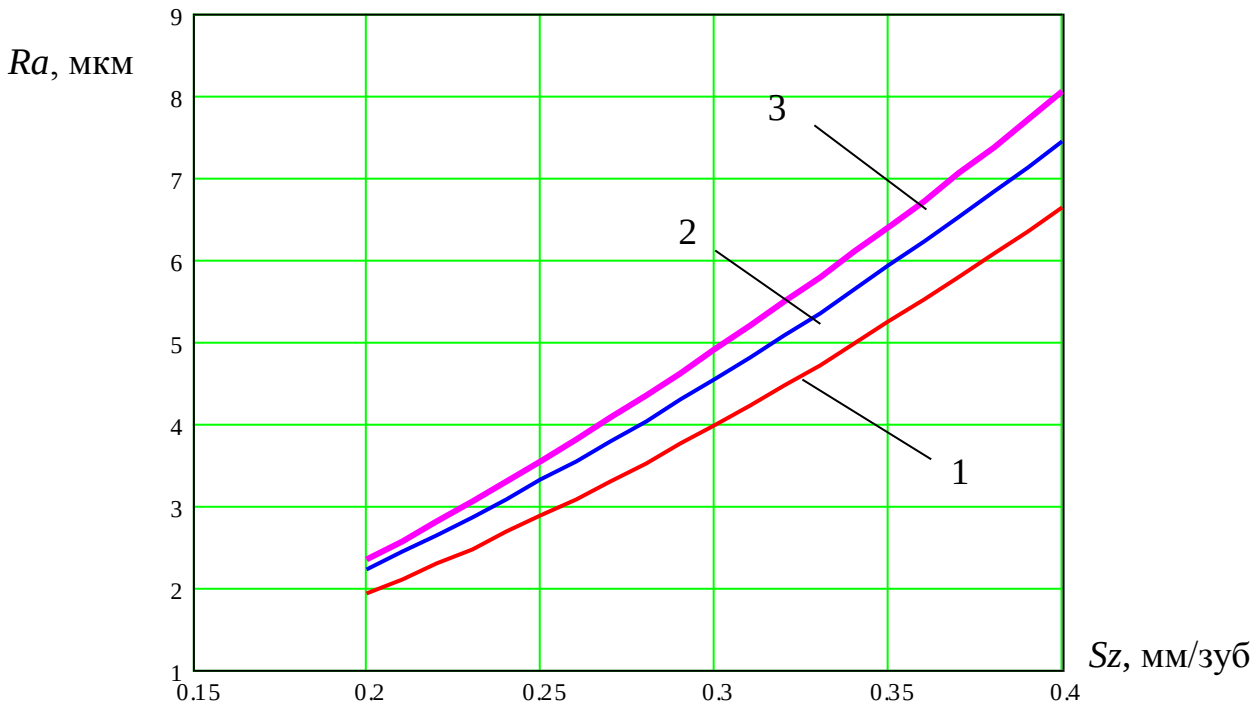


Рисунок 2.15 – Графіки залежності шорсткості поверхні після фрезерування торцевою фрезою від подачі на зуб торцевої фрези *Sz*: *V*=25м/хв: 1) *t* =0,4мм; 2) *t* =0,9мм; 3) *t* =1,4мм

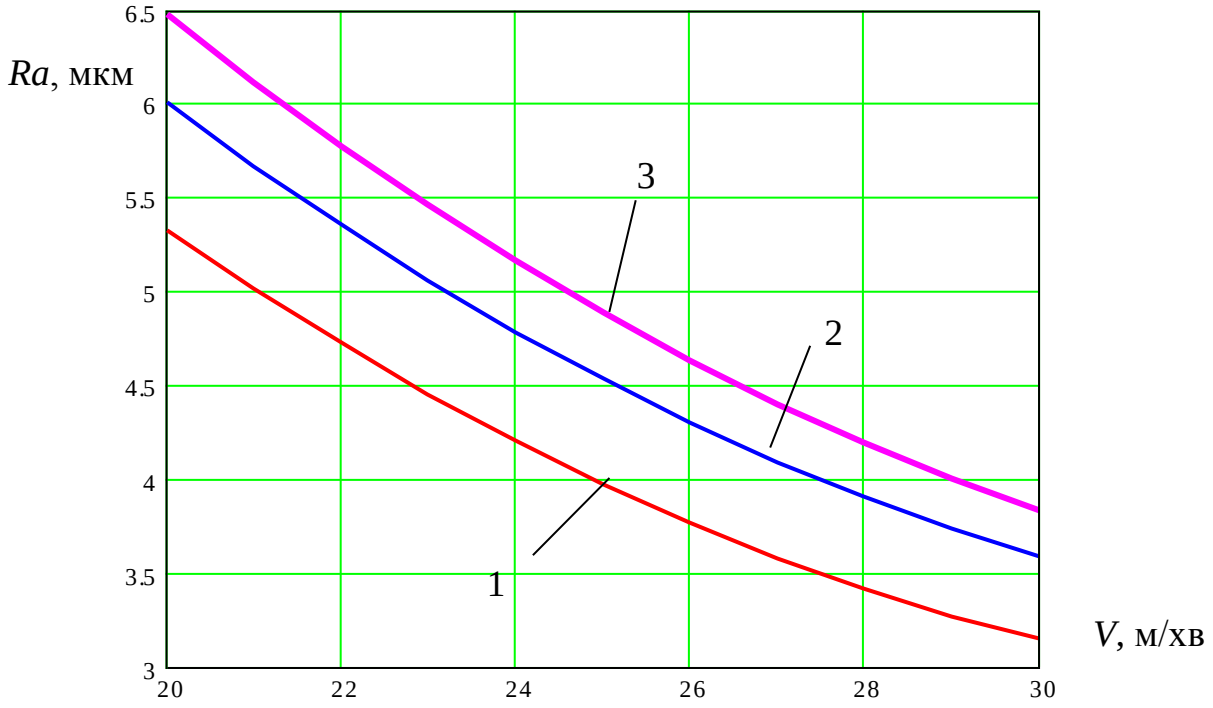


Рисунок 2.16 – Графіки залежності шорсткості поверхні після фрезерування торцевою фрезою від швидкості різання *V*, *Sz* =0,3мм/зуб: 1) *t* =0,4мм; 2) *t* =0,9мм; 3) *t* =1,4мм

На основі даних експериментальних досліджень, рівнянь регресії (2.19), (2.20) та графіків на рисунках 2.12-2.16 встановлено, що найбільший вплив на шорсткість обробленої поверхні має подача на зуб фрези, а найменший – глибина різання. При цьому збільшення подачі на зуб торцевої фрези і глибини різання призводить до зростання шорсткості обробленої поверхні, а збільшення швидкості різання сприяє зменшенню шорсткості обробленої поверхні.

Максимальне значення шорсткості плоскої поверхні після фрезерування торцевою фрезою становить 10,36 мкм, а мінімальне – 1,62 мкм. Збільшення подачі на зуб торцевої фрези *Sz* від 0,2 мм/зуб до 0,4 мм/зуб призводить до зростання шорсткості плоскої поверхні після фрезерування в 3,22 рази. Збільшення глибини різання *t* від 0,4 мм до 1,4 мм призводить до зростання шорсткості плоскої поверхні після фрезерування в 1,2 рази, а збільшення швидкості різання *V* від 20 до 30 м/хв призводить до зменшення шорсткості плоскої поверхні після фрезерування в 1,64 рази.

2.3 Висновки

В розділі представлено дослідження динаміки процесу фрезерування плоскої поверхні торцевою фрезою, побудовано графічні залежності зміни: кута деформації торцевої фрези в часі із кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ та $\alpha = 60^0$; швидкості деформації торцевої фрези в часі із кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ та $\alpha = 60^0$; динамічного моменту на торцевій фрезі в часі величини деформації заготовки в часі із кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ та $\alpha = 60^0$.

Із представлених графіків встановлено, що кут деформації торцевої фрези (0,24 град) в часі є меншим із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ ніж при $\alpha = 60^0$ (0,28 град), при цьому

швидкість деформації торцевої фрези для $\alpha = 45^0$ складає 0,14 рад/с, а для $\alpha = 60^0$ - 0,07 рад/с. Динамічний момент на торцевій фрезі досягає максимального значення 8100 Н·мм при $\alpha = 45^0$, а при $\alpha = 60^0$ максимальний динамічний момент на торцевій фрезі дорівнює $1 \cdot 10^4$ Н·мм. Величина деформації заготовки при $\alpha = 45^0$ дорівнює 0,0025 мм, тоді як при $\alpha = 60^0$ ця деформація є вищою і становить 0,0032 мм. Ці значення можна пояснити тим, що при збільшенні кута повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою зростає кількість зубів фрези, що одночасно беруть участь в процесі різання, відповідно і зростають навантаження на елементи системи. Це призводить до збільшення величин деформації заготовки та торцевої фрези, а відповідно і до підвищення шорсткості обробленої поверхні. Тому при обробці ширших заготовок потрібно зменшувати подачу та глибину різання торцевою фрезою.

Також представлено результати експериментальних досліджень шорсткості поверхні після фрезерування торцевою фрезою. Встановлено, що найбільший вплив на шорсткість обробленої поверхні має подача на зуб фрези, а найменший – глибина різання. При цьому збільшення подачі на зуб торцевої фрези і глибини різання призводить до зростання шорсткості обробленої поверхні, а збільшення швидкості різання сприяє зменшенню шорсткості обробленої поверхні.

Максимальне значення шорсткості плоскої поверхні після фрезерування торцевою фрезою становить 10,36 мкм, а мінімальне – 1,62 мкм. Збільшення подачі на зуб торцевої фрези *Sz* від 0,2 мм/зуб до 0,4 мм/зуб призводить до зростання шорсткості плоскої поверхні після фрезерування в 3,22 рази. Збільшення глибини різання *t* від 0,4 мм до 1,4 мм призводить до зростання шорсткості плоскої поверхні після фрезерування в 1,2 рази, а збільшення швидкості різання *V* від 20 до 30 м/хв призводить до зменшення шорсткості плоскої поверхні після фрезерування в 1,64 рази.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Аналіз технологічності конструкції деталі

Для розрахунку та аналізу показників технологічності корпуса АЛАЯ 731.114.014 використовуємо дані з таблиці 1.1.

Визначаємо коефіцієнт точності обробки корпуса АЛАЯ 731.114.014

$$К_{Т.Ч.} = 1 - \frac{1}{Т_{ср}}, \tag{3.1}$$

$$Т_{ср} = \frac{\sum Т_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{14 \cdot 29 + 12 \cdot 14 + 7 \cdot 1}{44} = 13,2;$$

$$К_{Т.Ч.} = 1 - \frac{1}{13,2} = 0,92.$$

Якщо $К_{тч}$=0,92 > 0,8, то корпус АЛАЯ 731.114.014 є технологічний.

Визначаємо коефіцієнт шорсткості поверхонь корпуса АЛАЯ 731.114.014

$$К_{ш} = \frac{1}{Б_{ср}}, \tag{3.2}$$

$$Б_{ср} = \frac{\sum Б_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{5 \cdot 1 + 4 \cdot 14 + 3 \cdot 29}{44} = 3,36,$$

$$К_{ш} = \frac{1}{3,36} = 0,3.$$

Якщо $К_{ш}$=0,3 > 0,16, то корпус АЛАЯ 731.114.014 є технологічний.

Визначаємо коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів корпуса АЛАЯ 731.114.014

$$К_{у.е.} = \frac{N_{у.е}}{N_е} = \frac{35}{44} = 0,80. \tag{3.3}$$

Якщо $К_{уе}$=0,8 > 0,6, то корпус АЛАЯ 731.114.014 є технологічний.

Отже, деталь “Корпус” АЛАЯ 731.114.014 є технологічною і не потребує коректувань креслення, конструкції та точності оброблених поверхонь.

3.2. Вибір способу одержання заготовки

Для виготовлення корпуса АЛАЯ 731.114.014 порівнюємо два методи одержання заготовок.

Перший метод - лиття під тиском.

Другий метод - лиття в піщані форми.

Загальні табличні припуски корпуса АЛАЯ 731.114.014 представлено в таблиці 3.1.

Об’єм та маса заготовок:

$$Q = q + m_{пр}, \quad (3.1)$$

q=0,44кг – маса деталі;

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

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 під тиском: клас точності– 7 клас; ряд припусків– 1				
Зовнішня поверхня 260	Rz40	1,6	Не оброблюється	260±0,8
Зовнішня поверхня 130	Rz40	1,2	Не оброблюється	130±0,6
Зовнішня торцева поверхня 36h14($_{-0,62}$)	Ra 12,4	0,9	1,1	37,1±0,55
Два наскрізних отвори ∅12H14($^{+0,43}$)	Ra 12,4	0,7	1,0 × 2=2,0	∅10±0,35

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4	5
Наскрізний отвір ∅15H7($^{+0,018}$)	Ra 1,6	0,7	1,4 × 2=2,8	∅12,2±0,35
2) лиття в піщані форми клас точності розмірів– 11 клас; ряд припусків – 3.				
Зовнішня поверхня 260	Rz40	6,4	Не оброблюється	260±3,2
Зовнішня поверхня 130	Rz40	5,0	Не оброблюється	130±2,5
Зовнішня торцева поверхня 36h14($_{-0,62}$)	Ra 12,4	3,6	3,4	39,4±1,8

Для циліндричної форми об’єм:

$$V_{пр} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4}. \qquad (3.3)$$

Визначаємо об’єм припусків:

– лиття під тиском:

$$V_{пр1} = 2375{,}04 \cdot 5 = 11875{,}2 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр2} = 5157{,}48 \cdot 1{,}1 = 5673{,}23 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр3} = \frac{\pi \cdot (15^2 - 12{,}2^2) \cdot 2}{4} = 119{,}57 \text{ мм}^3;$$

$$V_{п4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot (12^2 - 10^2) \cdot 2}{4} = 138{,}16 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр5} = 8 \cdot \frac{\pi \cdot 2{,}5^2 \cdot 6}{4} = 235{,}5 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр6} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 9{,}5}{4} = 238{,}64 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр7} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 3{,}0^2 \cdot 5}{4} = 105{,}98 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр8} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 7}{4} = 175{,}84 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр9} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 2}{4} = 78{,}5 \text{ мм}^3.$$

$$V_{пр} = \sum V_{пр_i};$$

$$\sum V_{пр1} = 11875{,}2+5673{,}23+119{,}57+138{,}16+235{,}5+238{,}64+105{,}98+175{,}84+78{,}5 =$$
$$= 18640{,}62 \text{ мм}^3 = 18{,}64 \text{ см}^3.$$

– лиття в піщані форми:

$$V_{пр1} = 2375{,}04 \cdot 5 = 11875{,}2 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр2} = 5157{,}48 \cdot 3{,}4 = 17535{,}43 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр3} = \frac{\pi \cdot 15^2 \cdot 2}{4} = 353{,}25 \text{ мм}^3;$$

$$V_{п4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2 \cdot 2}{4} = 452{,}16 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр5} = 8 \cdot \frac{\pi \cdot 2{,}5^2 \cdot 6}{4} = 235{,}5 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр6} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 9{,}5}{4} = 238{,}64 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр7} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 3{,}0^2 \cdot 5}{4} = 105{,}98 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр8} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 7}{4} = 175{,}84 \text{ мм}^3;$$

$$V_{пр9} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 2}{4} = 78{,}5 \text{ мм}^3.$$

$$V_{пр} = \sum V_{пр_i};$$

$$\sum V_{пр1} = 11875{,}2+17535{,}43+353{,}25+452{,}16+235{,}5+238{,}64+105{,}98+175{,}84+78{,}5 =$$
$$= 31050{,}5 \text{ мм}^3 = 31{,}05 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

– лиття під тиском:

$$m_{пр1} = 18{,}64 \cdot 2{,}6 = 48{,}5 \text{ г} = 0{,}049 \text{ кг}.$$

– лиття в піщані форми:

$$m_{пр2} = 31{,}05 \cdot 2{,}6 = 80{,}73 \text{ г} = 0{,}081 \text{ кг}.$$

Визначаємо маси заготовок:

– лиття під тиском:

$$Q_1 = 0{,}44 + 0{,}049 = 0{,}489 \text{ кг}.$$

– лиття в піщані форми:

$$Q_2 = 0{,}44 + 0{,}081 = 0{,}521 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$К_{в.м.} = \frac{q}{Q}, \qquad (3.4)$$

– для лиття під тиском Q=0,489 кг:

$$К_{в.м.1} = \frac{0{,}44}{0{,}489} = 0{,}9;$$

– для лиття в піщані форми Q=0,521 кг:

$$К_{в.м.2} = \frac{0{,}44}{0{,}521} = 0{,}84.$$

Перший варіант заготовки є оптимальним і приймається для подальшої розробки технологічного процесу.

3.3. Формування технологічного процесу

Запропоновані маршрути обробки корпуса АЛАЯ 731.114.014 представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 –Маршрути обробки корпуса АЛАЯ 731.114.014

№ пов.	Вид поверхні, позначення	Шорсткість, мкм	Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь	
			1	2
1	2	3	4	5
1	Зовнішня поверхня 260±0,8; 130±0,6	Rz 40	Не підлягає різанню	–
2	Зовнішня торцева поверхня 36h14($_{-0,62}$)	Ra 12,4	Фрезерування торцевою фрезою	–
3	Криволінійний паз b=3H14($^{+0,3}$); 5±0,1; 122±0,2	Ra 12,4	Фрезерування кінцевою фрезою	–
4-11	Вісім глухих отворів ∅2,5H14($^{+0,25}$); l=6; 30±0,2; 90±0,2; 40±0,2	Ra 12,4	Центрування Свердління	Свердління по кондуктору
12-19	Шість внутрішніх фасок 0,5×45°; 30±0,2; 90±0,2; 40±0,2	Ra 12,4	Формування комбінованим інструментом	Зенкування
20-21	Два глухих отвори ∅3,3$^{+0,16}$; l=9,5; 20±0,1 під різь M4-7H;	Ra 6,2	Центрування Свердління	Свердління по кондуктору
22-23	Дві внутрішні фаски 0,5×45°; 20±0,1	Ra12,4	Формування комбінованим інструментом	Зенкування
24-25	Два глухих різевих отвори M4-7H; l=6; 20±0,1; Ra 6,2	Ra6,2	Нарізання різі мітчиком	–
26-27	Два наскрізних отвори ∅3,3$^{+0,16}$; l=7; 250±0,2 під різь M4-7H;	Ra6,2	Центрування Свердління	Свердління по кондуктору
28-29	Дві внутрішні фаски 2×45°; 250±0,2	Ra12,4	Зенкування	–
30, 31	Два наскрізних різевих отвори M4-7H; l=7; 250±0,2	Ra6,2	Нарізання різі мітчиком	–

Закінчення таблиці 3.3

1	2	3	4	5
32	Наскрізний отвір ∅15Н7($^{+0,018}$); l=2; 18±0,1	Ra1,6	Зенкерування Розвертання чорнове Розвертання чистове	–
33, 34	Два наскрізних отвори ∅5Н14($^{+0,3}$); l=2; 178±0,2	Ra 12,4	Центрування Свердління	Свердління по кондуктору
35-37	Три глухих отвори ∅2,5$^{+0,14}$; l=5; 10±0,1; 5±0,2 під різь М3-7Н	Ra 6,2	Центрування Свердління	Свердління по кондуктору
38-40	Три внутрішні фаски 0,5×45°; 10±0,1; 5±0,2	Ra12,4	Формування комбінованим інструментом	Зенкування
41-43	Три глухих різевих отвори М3-7Н; l=6; 10±0,1; 5±0,2	Ra 6,2	Нарізання різі мітчиком	–
44-45	Два наскрізних отвори ∅12Н14($^{+0,43}$); l=2; 18±0,1	Ra 12,4	Розсвердлювання	–

Остаточно прийнятий маршрут обробки.

005 Свердлильна з ЧПК.

1. Центрувати сім отворів 26, 27, 33, 34, 35, 36, 37, в розміри ∅1,0$^{+0,10}$; ∅2,12$^{+0,12}$; 1,3; 0,97$^{+0,06}$; 250±0,2; 178±0,2; 10±0,1; 5±0,2.

2. Свердлити три глухих отвори 35, 36, 37 під різь М3-7Н з формуванням трьох фасок 38 ,39, 40, в розміри ∅2,5$^{+0,14}$; l=5; 10±0,1; 5±0,2; 0,5×45°.

3. Свердлити два отвори 33, 34, в розміри ∅5Н14($^{+0,3}$); l=2; 178±0,2.

4. Свердлити два отвори 26, 27 під різь М4-7Н з формуванням двох фасок 28, 29, в розміри ∅3,3$^{+0,16}$; l=7; 250±0,2; 2×45°.

5. Нарізати різь 41, 43 в двох отворах, в розміри М3-7Н; l=6; 10±0,1; 5±0,2.

6. Нарізати різь 30, 31 в двох отворах, в розміри М4-7Н; l=7; 250±0,2.

7. Перевірити розміри: М3-7Н; l=6; 10±0,1; 5±0,2; 0,5×45°; М4-7Н; l=7; 250±0,2; ∅5Н14($^{+0,3}$); l=2; 178±0,2.

Контроль 40%.

010 Програмна з ЧПК.

1. Фрезерувати торець2, в розмір 36h14($_{-0,62}$).

2. Центрувати одинадцять отворів 4-11, 20, 21 в розміри ∅1,0$^{+0,10}$; ∅2,12$^{+0,12}$; 1,3; 0,97$^{+0,06}$; 30±0,2; 90±0,2; 40±0,2; 20±0,1.

3. Свердлити отвір, в розміри ∅3$^{+0,18}$; l=5±0,1.

4. Фрезерувати паз 3 по контуру, в розміри b=3Н14($^{+0,3}$); 5±0,1; 122±0,2.

5. Свердлити вісім отворів 4-11 з формуванням восьми фасок 12-19, в розміри ∅2,5Н14($^{+0,25}$); l=6; 30±0,2; 90±0,2; 40±0,2; 0,5×45°.

6. Свердлити два отвори 20, 21 під різь М4-7Н, в розміри ∅3,3$^{+0,16}$; l=9,5; 20±0,1.

7. Зенкувати дві фаски 22, 23, в розміри 0,5×45°; 20±0,1.

8. Нарізати різьбу 24, 25 в двох глухих отворах, в розміри М4-7Н; l=6; 20±0,1.

9. Перевірити розміри: 36h14($_{-0,62}$); b=3Н14($^{+0,3}$); 5±0,1; 122±0,2; ∅2,5Н14($^{+0,25}$); l=6; 30±0,2; 90±0,2; 40±0,2; 0,5×45°; М4-7Н; l=6; 20±0,1.

Контроль 40%.

015 Вертикально-свердлильна.

1. Розсвердлити отвір 44, в розміри ∅12Н14($^{+0,43}$); l=2; 18±0,1.

2. Перевірити розміри: ∅12Н14($^{+0,43}$); l=2; 18±0,1.

Операція 020 Вертикально-свердлильна.

1. Розсвердлити отвір 45, в розміри ∅12Н14($^{+0,43}$); l=2; 18±0,1.

2. Перевірити розміри: ∅12Н14($^{+0,43}$); l=2; 18±0,1.

025 Свердлильна з ЧПК.

1. Зенкерувати отвір 32, в розміри ∅14,62$^{+0,18}$; l=2; 18±0,1.

2. Розвернути отвір 32, в розміри ∅14,915$^{+0,043}$; l=2; 18±0,1.

3. Розвернути отвір 32, в розміри $\varnothing 15^{+0,018}$; l=2; 18±0,1.

4. Перевірити розміри: $\varnothing 15^{+0,018}$; 18±0,1.

Операція 030 Контроль.

3.4. Визначення припусків на оброблення

Припуски на поверхні представлено в таблиці 3.4.

Габаритні розміри заготовки: 260±0,8 × 130±0,6 × 37,1±0,45.

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
Зовнішня поверхня $36h14(_{-0,62})$					
Фрезерування торцевою фрезою	14	Ra12,4	0,62	1,1	$36_{-0,62}$
Заготовка	7-мий кл.	R_z40	0,9	–	37,1±0,45
Два наскрізних отвори $\varnothing 12H14(^{+0,43})$					
Розсвердлювання	14	Ra12,4	0,43	1,0 × 2=2,0	$\varnothing 12^{+0,43}$
Заготовка	7-мий кл.	R_z40	0,7	–	∅10±0,35
Паз $b=3H14(^{+0,3})$; 5±0,1					
Фрезерування кінцевою фрезою	14	Ra12,4	0,3	3	$3^{+0,3}$
Заготовка	7-мий кл.	Rz40	–	–	Суцільний матеріал

3.5. Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання та інструменти представлено в додатках.

Остаточні результати режимів різання корпуса АЛАЯ 731.114.014

представлено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 –Таблиця режимів різання корпуса АЛАЯ 732.131.114

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T_m, хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S_m, мм/хв	T_o, хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005. Свердлильна з ЧПК										
Центрувати сім отворів 26, 27, 33, 34, 35, 36, 37, в розміри $\varnothing 1{,}0^{+0{,}10}$; $\varnothing 2{,}12^{+0{,}12}$; 1,3; $0{,}97^{+0{,}06}$; 250±0,2; 178±0,2; 10±0,1; 5±0,2.	0,5	5,27	7	17	0,11	1402	13,7	166	0,21	0,14
Перехід 3 Свердлити три глухих отвори 35, 36, 37 під різь М3-7Н з формуванням трьох фасок 38 ,39, 40, в розміри $\varnothing 2{,}5^{+0{,}14}$; l=5; 10±0,1; 5±0,2; 0,5×45°.	1,25	8,5	3	12	0,11	1402	11,1	167	0,14	0,01
Перехід 4 Свердлити два отвори 33, 34, в розміри $\varnothing 5H14(^{+0{,}3})$; l=2; 178±0,2.	2,5	6,5	2	17	0,11	1402	21	184	0,06	1,7
Перехід 5 Свердлити два отвори 26, 27 під різь М4-7Н з формуванням двох фасок 28, 29, в розміри $\varnothing 3{,}3^{+0{,}16}$; l=7; 250±0,2; 2×45°.	1,65	10,5	2	17	0,17	1402	14,4	222	0,11	0,04
Перехід 6 Нарізати різь 41, 43 в двох отворах, в розміри М3-7Н; l=6; 10±0,1; 5±0,2.	0,433	13,5	2	12	0,56	852	8,1	427	0,07	0,07
Перехід 7 Нарізати різь 30, 31 в двох отворах, в розміри М4-7Н; l=7; 250±0,2.	0,606	18,2	2	12	0,75	641	8,1	447	0,07	0,07
010. Програмна з ЧПК										

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фрезерувати торець2, в розмір 36h14($_{-0,62}$).	1,1	282	1	352	S_z, мм/зуб 0,2	762	598	3959	0,08	0,7
Перехід 3										
Центрувати одинадцять отворів 4-11, 20, 21 в розміри ∅1,0$^{+0,10}$; ∅2,12$^{+0,12}$; 1,3; 0,97$^{+0,06}$; 30±0,2; 90±0,2; 40±0,2; 20±0,1.	0,5	5,27	11	17	0,11	2702	26,2	321	0,17	0,12
Перехід 4 Свердлити отвір, в розміри ∅3$^{+0,18}$; l=5±0,1.	1,5	8,5	1	17	0,17	2002	18,8	321	0,04	0,04
Перехід 5 Фрезерувати паз 3 по контуру, в розміри b=3H14($^{+0,3}$); 5±0,1; 122±0,2.	3	648,8	1	32	S_z, мм/зуб 0,03	3154	31	377	1,7	0,09
Перехід 6 Свердлити вісім отворів 4-11 з формуванням восьми фасок 12-19, в розміри ∅2,5H14($^{+0,25}$); l=6; 30±0,2; 90±0,2; 40±0,2; 0,5×45°.	1,25	10	8	12	0,11	2002	15,6	241	0,32	0,01
Перехід 7 Свердлити два отвори 20, 21 під різь М4-7Н, в розміри ∅3,3$^{+0,16}$; l=9,5; 20±0,1.	1,65	13	2	12	0,17	2002	20,9	321	0,07	0,04
Перехід 8 Зенкувати дві фаски 22, 23, в розміри 0,5×45°; 20±0,1.	0,5	3	2	17	0,12	1402	35,1	142	0,05	0,07
Перехід 9										

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Нарізати різь 24, 25 в двох глухих отворах, в розміри М4-7Н; l=6; 20±0,1.	0,606	16	2	12	0,75	641	8,4	445	0,05	0,04
015. Вертикально-свердлильна										
Розсвердлити отвір 44, в розміри ∅12Н14($^{+0,43}$); l=2; 18±0,1.	1,0	8	1	32	0,65	502	18,7	302	0,04	0,12
020. Вертикально-свердлильна										
Розсвердлити отвір 45, в розміри ∅12Н14($^{+0,43}$); l=2; 18±0,1.	1,0	8	1	32	0,65	502	18,7	302	0,04	0,12
025 Свердлильна з ЧПК										
Зенкерувати отвір 32, в розміри ∅14,62$^{+0,18}$; l=2; 18±0,1.	0,585	7	1	27	0,32	482	21	169	0,07	0,07
Перехід 3 Розвернути отвір 32, в розміри ∅14,915$^{+0,043}$; l=2; 18±0,1.	0,1475	19	1	27	0,95	202	9,7	199	0,12	0,05
Перехід 4 Розвернути отвір 32, в розміри ∅15$^{+0,018}$; l=2; 18±0,1.	0,0425	19	1	27	0,55	262	12,2	140,1	0,12	0,02

Розрахунок технічних норм часу виготовлення корпуса АЛАЯ 732.131.114 представлено в додатках.

Результати розрахунку представлено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Норми часу по операціях

Номер та назва операції	$T_о$, хв	Допоміжний час, $T_д$ хв			$T_{оп}$, хв	Час обслуговування, $T_{об}$, хв			$T_{шт}$, хв.	$T_{п.з.}$, хв.	n, шт	$T_{шт.к.}$, хв
		$T_у$.	$T_{пер}$	$T_{вим}$		$T_{тех.об}$.	$T_{орг.об}$.	$T_{відп}$.				
005 Свердлильна з ЧПК	0,68	–	–	–	–	–	–	–	–	–	900	2,72
010 Програмна з ЧПК	2,52	0,12	0,84	0,46	6,23	0,87			7,1	54,55		7,16
015 Вертикально свердлильна	0,03										900	0,53
020 Вертикально свердлильна	0,03											0,53
025 Свердлильна з ЧПК	0,28											1,12

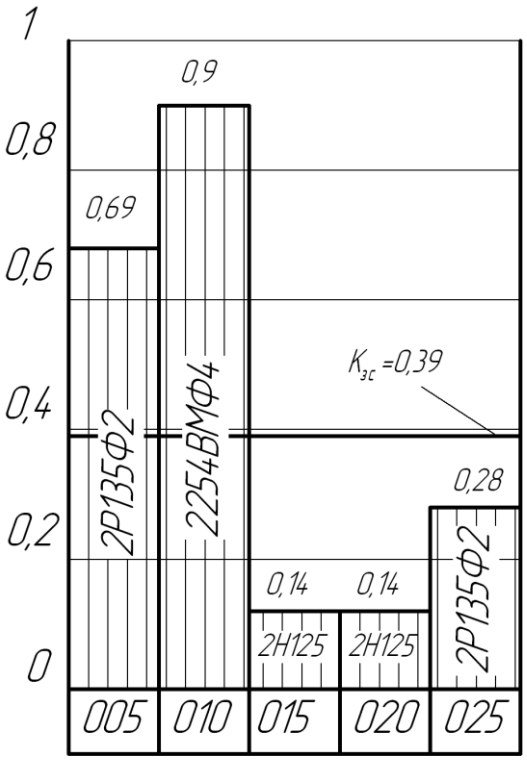


Рисунок 3.1 – Графік завантаження обладнання

3.6. Розрахунок і вибір приводу пристосування

З метою розрахунку сил затиску заготовки на операції 005 свердлильній з ЧПК розглянуто розрахункову схему (рис. 3.5) при свердлінні отвору $\varnothing 5H14(^{+0,3})$ мм.

Необхідна сила для затиску деталі:

$$P_з = \frac{K \cdot M_{кр}}{D_з \cdot \frac{f_2}{\sin\alpha}}, \qquad (3.5)$$

Момент різання [20]:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_м \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_р, \qquad (3.6)$$

де D=5,0 мм – діаметр свердла;

S=0,12 мм/об – подача різання;

Отже, $M_{кр} = 10 \cdot 0{,}005 \cdot 5{,}0^{2,0} \cdot 0{,}12^{0,8} \cdot 1{,}0 = 0{,}23\ Н \cdot м.$

Коефіцієнт запасу К вибираємо згідно [6]:

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6;$$

$$K = 1{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}5 = 3{,}89.$$

Отже, $P_{зат} = \frac{3{,}89 \cdot 0{,}23}{0{,}13 \cdot \left(\frac{0{,}16}{\sin 45}\right)} = 30{,}42$ Н.

Перевіряємо умову затиску

$$P_{зат} \le F_{шт.тяг.} \cdot i, \qquad (3.7)$$

Тягова сила на штоці пневмоциліндра [14]:

$$F_{шт.тяг.} = 0,785 \cdot (D_ц^2 - d_{шт}^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (3.8)$$

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

Передаточне відношення силового механізму:

$$W = \frac{F_{шт.тяг.}}{2tg(\beta + \varphi)} \frac{l_1}{l_2} \cdot \eta, \quad (3.9)$$

Підставляючи дані, одержано

$$W = \frac{2689,2}{2tg(10 + 11)} \frac{57}{56} \cdot 0,9 = 3208\,Н.$$

Умова надійності закріплення:

$$W > Q.$$

В нашому випадку W =3208Н > $P_{зат}$=30,42Н.

Висновок: заготовка буде надійно закріплена при свердлінні на 005 свердлильній з ЧПК операції.

Похибка установки заготовки [9].

$$\Delta\varepsilon_у = \sqrt{\Delta\varepsilon_б^2 + \Delta\varepsilon_з^2 + \Delta\varepsilon_{пр}^2}. \quad (3.10)$$

Похибка радіального базування $\Delta\varepsilon_{б1}$

$$\Delta\varepsilon_{б.1} = 0,5TD\frac{1}{\sin\alpha}, \quad (3.11)$$

Підставляючи дані, одержано

$$\Delta\varepsilon_{б.1} = 0,5 \cdot 0,74\frac{1}{\sin 45^o} = 0,524мм = 524мкм.$$

Таким чином, похибка установки після розрахунків:

$$\Delta\varepsilon_{\text{у}} = \sqrt{\Delta\varepsilon_{\text{б}}^2 + \Delta\varepsilon_{\text{з}}^2 + \Delta\varepsilon_{\text{пр}}^2} = \sqrt{0,524^2 + 0,08^2 + 0,02^2} = 0,530\text{мм.}$$

У нашому випадку $\Delta\varepsilon_{\text{у}}$=0,530 мм < $\Delta\varepsilon_{\text{у.доп.}}$ =0,6 мм., відповідно точність забезпечується.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Основні санітарно-гігієнічні вимоги до території підприємств і розташування будівель і споруд

Створення здорових та безпечних умов праці починається з правильного вибору майданчика для розміщення підприємства та раціонального розташування на ньому виробничих, допоміжних та інших будівель і споруд.

Вибираючи майданчик для будівництва підприємства, треба враховувати: аерокліматичну характеристику та рельєф місцевості, умови туманоутворення та розсіювання в атмосфері промислових викидів. Не можна розміщувати підприємства поблизу джерел водопостачання; на ділянках, забруднених органічними та радіоактивними відходами; в місцях можливих підтоплень тощо. Слід зазначити, що при виборі місця розміщення підприємства необхідно врахувати вплив вже існуючих джерел викидів та створюваного ними тла забруднення.

Вирішуючи питання зонування (умовного поділу території за функціональним використанням) великого значення слід надавати переважаючому напрямку вітрів та рельєфу місцевості. Як правило, виробничу зону розташовують з підвітряного боку відносно підсобної та інших зон. Окремі будівлі та споруди розташовуються на майданчику таким чином, щоб у місцях організованого повітрозабору системами вентиляції (кондиціонування повітря) вміст шкідливих речовин у зовнішньому повітрі не перевищував 30% ГДК для повітря робочої зони виробництв. При розташуванні будівель відносно сторін світу необхідно прагнути до створення сприятливих умов для природного освітлення. Відстань між будівлями повинна бути не менше найбільшої висоти однієї з протилежних будівель (щоб вони не затіняли одна одну).

Виробничі будівлі та споруди, як правило, розташовують за ходом виробничого процесу. При цьому їх слід групувати з урахуванням спільності

санітарних та протипожежних вимог, а також з урахуванням споживання електроенергії, руху транспортних та людських потоків.

Згідно з Державними санітарними правилами планування та забудови населених пунктів підприємства, їх окремі будівлі та споруди з технологічними процесами, що є джерелами забруднення навколишнього середовища хімічними, фізичними чи біологічними факторами, при неможливості створення безвідходних технологій повинні відокремлюватись від житлової забудови санітарно-захисними зонами (СЗЗ). Розмір санітарно-захисної зони визначають безпосередньо від джерел забруднення атмосферного повітря до межі житлової забудови. Джерелами забруднення повітря є: організовані (зосереджені) викиди через труби і шахти; розосереджені — через ліхтарі промислових споруд; неорганізовані — відкриті склади та підвали, місця завантаження, місця для збереження промислових відходів.

Санітарно-захисні зони повинні бути озеленені, адже саме тоді вони повною мірою можуть виконувати роль захисних бар'єрів від виробничого пилу, газів, шуму.

На зовнішній межі санітарно-захисної зони зверненої до житлової забудови, концентрації та рівні шкідливих факторів не повинні перевищувати їх гігієнічні нормативи (ГДК, ГДР), на межі курортно-рекреаційної зони — 0,8 від значення нормативу.

Велике значення з санітарно-гігієнічної точки зору має благоустрій території, що вимагає озеленення, обладнання тротуарів, майданчиків для відпочинку, занять спортом та ін. Озеленені ділянки повинні складати не менше 10... 15% загальної площі підприємства.

Для збирання та зберігання виробничих відходів потрібно відвести спеціальні ділянки з огородженням та зручним під'їздом.

Основні вимоги до будівель виробничого призначення викладені в СНиП 2.09.02-85.

При плануванні виробничих приміщень необхідно враховувати санітарну характеристику виробничих процесів, дотримуватись норм корисної площі для

працюючих, а також нормативів площ для розташування устаткування і необхідної ширини проходів, що забезпечують безпечну роботу та зручне обслуговування устаткування.

Об'єм виробничих приміщень на одного працівника згідно з санітарними нормами повинен складати не менше 15 $м^3$, а площа приміщень — не менше 4,5 $м^2$.

Ширина основних проходів всередині цехів та дільниць повинна бути не менше 1,5 м, а ширина проїздів — 2,5 м.

Двері та ворота, що ведуть безпосередньо на двір, необхідно обладнати тамбурами або повітряними (тепловими) завісами.

Висота виробничих приміщень має бути не менше 3,2 м, а для приміщень енергетичного та складського господарства — 3 м. Відстань від підлоги до конструктивних елементів перекриття — 2,6 м. Галереї, містки, сходи і майданчики повинні бути завширшки не менше 1 м і загороджені поруччями висотою 1 м і внизу повинні мати бортики висотою 0,2 м.

Всі майданчики, які розташовані на висоті понад 260 мм від підлоги повинні мати поруччя. Санітарні металеві сходи для обслуговування обладнання встановлюються під кутом, що не перевищує 45° з відстанню між сходинками 230—260 мм і шириною сходів 250—300 мм. Для обслуговування обладнання, котре відвідується 1—2 рази на зміну і яке розташоване на майданчиках з різницею у відмітках не більше 3 м, допускається кут нахилу сходів 60°.

4.2. Основні рятувальні роботи при надзвичайних ситуаціях

Рятувальні й інші невідкладні роботи у надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу, є однією з найголовніших задач цивільної оборони. Мета проведення рятувальних робіт – порятунок людей і надання медичної допомоги постраждалим, ліквідація аварій.

До рятувальних робіт відносяться: розвідка маршруту руху сил, визначення обсягу та ступеня руйнувань, розмірів зон зараження, швидкості і напрямку розповсюдження зараженої хмари чи пожежі; локалізація та гасіння пожеж на маршруті руху сил та ділянках робіт; визначення об’єктів і населених пунктів, яким безпосередньо загрожує небезпека; визначення потрібного угрупування сил і засобів запобігання і локалізації небезпеки; пошук уражених та звільнення їх з-під завалів, пошкоджених та палаючих будинків, із загазованих та задимлених приміщень; розкриття завалених захисних споруд та рятування з них людей; надання потерпілим першої допомоги та евакуація їх (при необхідності) у лікувальні заклади; вивіз або вивід населення із небезпечних місць у безпечні райони; організація комендантської служби, охорона матеріальних цінностей і громадського порядку; відновлення життєздатності населених пунктів і об’єктів; пошук, розпізнавання і поховання загиблих; санітарна обробка уражених; соціально-психологічна реабілітація населення.

До невідкладних робіт відносяться: прокладання колонних шляхів та улаштування проїздів (проходів) у завалах та на зараженій території; локалізація аварій на водопровідних, енергетичних, газових і технологічних мережах; ремонт та тимчасове відновлення роботи комунально-енергетичних систем і мереж зв’язку для забезпечення рятувальних робіт; зміцнення або руйнування конструкцій, які загрожують обвалом і безпечному веденню робіт;

Рятувальні та інші невідкладні роботи здійснюються у три етапи. На першому етапі вирішуються завдання: щодо екстреного захисту населення; з запобігання розвитку чи зменшення впливу наслідків; з підготовки до виконання рятувальних робіт.

Основними заходами щодо екстреного захисту населення є: оповіщення про небезпеку; використання засобів захисту; додержання режимів поведінки; евакуація з небезпечних у безпечні райони; здійснення санітарно-гігієнічної, протиепідемічної профілактики і надання медичної допомоги; локалізація

аварій; зупинка чи зміна технологічного процесу виробництва;. попередження (запобігання) і гасіння пожеж,

На другому етапі проводяться: пошук потерпілих; витягання потерпілих з-під завалів, з палаючих будинків, пошкоджених транспортних засобів; евакуація людей із зони лиха, аварії, осередку ураження; надання медичної допомоги; санітарна обробка людей; знезараження одягу, майна, техніки, території; проведення інших невідкладних робіт, що сприяють і забезпечують здійснення рятувальних робіт.

На третьому етапі вирішуються завдання щодо забезпечення життєдіяльності населення у районах, які потерпіли від наслідків надзвичайних ситуацій: відновлення чи будівництво житла; відновлення енерго-, тепло-, водо-, газопостачання, ліній зв'язку; організація медичного обслуговування; забезпечення продовольством і предметами першої необхідності; знезараження харчів, води, фуражу, техніки, майна, території; соціально-психологічна реабілітація; відшкодування збитків; знезараження майна, території, техніки.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження динаміки процесу фрезерування плоскої поверхні торцевою фрезою, побудовано графічні залежності зміни: кута деформації торцевої фрези в часі із кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ та $\alpha = 60^0$; швидкості деформації торцевої фрези в часі із кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ та $\alpha = 60^0$; динамічного моменту на торцевій фрезі в часі величини деформації заготовки в часі із кутами повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ та $\alpha = 60^0$.

Із представлених графіків встановлено, що кут деформації торцевої фрези (0,24 град) в часі є меншим із кутом повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою $\alpha = 45^0$ ніж при $\alpha = 60^0$ (0,28 град), при цьому швидкість деформації торцевої фрези для $\alpha = 45^0$ складає 0,14 рад/с, а для $\alpha = 60^0$ - 0,07 рад/с. Динамічний момент на торцевій фрезі досягає максимального значення 8100 Н·мм при $\alpha = 45^0$, а при $\alpha = 60^0$ максимальний динамічний момент на торцевій фрезі дорівнює $1 \cdot 10^4$ Н·мм. Величина деформації заготовки при $\alpha = 45^0$ дорівнює 0,0025 мм, тоді як при $\alpha = 60^0$ ця деформація є вищою і становить 0,0032 мм. Ці значення можна пояснити тим, що при збільшенні кута повороту фрези при взаємодії одного ріжучого зуба із заготовкою зростає кількість зубів фрези, що одночасно беруть участь в процесі різання, відповідно і зростають навантаження на елементи системи. Це призводить до збільшення величин деформації заготовки та торцевої фрези, а відповідно і до підвищення шорсткості обробленої поверхні. Тому при обробці ширших заготовок потрібно зменшувати подачу та глибину різання торцевою фрезою.

Також представлено результати експериментальних досліджень шорсткості поверхні після фрезерування торцевою фрезою. Встановлено, що найбільший вплив на шорсткість обробленої поверхні має подача на зуб фрези,

а найменший – глибина різання. При цьому збільшення подачі на зуб торцевої фрези і глибини різання призводить до зростання шорсткості обробленої поверхні, а збільшення швидкості різання сприяє зменшенню шорсткості обробленої поверхні.

Максимальне значення шорсткості плоскої поверхні після фрезерування торцевою фрезою становить 10,36 мкм, а мінімальне – 1,62 мкм. Збільшення подачі на зуб торцевої фрези *Sz* від 0,2 мм/зуб до 0,4 мм/зуб призводить до зростання шорсткості плоскої поверхні після фрезерування в 3,22 рази. Збільшення глибини різання *t* від 0,4 мм до 1,4 мм призводить до зростання шорсткості плоскої поверхні після фрезерування в 1,2 рази, а збільшення швидкості різання *V* від 20 до 30 м/хв призводить до зменшення шорсткості плоскої поверхні після фрезерування в 1,64 рази.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпуса АЛАЯ 731.114.014 з вибором устаткування та параметрів процесів механічної обробки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кущак 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. Горбацевич 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. Спра-

вочник. 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 : еавчальний 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. https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/milling/pages/face-milling.aspx

22. Степчин Я.А. Особливості динаміки процесів високошвидкісного торцевого фрезерування / Я.А.Степчин // Вісник ЖДТУ. - 2015. № 4 (75). С. 69-74.

23. Мельничук П.П. Теоретико-технологічне обґрунтування можливостей обробки плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами, замість шліфування / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоєв // Вісник Хмельницького національного університету, №3, 2014 (213). С. 164-172.

24. Глембоцька Л.Є. Підвищення продуктивності оброблення плоских поверхонь деталей з важкооброблюваних матеріалів шляхом застосування торцевих фрез із ступінчастим розташуванням ножів. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти – Житомирський державний технологічний університет, 2018. 21 с.

25. Oguzhan Tuysuz. Prediction of cutting forces in three and five-axis ball-end milling with tool indentation effect. A thesis master of applied science, The University of British Columbia, 2012, 140 p.

26. Дичковський М.Г. Дослідження моменту різання при фрезеруванні плоскої поверхні / М.Г. Дичковський, А.Б. Решетуха, І.В. Головатий // Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”, 25-26 листопада 2020 р. : тези доп. – Тернопіль, 2020. - С. 91.

27. 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.

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

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

30. Диня В. І. Підвищення ефективності виготовлення деталей приводних механізмів односторонньої дії: дис. ... кандидата техн. наук : 05.02.08. Тернопіль, 2012. 191 с.