

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 штока 1244.1412.014 з
дослідженням процесу токарної обробки перервних поверхонь

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Костюк О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Пилипець М.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення штока 1244.1412.014 з дослідженням процесу токарної обробки перервних поверхонь”

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження динаміки процесу токарної обробки перервних поверхонь. Розроблено розрахункову схему еквівалентної багатомасової системи для дослідження динаміки процесу токарної обробки перервної циліндричної поверхні. Виведено систему диференціальних рівнянь, що описують коливання елементів еквівалентної багатомасової системи. Розв’язок системи диференціальних рівнянь проведено на комп’ютері із застосуванням чисельного методу Рунге-Кутта, де враховано графік зміни сили різання.

В результаті застосування чисельного методу одержано графічні залежності зміни кута деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею в часі, лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі, лінійної деформації різцетримача в напрямку осі z в часі, швидкості деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею в часі, швидкості деформації різця в напрямку осі z в часі, швидкості деформації різцетримача в напрямку осі z в часі під час токарної обробки перервної поверхні.

Також представлено результати експериментальних досліджень стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею від зміни трьох основних технологічних факторів: глибини різання, швидкості різання та подачі різця на один оберт заготовки.

Також розроблено технологічний процес виготовлення штока 1244.1412.014 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 токарної обробки перервних поверхонь.....	
2.2. Експериментальні дослідження стійкості різців при токарній обробці заготовки з перервною циліндричною поверхнею.....	
2.3. Висновки.....	
3 Технологічно-конструкторська частина	
3.1. Вибір способу одержання заготовки.....	
3.2. Формування технологічного процесу.....	
3.3. Визначення припусків на оброблення.....	
3.4. Визначення режимів різання.....	
3.5. Розрахунок пристосування.....	
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	
4.1. Стандарти, міждержавні стандарти, санітарні та будівельні норми, якими керується підприємство при роботі з охорони праці.....	
4.2. Забезпечення стійкості виробничих об'єктів.....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

ВСТУП

В процесі виготовлення деталей машин циліндричної форми зазвичай спочатку проводять токарну обробку циліндричних поверхонь з наступним формуванням перервних поверхонь іншими процесами різання. Проте у деяких випадках виникає необхідність токарної обробки перервних поверхонь, зокрема при їх формуванні методами литва чи обробки тиском.

Особливості геометрії перервних циліндричних поверхонь створюють значний вплив на динаміку процесу їх проточування. Процес проточування перервної циліндричної поверхні супроводжується періодичними ударами між заготовкою та різцем та процесом різання циліндричних поверхонь. Тому таке проточування пов'язане із складними ударними процесами та процесами різання. Виникає необхідність побудови математичної моделі, яка б дозволяла визначати деформації елементів системи заготовка, шпиндель верстата, різець, різцетримач та супорт. Таке проточування пов'язане із складними ударними явищами, що знижують стійкість різців.

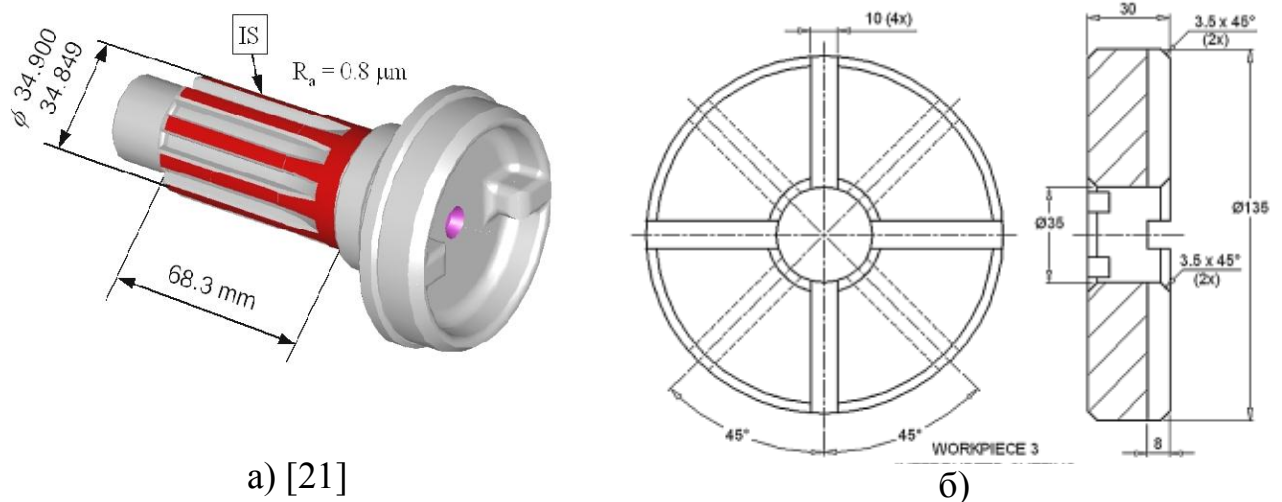
Тому актуальним є проведення теоретичних досліджень динаміки та експериментальних досліджень стійкості різців при токарній обробці заготовки з перервною циліндричною поверхнею.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення штока 1244.1412.014 з вибором устаткування та параметрів процесів механічної обробки.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

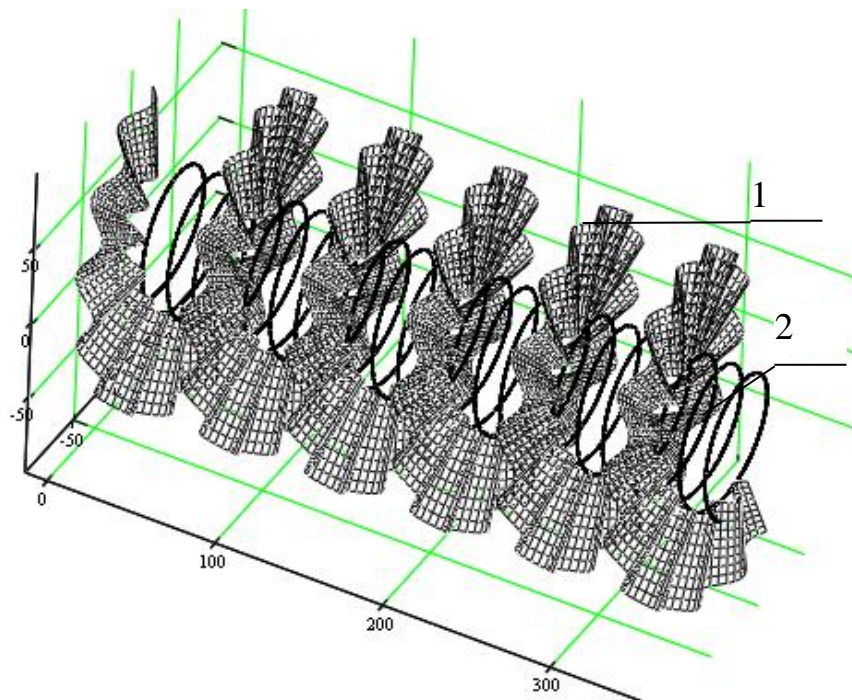
1.1. Аналіз стану питання

Серед багатьох деталей машин досить часто зустрічаються деталі з перервними поверхнями (рисунок 1.1.). Такі поверхні можуть бути циліндричними, торцевими та пониженої жорсткості.



а) [21]

б)



в) [22]

Рисунок 1.1 – Приклади перервних поверхонь деталей машин: а) циліндричних, б) торцевих, в) низької жорсткості 1 – оброблювана деталь, 2 – траєкторія різання різцем

При цьому технічні вимоги такі як шорсткість поверхні, точність розмірів до цих поверхонь відповідають вимогам щодо звичайних поверхонь. На циліндричних поверхнях можуть бути сформовані канавки, отвори, шліци, зуби. При обробці таких поверхонь виникають проблеми, що пов'язані з відсутністю детальних рекомендацій щодо вибору режимів різання. Тому часто режими різання визначаються на основі експериментальних досліджень, що підвищує час на технологічну підготовку виробництва.

Токарній обробці перервних поверхонь, зокрема гвинтових приділено багато праць, серед яких потрібно виділити роботи Гевка Б.М., Пилипця М.І., Ляшука О.Л., Дячуна А.Є. та інших. Особливістю токарної обробки є те, що в процесі різання виникає ударна взаємодія різця із заготовкою, при цьому відбувається деформація як матеріалу заготовки, так і різця.

На осцилограмі сили різання (рисунок 1.2), представлений в роботі Пилипця М.І. і одержаний на основі експериментальних досліджень можна побачити різке зростання сили різання в момент удару між різцем та поверхнею заготовки.

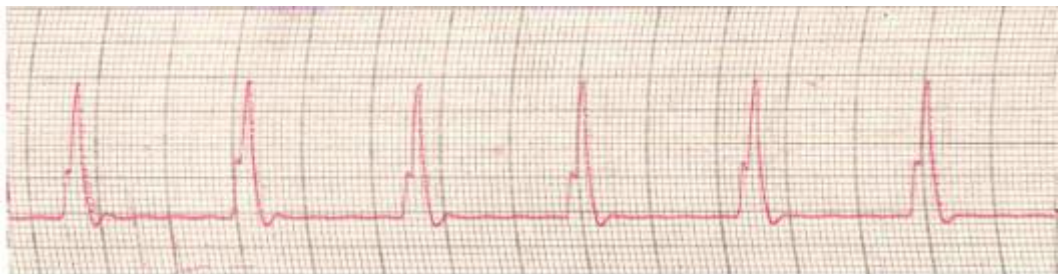


Рисунок 1.2 – Осцилограма сили різання при токарній обробці перервної поверхні [23]

Крім цього встановлено, що після удару відбувається коливання різця, яке швидко затухає за рахунок демпфування коливань та дисипації механічної енергії.

У роботі [24] одержано емпіричну залежність головної складової сили різання від режимів різання при токарній обробці перервних поверхонь:

$$P_z = C_p z V^{0,38} S^{0,4} t^{0,75} K_z, \quad (1.1)$$

де $K_z = (h / 2,5) K_{напр} K_{знош}$.

У роботі [25] проведено дослідження стійкості різців при токарній обробці перервних поверхонь. В результаті проведених експериментальних досліджень одержано емпіричну формулу стійкості різця

$$T = \frac{2,65 \cdot 10^4}{V^{1,46} S^{0,47} t^{0,16}}, \text{ хв.} \quad (1.2)$$

Із аналізу формули (1.2) бачимо, що найбільший вплив на стійкість різця має швидкість різання та подача різця.

У роботі [26] досліджено динаміку процесу проточування перервної поверхні з низькою жорсткістю, що зображена на рисунку 1.3. Для апроксимації зміни сил різання використано алгебро-логічні функції, що дозволяють описати зростання та спадання сили різання за короткий проміжок часу. Графік зміни сили різання зображено на рисунку 1.4. На основі рівняння Лагранжа другого роду одержано систему диференціальних рівнянь, розв'язок яких проведено числовим методом.

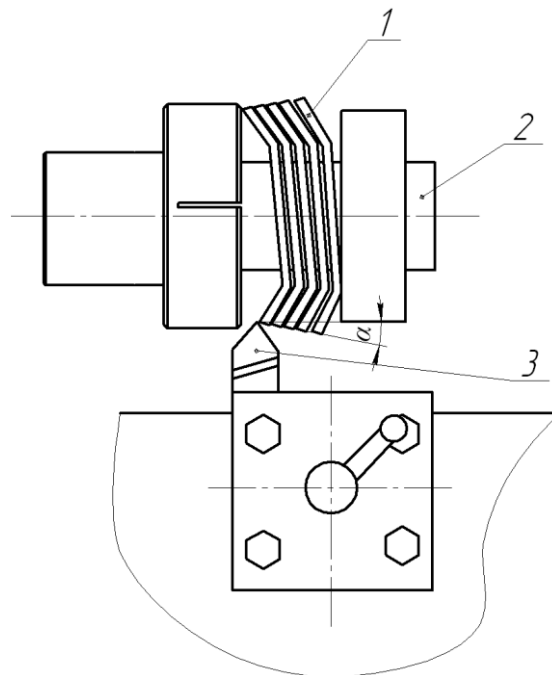


Рисунок 1.3 – Схема процесу проточування перервної поверхні з низькою жорсткістю: 1 – перервна поверхня, 2 – затискний пристрій, 3 – різець [26]

$P_z(t), \text{H}$

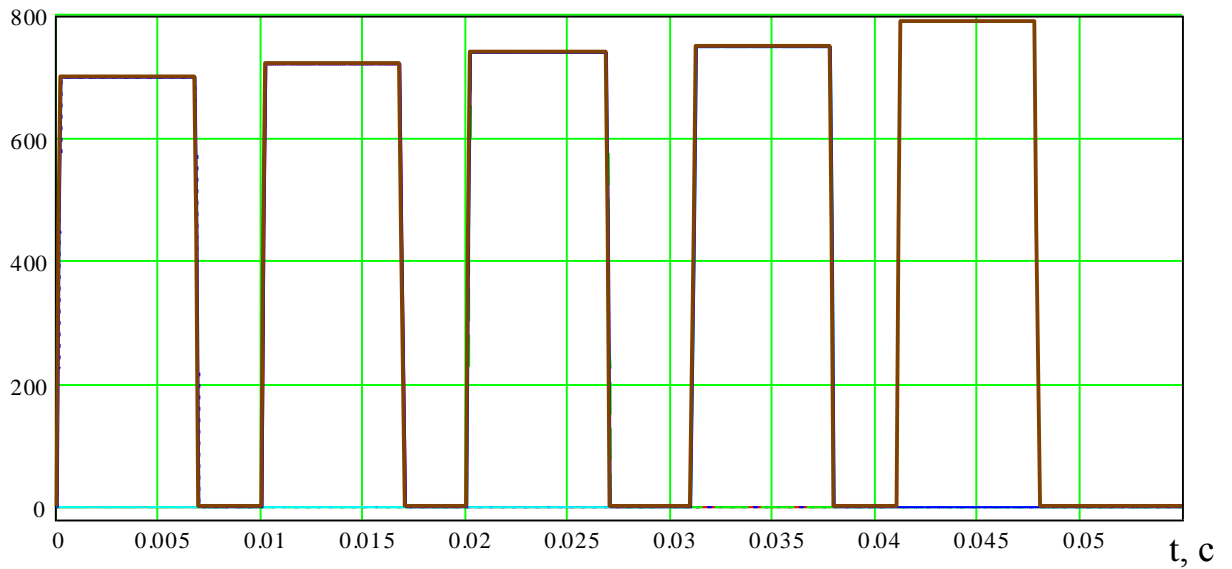


Рисунок 1.4 – Графік зміни сили різання $P_z(t)$ у часі в процесі токарної обробки перервної поверхні [26]

В результаті побудовано графіки деформації елементів системи в часі. Один із графіків колювання різця представлено на рисунку 1.5.

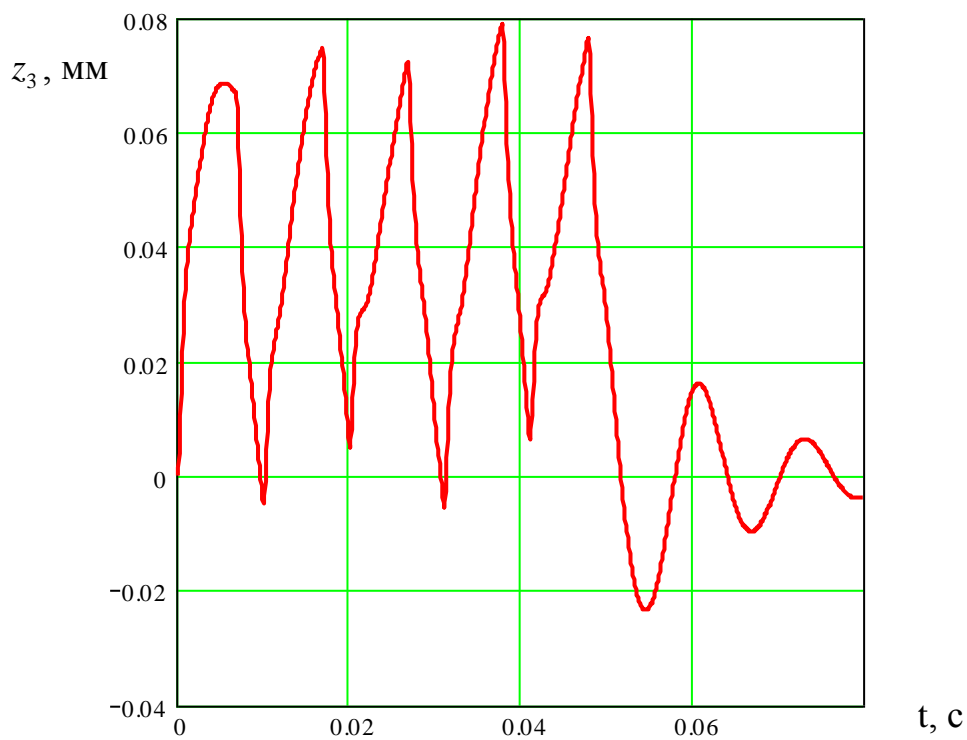


Рисунок 1.5 – Графік деформації різця в часі в процесі токарної обробки перервної поверхні [26]

У роботі авторів R.Pavel, K.Sinram, D.Combs, Michael H.Deis, I.Marinescu [21] представлено результати досліджень шорсткості поверхні, одержаної після токарної обробки перервної поверхні сталюого вала різцями із твердосплавними ріжучими пластинами. Результати вимірювань шорсткості при різних режимах різання за параметром Ra представлено на рисунку 1.6.

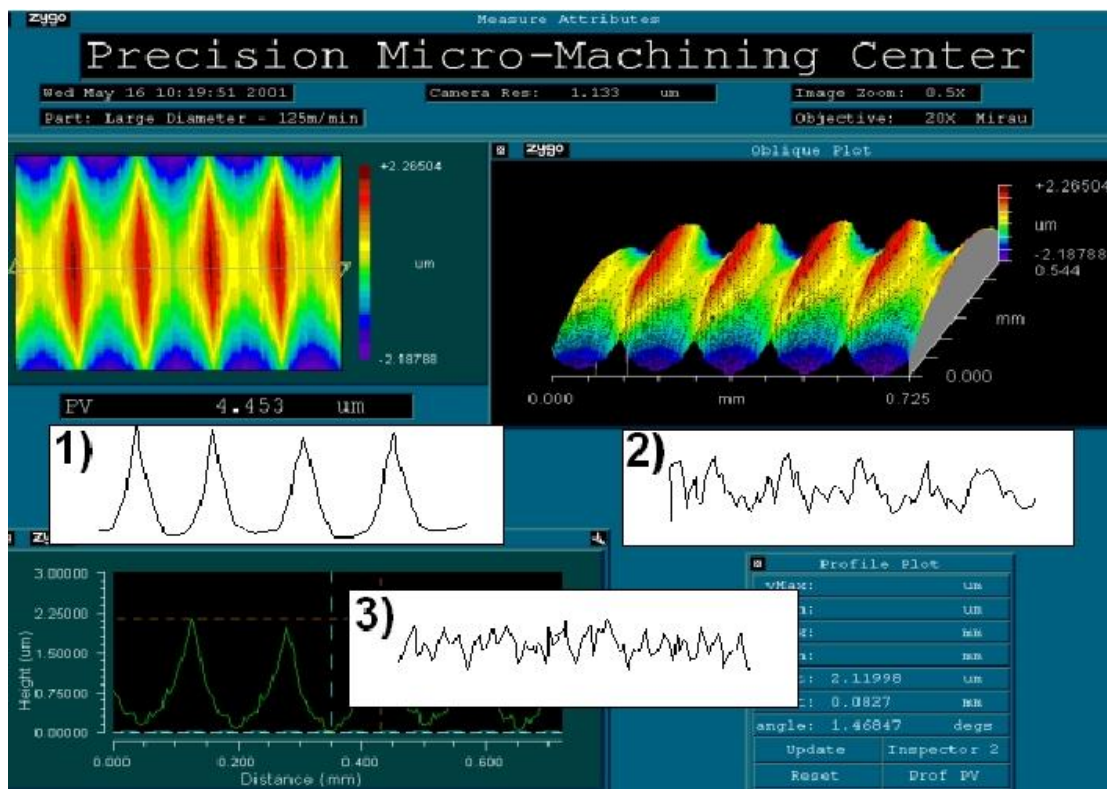


Рисунок 1.6 – Результати вимірювань шорсткості при різних режимах токарної обробки перервних поверхонь за параметром Ra [21]

У науковій статті R. Suresh, S. Basavarajappa [27] представлено порівняльні результати досліджень сили різання, зношення ріжучих інструментів та шорсткості обробленої поверхні при токарній обробці перервних циліндричних поверхонь різцями з пластинами із твердого сплаву на основі карбіду з спеціальним покриттям. Результати одержаних величин сили різання від швидкості різання, глибини різання та подачі представлено на рисунках 1.7 та 1.8. За цими результатами видно, що сили різання при токарній обробці перервних поверхонь є вищими, ніж при обробці звичайних циліндричних поверхонь.

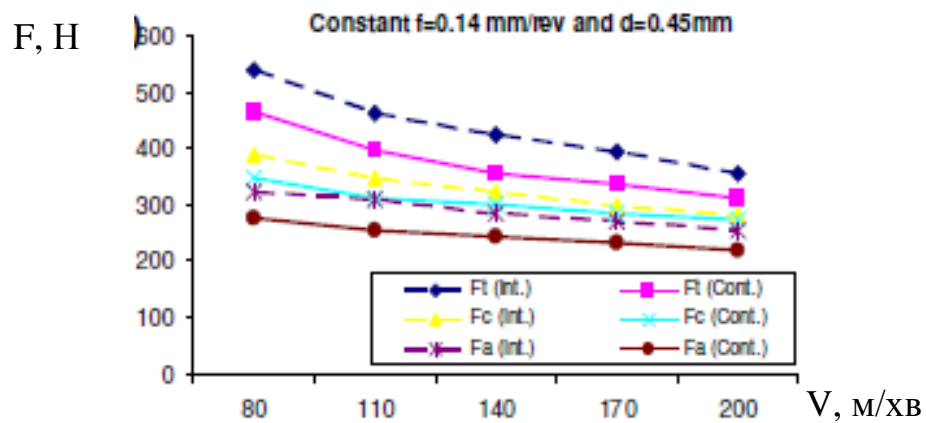


Рисунок 1.7 – Графіки залежності сили різання від швидкості різання при токарній обробці звичайних (основна лінія) та перервних (штрихова лінія) циліндричних поверхонь [27]

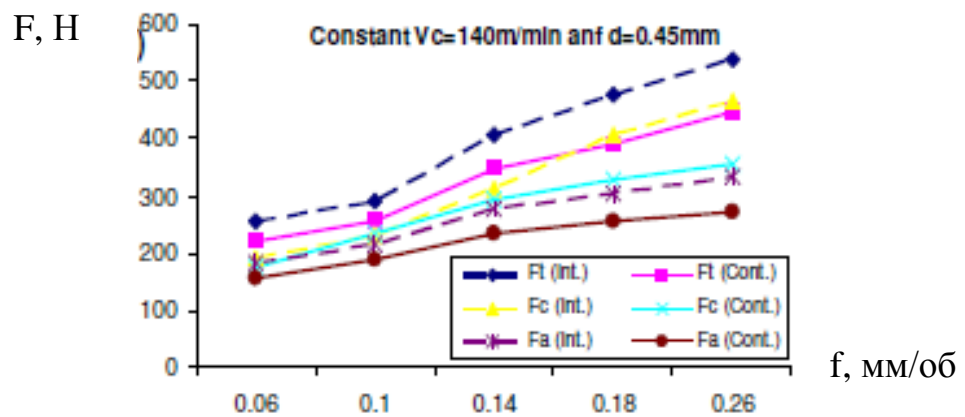


Рисунок 1.8 – Графіки залежності сили різання від подачі різця при токарній обробці звичайних (основна лінія) та перервних (штрихова лінія) циліндричних поверхонь [27]

Результати одержаних величин зношування ріжучої кромки різця від швидкості різання, глибини різання та подачі представлено на рисунках 1.9 та 1.10. За цими результатами видно, що величини зношування ріжучої кромки різця при токарній обробці перервних поверхонь є вищими, ніж при обробці звичайних циліндричних поверхонь. Тому ці відхилення потрібно враховувати при проектуванні технологічних процесів обробки перервних поверхонь з метою прогнозування стійкості інструментів та силових параметрів процесу токарної обробки.

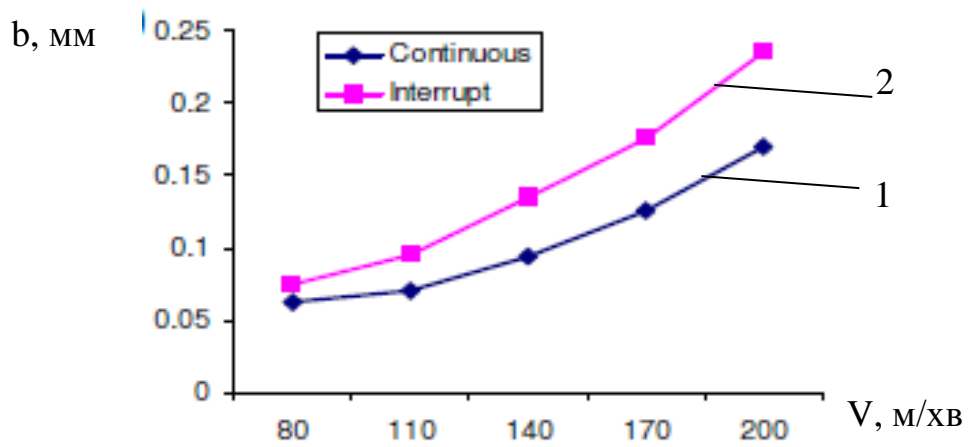


Рисунок 1.9 – Графіки залежності величини зношування ріжучої кромки від швидкості різання при токарній обробці звичайних 1 та перервних 2 циліндричних поверхонь [27]

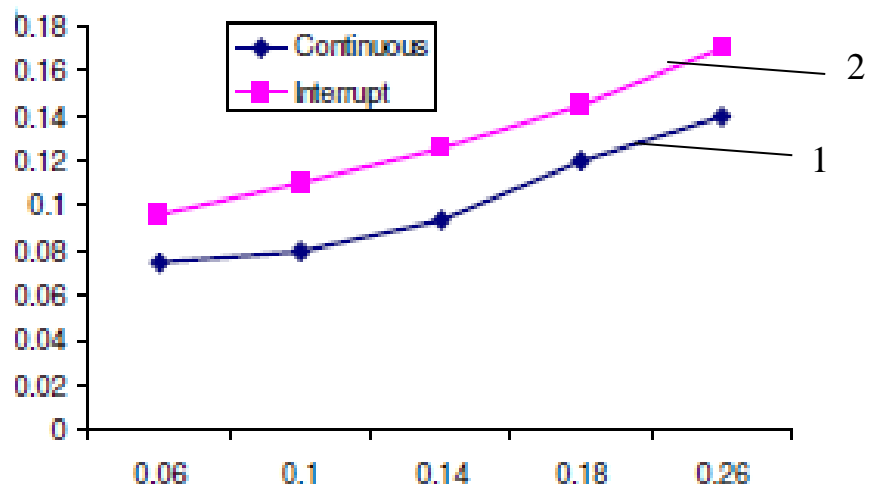


Рисунок 1.10 – Графіки залежності величини зношування ріжучої кромки від подачі різця при токарній обробці звичайних 1 та перервних 2 циліндричних поверхонь [27]

1.2. Службове призначення деталі

Деталь “Шток” 1244.1412.014 входить до складу пневмоциліндра двосторонньої дії. Основне призначення деталі – передача осьових зусиль та монтаж робочих елементів пневмоциліндра.

Основними поверхнями деталі є: зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 18h6_{(-0,011)}$; $Ra_{0,8}$ $\varnothing 18h8_{(-0,027)}$; $Ra_{1,6}$; $\varnothing 13h11_{(-0,11)}$; $Ra_{6,2}$ – посадочні поверхні під ущільнюючі елементи; шість різевих отворів М6-7Н; $22^{\circ}30' \pm 5'$; $Ra_{6,2}$ – для кріплення поршня; різева поверхня М10-8g; $Ra_{6,2}$ – для закручування стопорної гайки; торцеві поверхні $260h14_{(-1,3)}$; $Ra_{6,2}$. До другорядних технологічних поверхонь відносяться: канавка 2,5; $\varnothing 7,8h14$; $Ra_{6,2}$ – канавка під вихід різенарізного інструменту, два центрових отвори В4 ГОСТ 14034-74.

Результати аналізу зводимо в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Аналіз технічних вимог

Номер поверхні	Назва поверхні	Шорсткість
1	2	3
1, 11	Торцева поверхня $260h14_{(-1,3)}$	$Ra_{6,2}$
2,12	Зовнішня фаска $1 \times 45^{\circ}$	$Ra_{6,2}$
3	Зовнішня поверхня $\varnothing 75h14_{(-0,74)}$; $l=11$	$Ra_{6,2}$
4	Торцева зовнішня поверхня $11h14_{(-0,43)}$	$Ra_{6,2}$
5	Зовнішня поверхня $\varnothing 18h6_{(-0,011)}$; $140h14_{(-1,0)}$	$Ra_{0,8}$
6	Зовнішня канавка $\varnothing 13h11_{(-0,11)}$; $11,5h14_{(-0,43)}$	$Ra_{6,2}$
7	Зовнішня поверхня $\varnothing 18h8_{(-0,027)}$; $238h14_{(-1,15)}$	$Ra_{1,6}$
8	Квадратна зовнішня поверхня $\square 10h12_{(-0,15)}$; $l=10$ (круг під квадрат $\varnothing 14,142h14$)	$Ra_{6,2}$
9	Зовнішня поверхня $\varnothing 9,85_{(-0,26)}$; $l=9,5$ під різь М10-8g	$Ra_{6,2}$
10	Зовнішня різева поверхня М10-8g; $l=9,5$	$Ra_{6,2}$
13	Канавка зовнішня $b=2,5H14$; $\varnothing 7,8h14$; 45°	$Ra_{12,4}$
14	Торцева зовнішня поверхня $238h14_{(-1,15)}$	$Ra_{6,2}$
15,16	Два наскрізні отвори $\varnothing 6H14^{(+0,3)}$	$Ra_{6,2}$

Закінчення таблиці 1.1

1	2	3
17-22	Шість наскрізних отворів $\varnothing 4,95^{+0,26}$ під різь М6-7Н; $l=11$; $\varnothing 55 \pm 0,1$; $\varnothing 44 \pm 0,1$	Ra6,2
23-28	Шість внутрішніх фасок $1 \times 45^\circ$	Ra12,4
29-34	Шість різевих поверхонь М6-7Н; $l=11$	Ra6,2
35,36	Два центрових отвори $\varnothing 4H14$; $\varnothing 8,5H14$; $l=5$; $l_1=3,9H12$	Ra12,4

1.3. Висновки та постановка задач

В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що особливості геометрії перервних циліндричних поверхонь створюють значний вплив на динаміку процесу їх проточування. Процес проточування перервної циліндричної поверхні супроводжується періодичними ударами між заготовкою та різцем та процесом різання циліндричних поверхонь. Тому таке проточування пов'язане із складними ударними процесами та процесами різання. Тому виникає необхідність побудови математичної моделі, яка б дозволяла визначати деформації елементів системи заготовка, шпиндель верстата, різець, різцетримач та супорт.

У кваліфікаційній роботі потрібно вирішити такі завдання:

1. Дослідити динаміку процесу токарної обробки перервних поверхонь.
2. Виведено систему диференціальних рівнянь, що описують коливання елементів еквівалентної багатомасової системи та розв'язати її чисельним методом.
3. Побудувати графічні залежності зміни кута деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею в часі, лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі, лінійної деформації різцетримача в напрямку осі z в часі, швидкості деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею в часі, швидкості деформації різця в напрямку осі z в часі, швидкості деформації

різцетримача в напрямку осі z в часі під час токарної обробки перервної поверхні.

4. Провести експериментальні дослідження стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею від зміни трьох основних технологічних факторів: глибини різання, швидкості різання та подачі різця на один оберт заготовки.

5. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення штока 1244.1412.014.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження динаміки процесу токарної обробки перервних поверхонь

В процесі виготовлення деталей машин циліндричної форми зазвичай спочатку проводять токарну обробку циліндричних поверхонь з наступним формуванням перервних поверхонь іншими процесами різання. Проте у деяких випадках виникає необхідність токарної обробки перервних поверхонь, зокрема при їх формуванні методами литва чи обробки тиском.

Особливості геометрії перервних циліндричних поверхонь створюють значний вплив на динаміку процесу їх проточування. Процес проточування перервної циліндричної поверхні супроводжується періодичними ударами між заготовкою та різцем та процесом різання циліндричних поверхонь. Тому таке проточування пов'язане із складними ударними процесами та процесами різання. Тому виникла необхідність побудови математичної моделі, яка б дозволяла визначати деформації елементів системи заготовка, шпиндель верстата, різець, різцетримач та супорт.

Процес токарної обробки перервних поверхонь відноситься до перехідних динамічних процесів. Систему заготовка з перервною циліндричною поверхнею, шпиндель верстата, різець, різцетримач та супорт представлено механічною моделлю, до складу якої входять зосереджені маси, які з'єднані пружними, невагомими зв'язками з постійними значеннями коефіцієнтів жорсткості.

Тому систему із заготовки з перервною циліндричною поверхнею, шпинделя верстата, різця, різцетримача та супорта представлено у вигляді еквівалентної багатомасової системи, що зображена на рисунку 2.1.

На рисунку 2.1 умовно позначено зосереджені маси елементів вказаної вище системи: I_1 – момент інерції заготовки з перервною циліндричною поверхнею; I_2 – приведений момент інерції шпинделя верстата та рухомих

елементів передньої бабки; I_4 – момент інерції ротора електродвигуна, m_1 – маса заготовки з перервною циліндричною поверхнею, m_4 – маса різця; m_5 – маса різцетримача, m_6 – маса супорта.

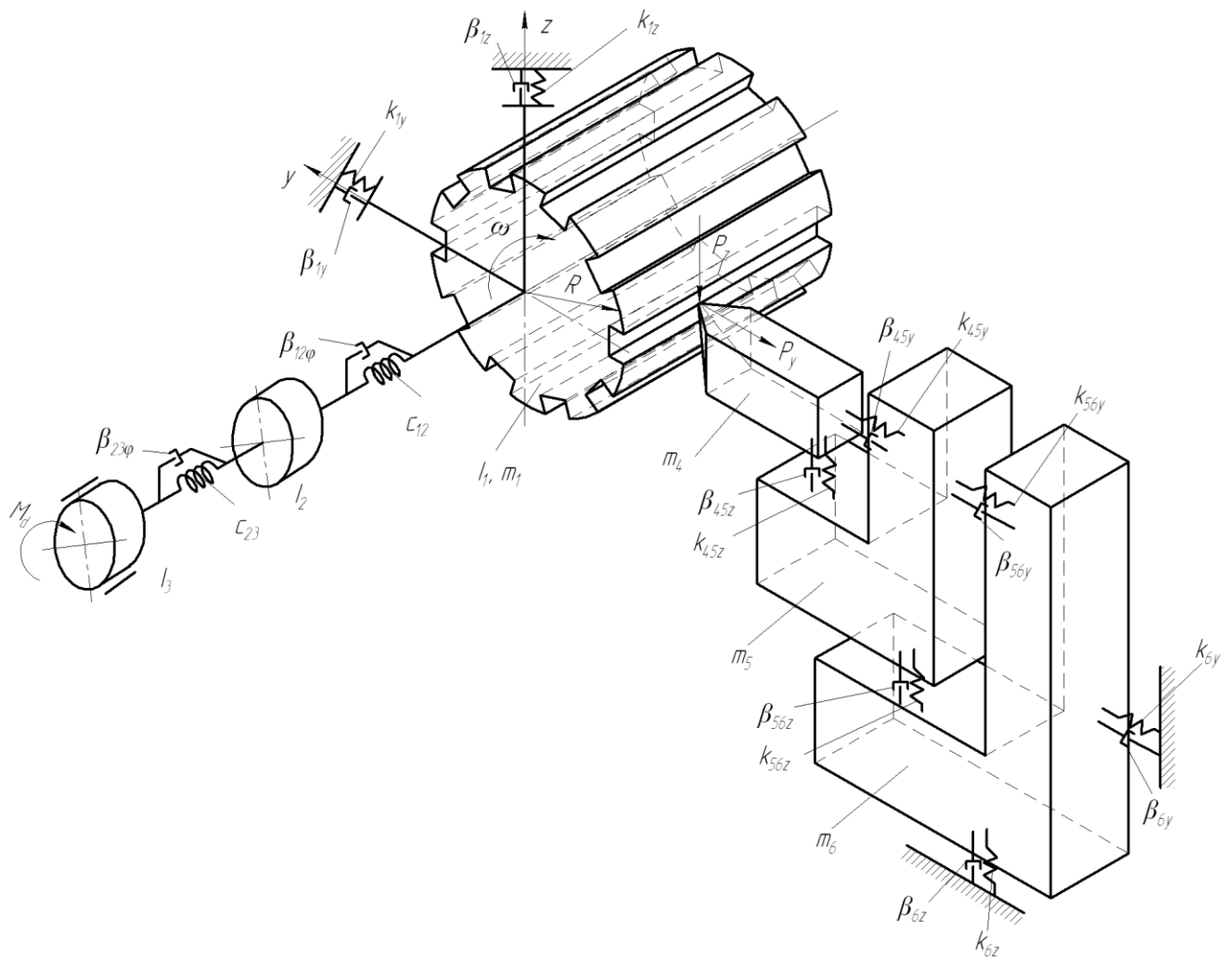


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема еквівалентної багатомасової системи для дослідження динаміки процесу токарної обробки перервної циліндричної поверхні

Крім цього на рисунку 2.1 умовно позначено приведені коефіцієнти жорсткості та коефіцієнти демпфування: C_{12} – приведена жорсткість з'єднання між заготовкою з перервною циліндричною поверхнею та шпинделем верстата, C_{23} – приведена жорсткість ротора електродвигуна, k_{1z} , k_{1y} - лінійні жорсткості заготовки з перервною циліндричною поверхнею у напрямках осей z та y , k_{45z} , k_{45y} - лінійні жорсткості різця у напрямках осей z та y , k_{56z} , k_{56y} - лінійні

жорсткості різцетримача у напрямках осей z та y , k_{5z} , k_{5y} - лінійні жорсткості супорта в напрямках осей z та y .

Також на рисунку 2.1 позначено такі коефіцієнти демпфування: $\beta_{12\phi}$ – коефіцієнт демпфування коливань між заготовкою з перервною циліндричною поверхнею та шпинделем верстата, $\beta_{23\phi}$ – коефіцієнт демпфування коливань ротора електродвигуна, β_{1z} , β_{1y} – коефіцієнти демпфування коливань заготовки з перервною циліндричною поверхнею у напрямках осей z та y , β_{45z} , β_{45y} – коефіцієнти демпфування коливань різця у напрямках осей z та y , β_{56z} , β_{56y} – коефіцієнти демпфування коливань різцетримача у напрямках осей z та y , β_{5z} , β_{5y} – коефіцієнти демпфування коливань супорта в напрямках осей z та y .

На заготовку з параметрами I_1 , m_1 , та різець m_4 в процесі токарної обробки діють тангенціальна $P_z(t)$ і радіальна $P_y(t)$ сили різання та сила удару $P_u(t)$.

Під час врзання різця у заготовку з перервною циліндричною поверхнею відбувається зміна глибини різання t_p , тому тангенціальну $P_z(t)$ і радіальну $P_y(t)$ сили різання представлено зростаючою і спадаючою лінійними залежностями. У зоні усталеного процесу різання сили різання визначаються за емпіричними залежностями [6]:

$$P_z = 10 \cdot C_{PZ} \cdot t_p^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_z, \quad (2.1)$$

$$P_y = 10 \cdot C_{Py} \cdot t_p^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_z, \quad (2.2)$$

де вказано режими різання та коефіцієнти, що визначені на основі експериментальних досліджень.

Час контакту заготовки з перервною циліндричною поверхнею із різцем визначаємо за формулою:

$$t_K = \frac{\alpha}{\omega}, \quad (2.3)$$

де ω – частота обертання заготовки з перервною циліндричною поверхнею, рад/с.

α - кут повороту заготовки, при якому відбувається процес різання, рад.

Кут повороту заготовки, при якому відбувається процес різання визначаємо за формулою:

$$\alpha = \frac{2\pi R - zb}{R}, \quad (2.4)$$

де R – зовнішній радіус заготовки з перервною циліндричною поверхнею, мм;

z - кількість канавок на циліндричній поверхні заготовки;

b – ширина канавки, мм.

Підставляючи рівняння (2.4) у (2.3), одержуємо:

$$t_K = \frac{2\pi R - zb}{R\omega}. \quad (2.5)$$

Час між ударами різця та заготовки з перервною циліндричною поверхнею:

$$t_1 = \frac{2\pi}{z\omega}. \quad (2.6)$$

За узагальнені координати вибрано кути повороту $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ та лінійні переміщення елементів системи: $y_1, y_4, y_5, y_6, z_1, z_4, z_5, z_6$.

Кінетична енергія еквівалентної багатомасової системи:

$$T = \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{I_3 \cdot \dot{\varphi}_3^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{z}_4^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{z}_5^2}{2} + \frac{m_6 \cdot \dot{z}_6^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{y}_4^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{y}_5^2}{2} + \frac{m_6 \cdot \dot{y}_6^2}{2}. \quad (2.7)$$

Потенціальна енергія еквівалентної багатомасової системи:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)^2}{2} + \frac{C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2)^2}{2} + \frac{k_{1z} \cdot z_1^2}{2} + \frac{k_{45z} \cdot (z_5 - z_4)^2}{2} + \frac{k_{56z} \cdot (z_6 - z_5)^2}{2} + \\ & + \frac{k_{6z} \cdot z_6^2}{2} + \frac{k_{1y} \cdot y_1^2}{2} + \frac{k_{45y} \cdot (y_5 - y_4)^2}{2} + \frac{k_{56y} \cdot (y_6 - y_5)^2}{2} + \frac{k_{6y} \cdot y_6^2}{2}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Функція розсіювання:

$$\begin{aligned} \Phi = & \frac{\beta_{12\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{23\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2)^2}{2} + \frac{\beta_{1z} \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{\beta_{45z} \cdot (\dot{z}_5 - \dot{z}_4)^2}{2} + \frac{\beta_{56z} \cdot (\dot{z}_6 - \dot{z}_5)^2}{2} + \\ & + \frac{\beta_{6z} \cdot \dot{z}_6^2}{2} + \frac{\beta_{1y} \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{\beta_{45y} \cdot (\dot{y}_5 - \dot{y}_4)^2}{2} + \frac{\beta_{56y} \cdot (\dot{y}_6 - \dot{y}_5)^2}{2} + \frac{\beta_{6y} \cdot \dot{y}_6^2}{2}. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Використовуємо рівняння Лагранжа другого роду для опису крутильних коливань елементів системи:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_n} = (P_z(t) + P_u(t))R. \quad (2.10)$$

Рівняння Лагранжа другого роду для опису лінійних коливань елементів системи:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{z}_n} = P_z(t) + P_u(t), \quad (2.11)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial y_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{y}_n} = P_y(t) + P_u(t). \quad (2.12)$$

На основі рівнянь (2.10), (2.11) та (2.12) виведено систему диференціальних рівнянь, що описують коливання елементів еквівалентної багатомасової системи:

$$\begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{12\varphi} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) &= (P_z(t) + P_u(t))R; \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + \beta_{12\varphi} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) + C_{23} \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) + \beta_{23\varphi} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) &= 0; \\ I_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 + C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2) + \beta_{23\varphi} (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2) &= -M_d; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& m_1 \cdot \ddot{z}_1 + k_{1z} z_1 + \beta_{1z} \dot{z}_1 = P_z(t) + P_u(t); \\
& m_4 \cdot \ddot{z}_4 + k_{45z} (z_4 - z_5) + \beta_{45z} (\dot{z}_4 - \dot{z}_5) = P_z(t) + P_u(t); \\
& m_5 \cdot \ddot{z}_5 + k_{45z} (z_5 - z_4) + \beta_{45z} (\dot{z}_5 - \dot{z}_4) + k_{56z} (z_5 - z_6) + \beta_{56z} (\dot{z}_5 - \dot{z}_6) = 0; \\
& m_6 \cdot \ddot{z}_6 + k_{56z} (z_6 - z_5) + \beta_{56z} (\dot{z}_6 - \dot{z}_5) + k_{6z} z_6 + \beta_{6z} \dot{z}_6 = 0; \\
& m_1 \cdot \ddot{y}_1 + k_{1y} y_1 + \beta_{1y} \dot{y}_1 = P_y(t) + P_u(t); \\
& m_4 \cdot \ddot{y}_4 + k_{45y} (y_4 - y_5) + \beta_{45y} (\dot{y}_4 - \dot{y}_5) = P_y(t) + P_u(t); \\
& m_5 \cdot \ddot{y}_5 + k_{45y} (y_5 - y_4) + \beta_{45y} (\dot{y}_5 - \dot{y}_4) + k_{56y} (y_5 - y_6) + \beta_{56y} (\dot{y}_5 - \dot{y}_6) = 0; \\
& m_6 \cdot \ddot{y}_6 + k_{56y} (y_6 - y_5) + \beta_{56y} (\dot{y}_6 - \dot{y}_5) + k_{6y} y_6 + \beta_{6y} \dot{y}_6 = 0.
\end{aligned} \tag{2.13}$$

де M_d – крутний момент приводу електродвигуна, Н·мм.

Використовуємо допоміжну алгебологічну функцію для опису ударних навантажень та зміни сил різання від нуля до максимального значення [26]:

$$F_i(t) = \left(\frac{t_K}{2} - \left| \frac{t_K}{2} - (t - t_i) \right| \right) \cdot k_2, \tag{2.14}$$

де k_2 - коефіцієнт, що визначає характер зміни тангенціальної $P_z(t)$ і радіальної $P_y(t)$ сил різання та сили удару $P_u(t)$.

t_i – момент часу, коли проходить удар між заготовкою з перервною циліндричною поверхнею та різцем, с.

Тоді сумарні сили взаємодії заготовки з перервною циліндричною поверхнею та різцем представимо залежностями [26]:

$$P_{zi}(t) = \frac{F_i(t) + P_z - |F_i(t) - P_z| + |F_i(t) + P_z - |F_i(t) - P_z||}{4}. \tag{2.15}$$

$$P_{yi}(t) = \frac{F_i(t) + P_y - |F_i(t) - P_y| + |F_i(t) + P_y - |F_i(t) - P_y||}{4}. \tag{2.16}$$

Тоді функції, що описують періодичну взаємодію заготовки з перервною

циліндричною поверхнею та різцем представимо залежностями [26]:

$$P_z(t) = \sum_{i=1}^n P_{zi}(t); \quad (2.17)$$

$$P_y(t) = \sum_{i=1}^n P_{yi}(t). \quad (2.18)$$

На рисунку 2.2 представлено графік зміни тангенціальної сили різання $P_z(t)$ в часі при двох послідовних контактах між заготовкою з перервною циліндричною поверхнею та різцем.

$P_z(t)$, Н

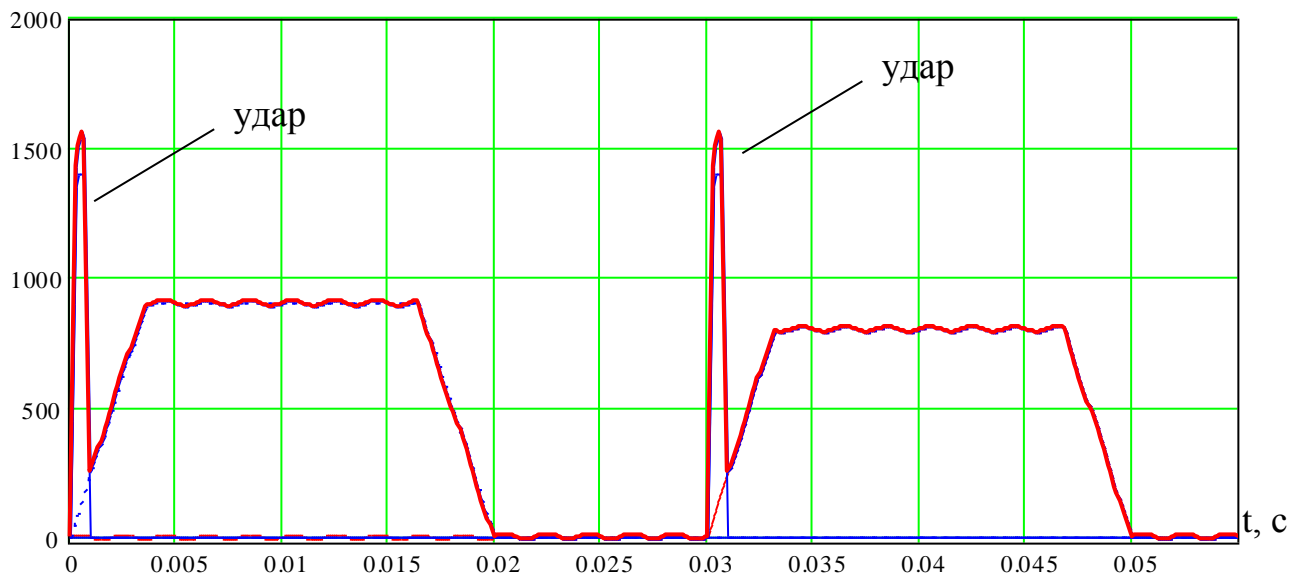


Рисунок 2.2 - Графік зміни тангенціальної сили різання $P_z(t)$ в часі при двох послідовних контактах між заготовкою з перервною циліндричною поверхнею та різцем

Початкові умови для розв'язку системи диференціальних рівнянь (2.13) визначено в початковий момент контакту між заготовкою з перервною циліндричною поверхнею та різцем, тому для для $t = 0$ приймаємо:

$$\varphi_1(0) = 0, \quad \varphi_2(0) = 0, \quad \varphi_3(0) = 0, \quad z_4(0) = 0, \quad z_5(0) = 0, \quad z_6(0) = 0, \quad y_1(0) = 0$$

$$y_4(0) = 0, y_5(0) = 0, y_6(0) = 0,$$

$$\dot{\phi}_1(0) = 0, \dot{\phi}_2(0) = 0, \dot{\phi}_3(0) = 0, \dot{z}_1(0) = 0, \dot{z}_4(0) = 0, \dot{z}_5(0) = 0, \quad (2.19)$$

$$\dot{z}_6(0) = 0, \dot{y}_1(0) = 0, \dot{y}_4(0) = 0, \dot{y}_5(0) = 0, \dot{y}_6(0) = 0.$$

Розв'язок системи диференціальних рівнянь (2.13) проведено на комп'ютері із застосуванням чисельного методу Рунге-Кутта, де враховано графік зміни сили різання із рисунка 2.2.

В результаті застосування чисельного методу одержано графічні залежності зміни кута деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею в часі (рис. 2.3), лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі (рис. 2.4), лінійної деформації різцетримача в напрямку осі z в часі (рис. 2.5), швидкості деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею в часі (рис. 2.6), швидкості деформації різця в напрямку осі z в часі (рис. 2.7), швидкості деформації різцетримача в напрямку осі z в часі (рис. 2.8) під час токарної обробки перервної поверхні.

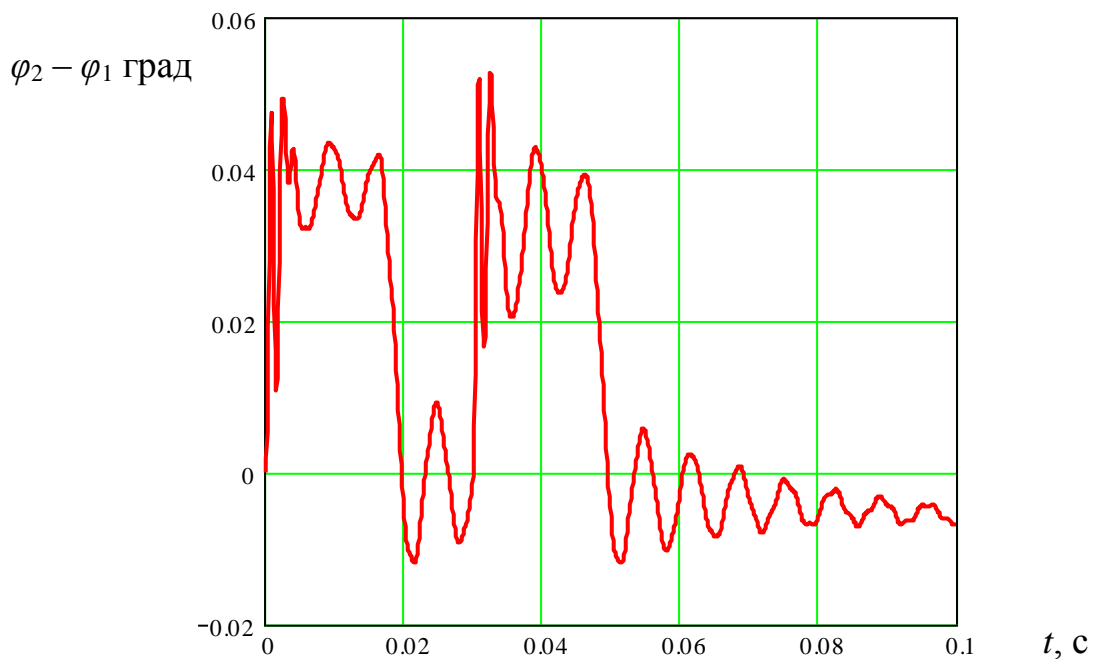


Рисунок 2.3 - Графік зміни кута деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею в часі при токарній обробці

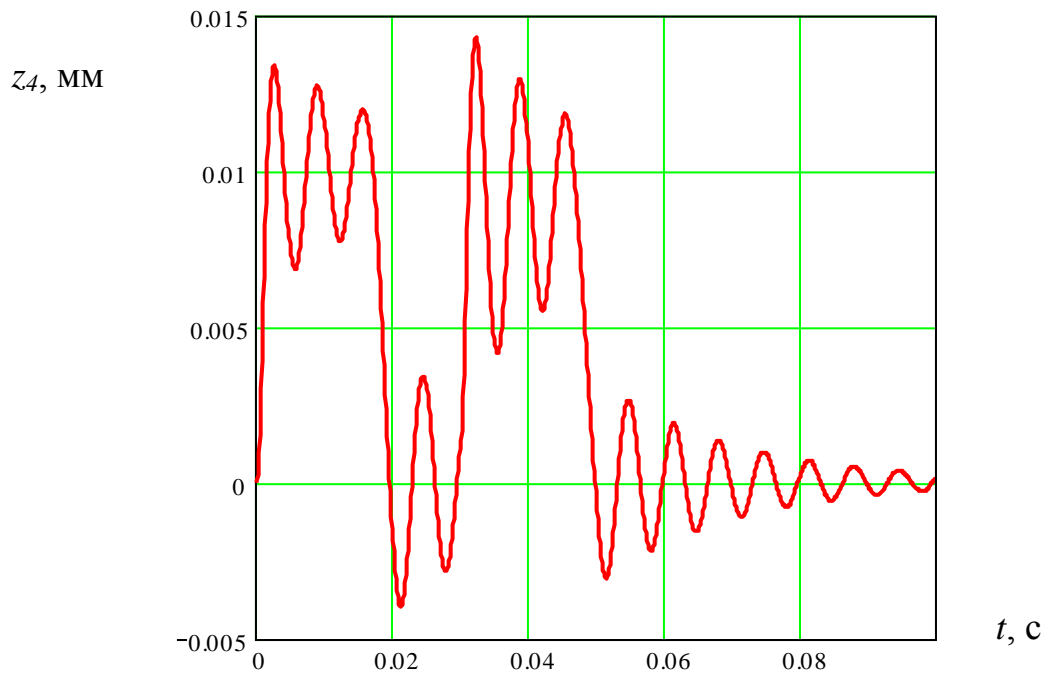


Рисунок 2.4 - Графік зміни лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі

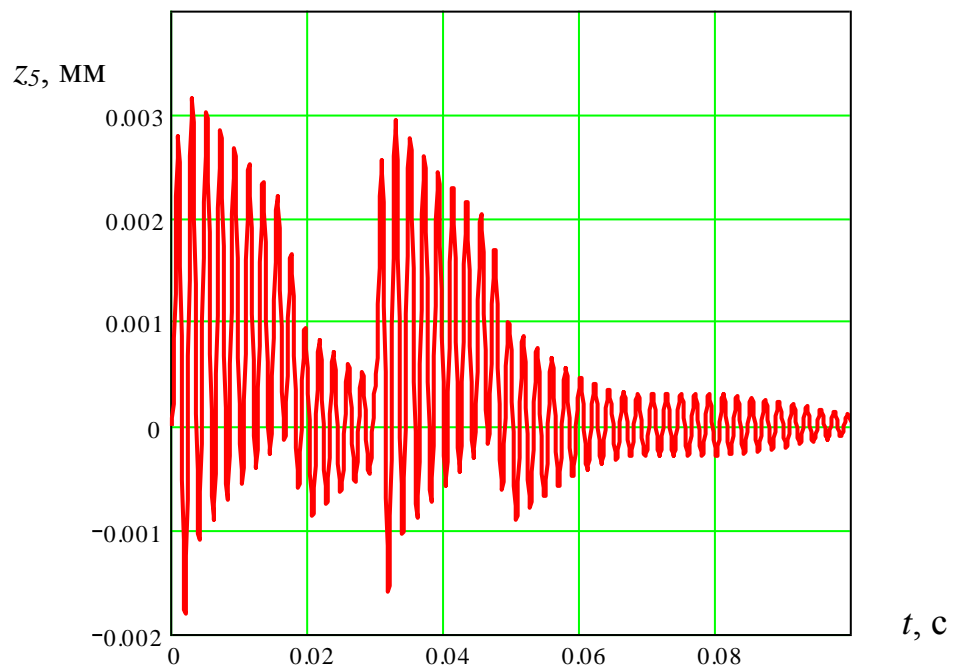


Рисунок 2.5 - Графік зміни лінійної деформації різцетримача в напрямку осі z в часі при токарній обробці перервної поверхні

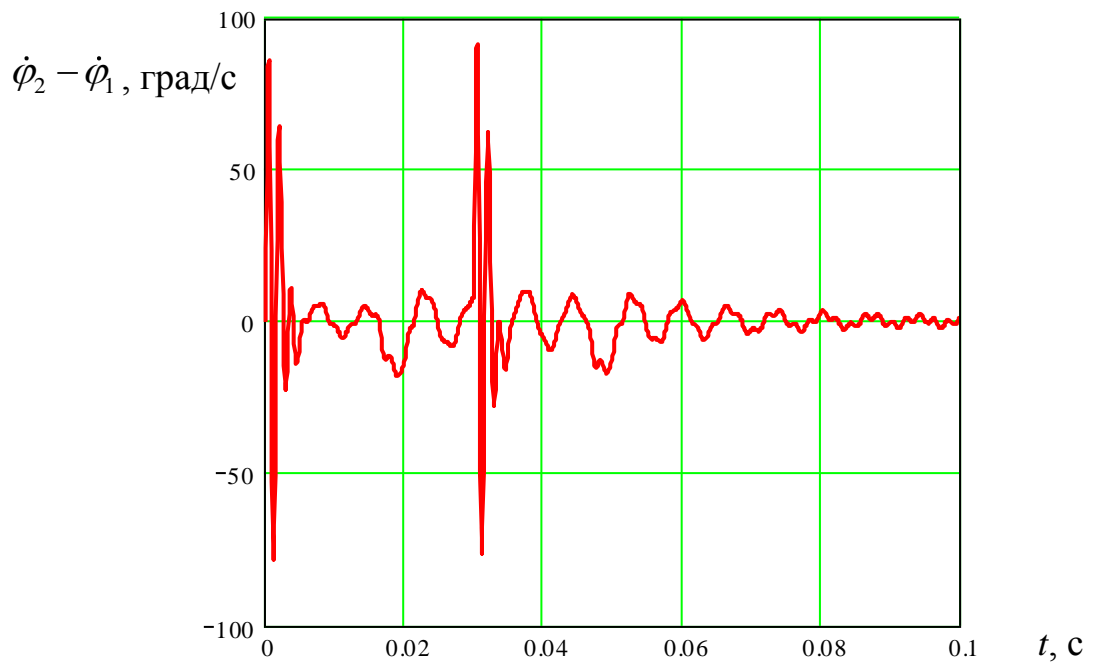


Рисунок 2.6 - Графік зміни швидкості деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею в часі при токарній обробці

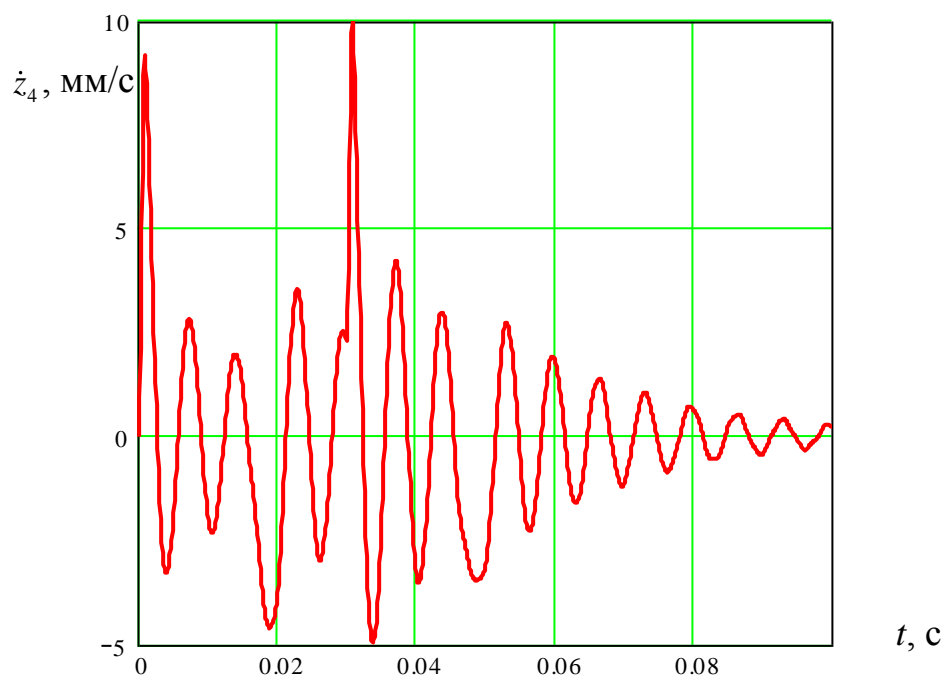


Рисунок 2.7- Графік зміни швидкості деформації різця в напрямку осі z в часі

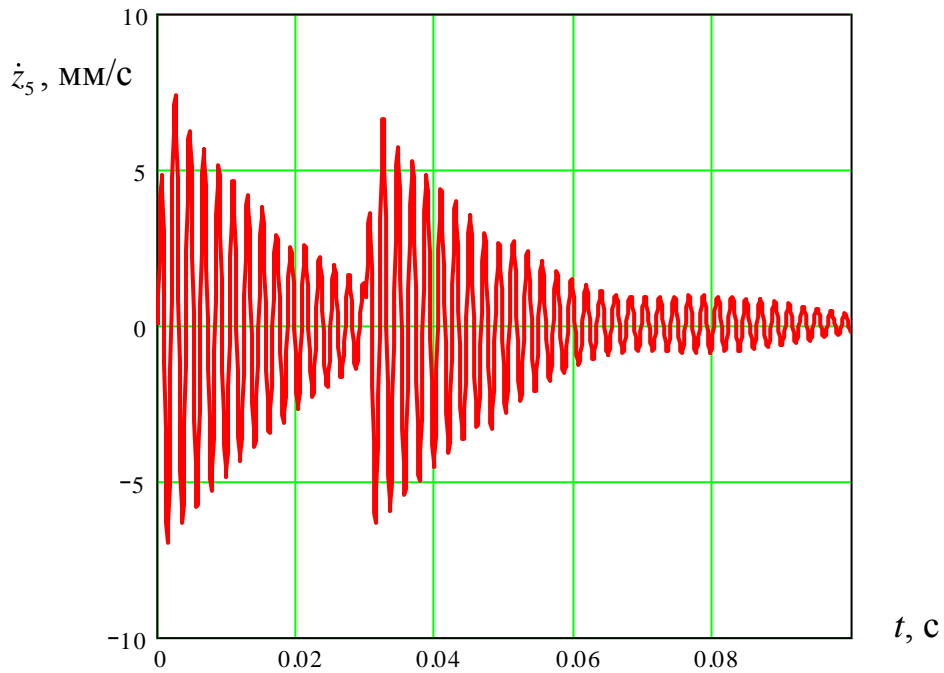


Рисунок 2.8 - Графік зміни швидкості деформації різцетримача в напрямку осі z в часі при токарній обробці перервної поверхні

Із представлених графіків на рисунках 2.3 – 2.8 встановлено, що деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею, різця та різцетримача в часі при токарній обробці зростають в момент виникнення удару, при цьому досягають максимального значення, після чого знижуються при стабільному процесі різання і згасають при виході різця із зони контакту із заготовкою. Аналогічно відбувається із швидкостями представлених вище елементів системи. Величина деформації різцетримача на порядок нижча ніж величина деформації різця.

2.2. Експериментальні дослідження стійкості різців при токарній обробці заготовки з перервною циліндричною поверхнею

Процес проточування перервної циліндричної поверхні супроводжується періодичними ударами між заготовкою та різцем та процесом різання циліндричних поверхонь. Таке проточування пов'язане із складними ударними явищами, що знижують стійкість різців.

Тому у дипломній роботі представлено результати експериментальних досліджень стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею. Обробка проводилась на токарно-гвинторізному верстаті прохідними різцями із швидкоріжучої сталі. Стійкість різців визначалась величиною граничного зношення ріжучих кромки, що вимірялась за допомогою мікроскопа.

Під час експериментальних досліджень визначали стійкість різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею від зміни трьох основних технологічних факторів: глибини різання, швидкості різання та подачі різця на один оберт заготовки.

Експерименти проведено на трьох рівнях варіювання, при цьому відбувалось встановлення стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею від зміни трьох основних факторів: глибини різання t , швидкості різання V та подачі різця на один оберт заготовки S , та тобто $T=f(t, V, S)$.

Функцію відгуку, тобто стійкість різців $T=f(t, V, S)$, одержану в результаті експериментів, представлено у вигляді квадратичного полінома. Рівні варіювання і кодування незалежних змінних факторів експерименту представлено у таблиці 2.1.

Для вибору основних факторів проводились попередні додаткові дослідження при яких вибрано три фактори, які найбільше впливають на стійкість різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею:

- глибина різання t , яку кодували індексом x_1 ;
- швидкість різання V , яку кодували індексом x_2 ;
- подача різця на один оберт заготовки S , яку кодували індексом x_3 .

Таблиця 2.1 - Рівні варіювання і кодування незалежних змінних факторів експерименту

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Глибина різання	t , мм	x_1	0,5	2 (+1)	1,5 (0)	1 (-1)
Швидкість різання	V , м/хв	x_2	20	120 (+1)	100 (0)	80 (-1)
Подача різця на один оберт заготовки	S , мм/об	x_3	0,1	0,4 (+1)	0,3 (0)	0,2 (-1)

Значення коефіцієнтів виведеного 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}
Алюмінієвий сплав	49,053	-3,015	-15,837	-8,837	0,886	0,499	2,581	0,631	3,811	2,141

Загальний вигляд рівняння стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею залежно від зміни: глибини різання t , швидкості різання V та подачі різця на один оберт заготовки S , тобто $T_{(x_1, x_2, x_3)} = f(t, V, S)$ за даними експериментів у кодованих величинах дорівнює:

$$T_{(x_1, x_2, x_3)} = 49,053 - 3,015x_1 - 15,837x_2 - 8,837x_3 + 0,886x_1x_2 + 0,499x_1x_3 + 2,581x_2x_3 + 0,631x_1^2 + 3,811x_2^2 + 2,141x_3^2. \quad (2.20)$$

Усі коефіцієнти рівняння (2.20) є значущими.

Рівняння регресії (2.20) у натуральних величинах представлено в такому вигляді

$$T_{(t, V, S)} = 340,51 - 25,456t - 3,217V - 360,85S + 0,0886tV + 9,98tS + 1,29VS + 2,524t^2 + 0,00952V^2 + 214,1S^2. \quad (2.21)$$

Одержані рівняння регресії (2.20) та (2.21) можна використовувати у таких межах змінних технологічних факторів процесу токарної обробки:

$$1 \leq t \leq 2 \text{ (мм)}; 80 \leq V \leq 120 \text{ (м/хв)}; 0,2 \leq S \leq 0,4 \text{ (мм/об)}.$$

На рисунках 2.9 – 2.14 представлено графічні залежності стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею, що одержані з використанням прикладного програмного забезпечення.

На основі даних експериментальних досліджень та графіків на рисунках 2.9 – 2.14 встановлено, що найбільший вплив на стійкість різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею має швидкість різання V , а найменший – глибина різання. При цьому збільшення технологічних факторів: глибини різання t , швидкості різання V та подачі різця на один оберт заготовки S призводить до зниження стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею.

Максимальне значення стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею становить 87 хв., а мінімальне – 31 хв. Збільшення глибини різання t від 1 мм до 2 мм призводить до зниження стійкості різців на 10%, а збільшення швидкості різання V від 80 до 120 м/хв призводить до зниження стійкості різців в 1,8 рази. Збільшення подачі різця на один оберт заготовки S від 0,2 до 0,4 мм/об призводить до зниження стійкості різців на 28%.

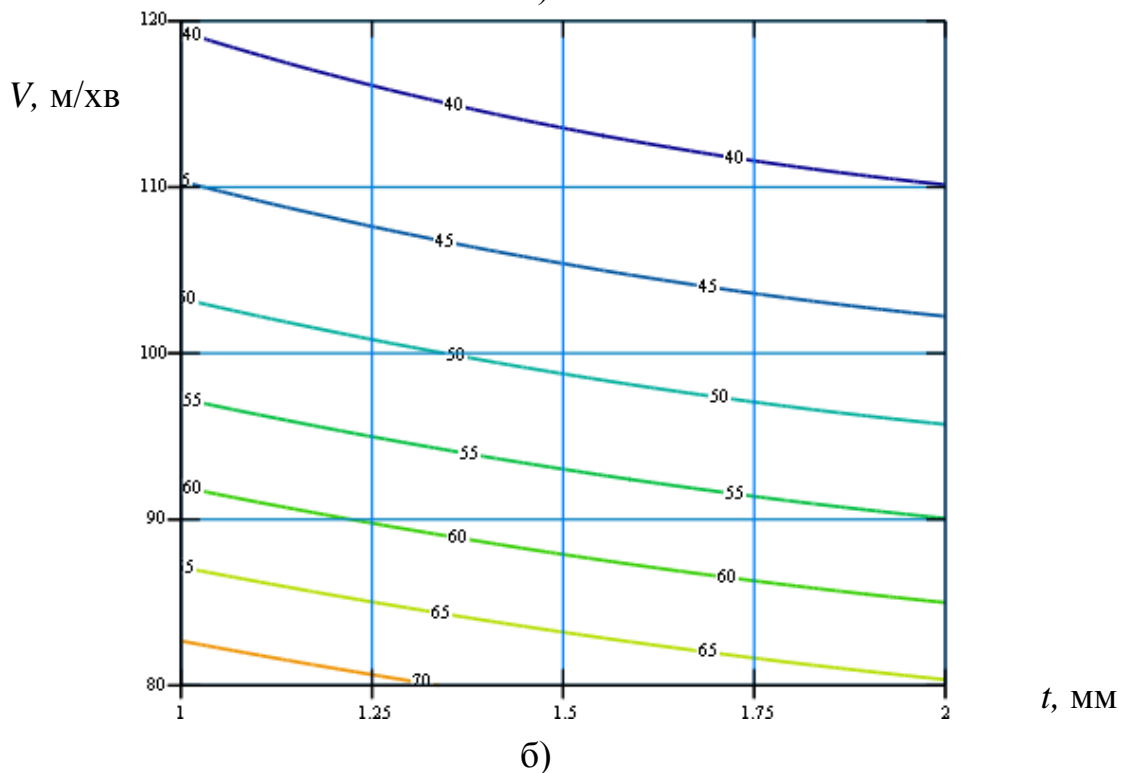
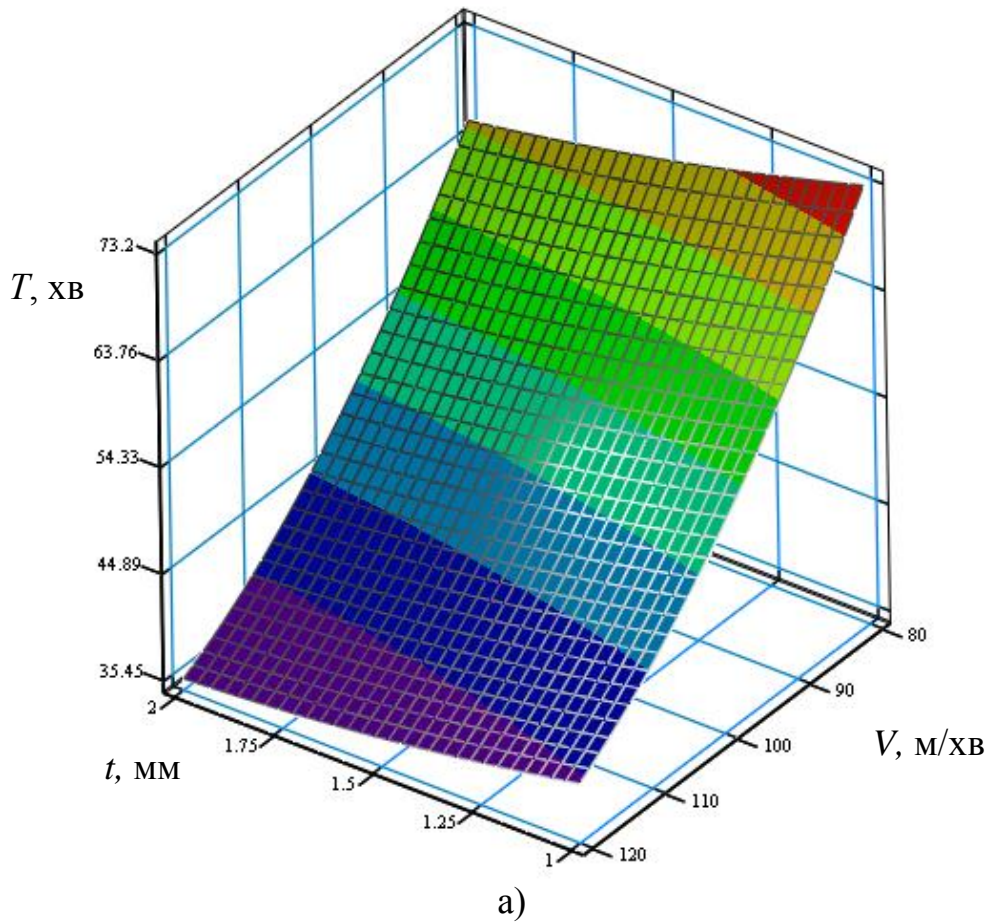


Рисунок 2.9 - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею від глибини різання t та швидкості різання V ($S=0,3$ мм/об)

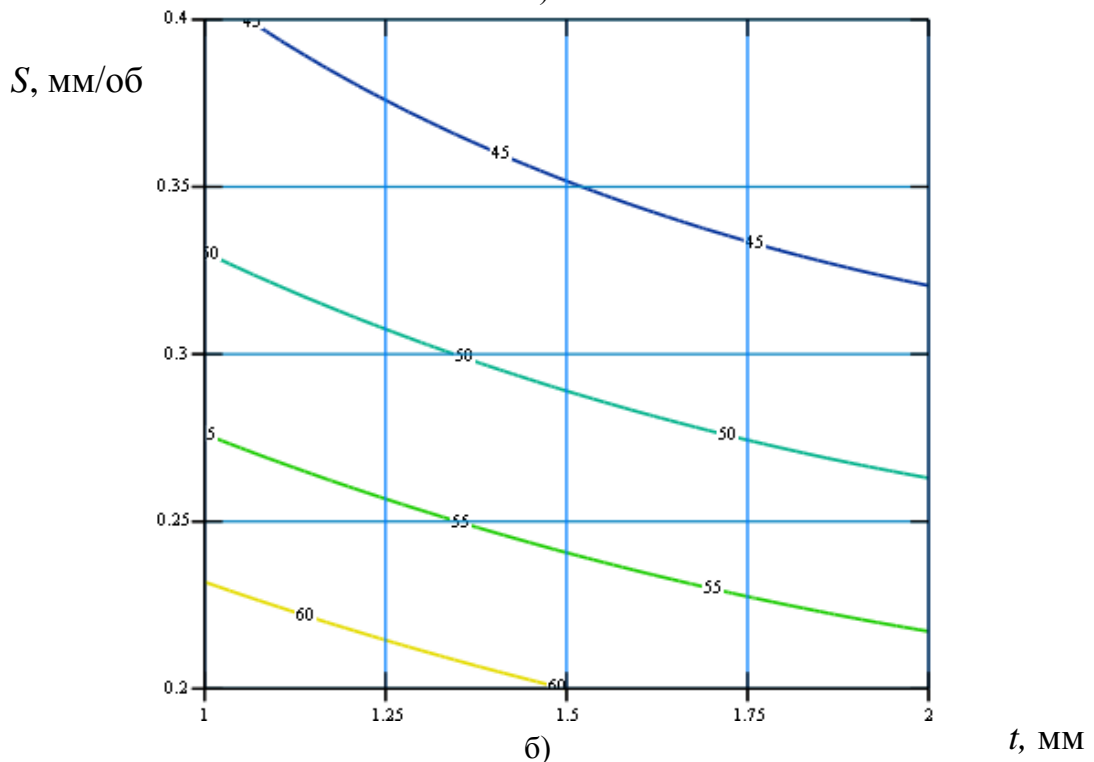
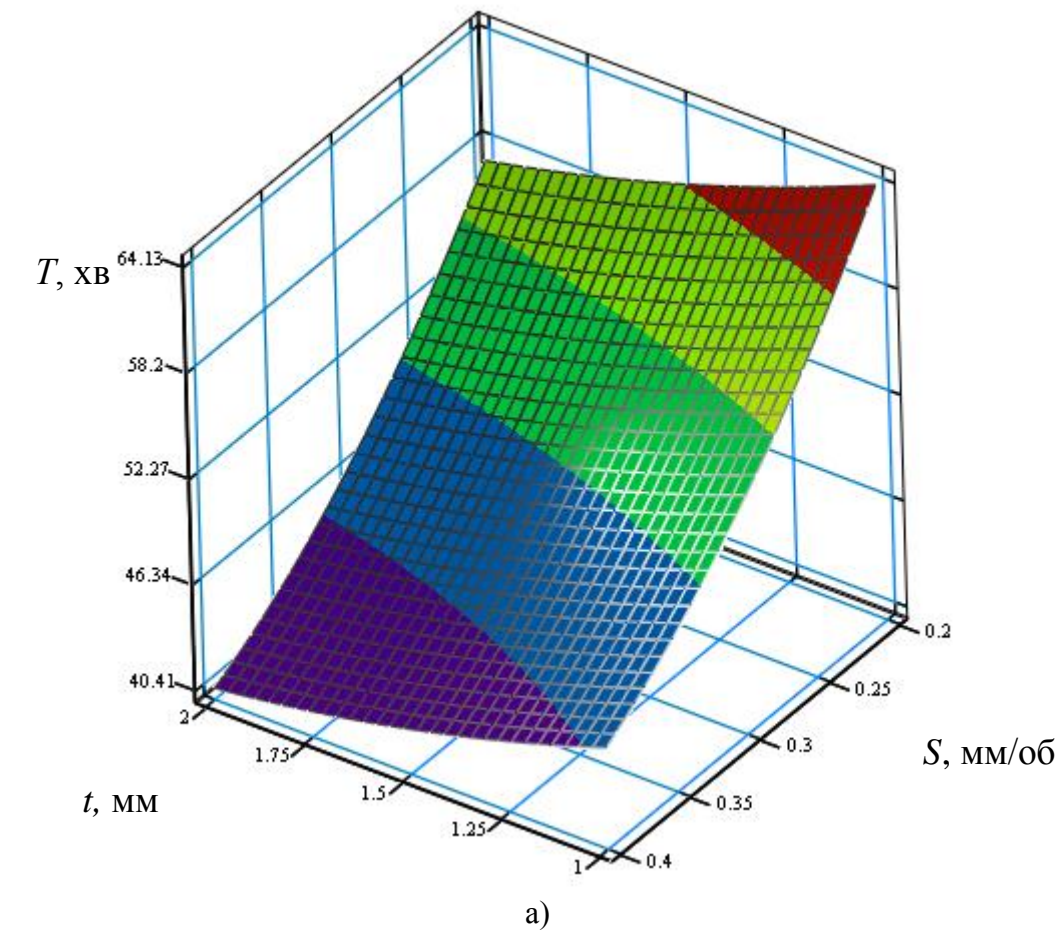


Рисунок 2.10 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею від глибини різання t та подачі різця на один оберт заготовки S ($V=100$ м/хв)

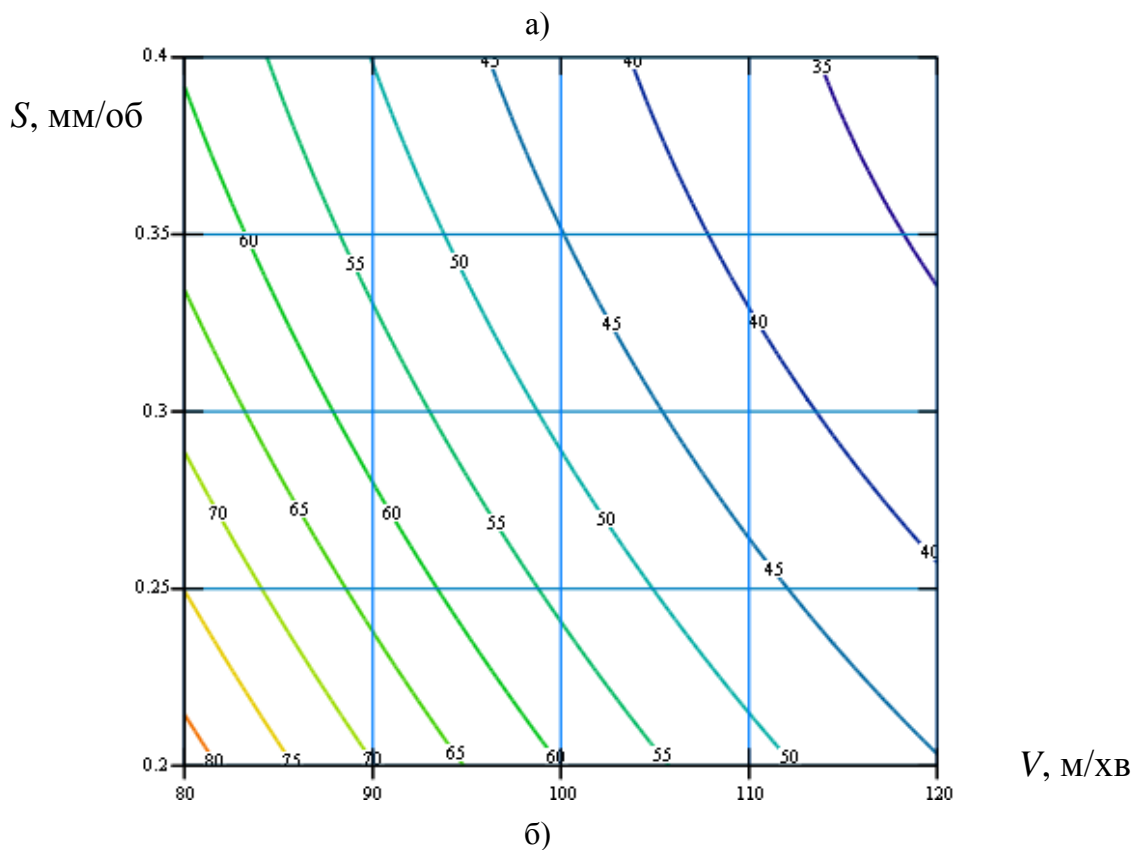
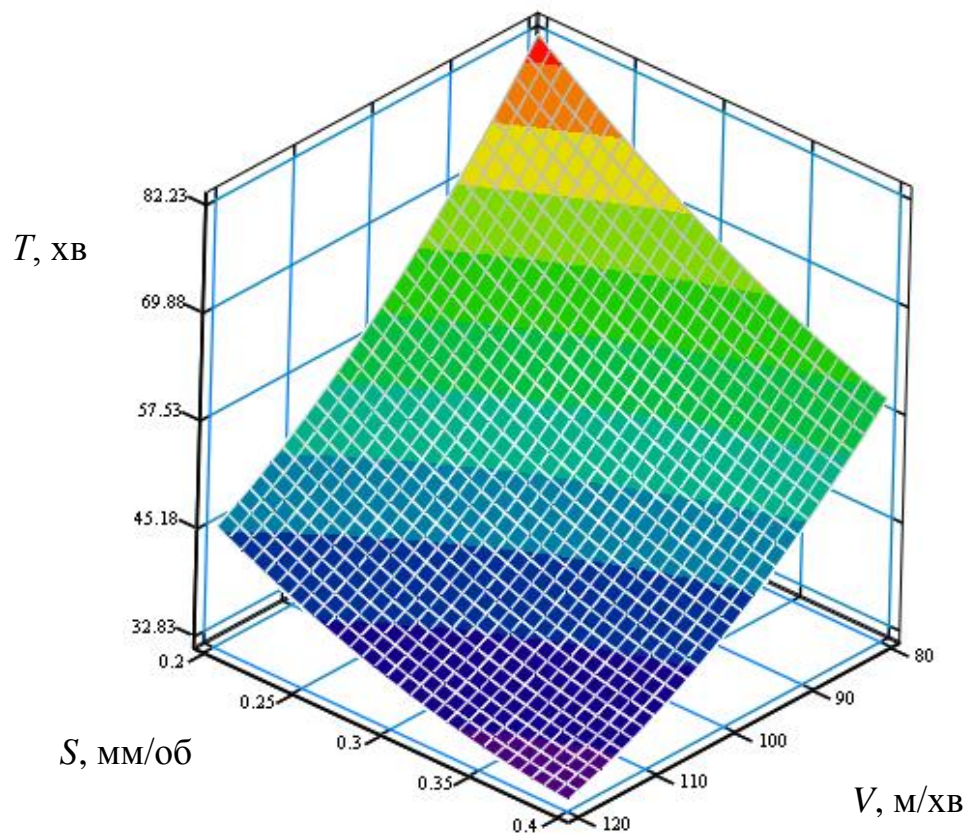


Рисунок 2.11 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею від швидкості різання V та подачі різця на один оберт заготовки S ($t = 1,5$ мм)

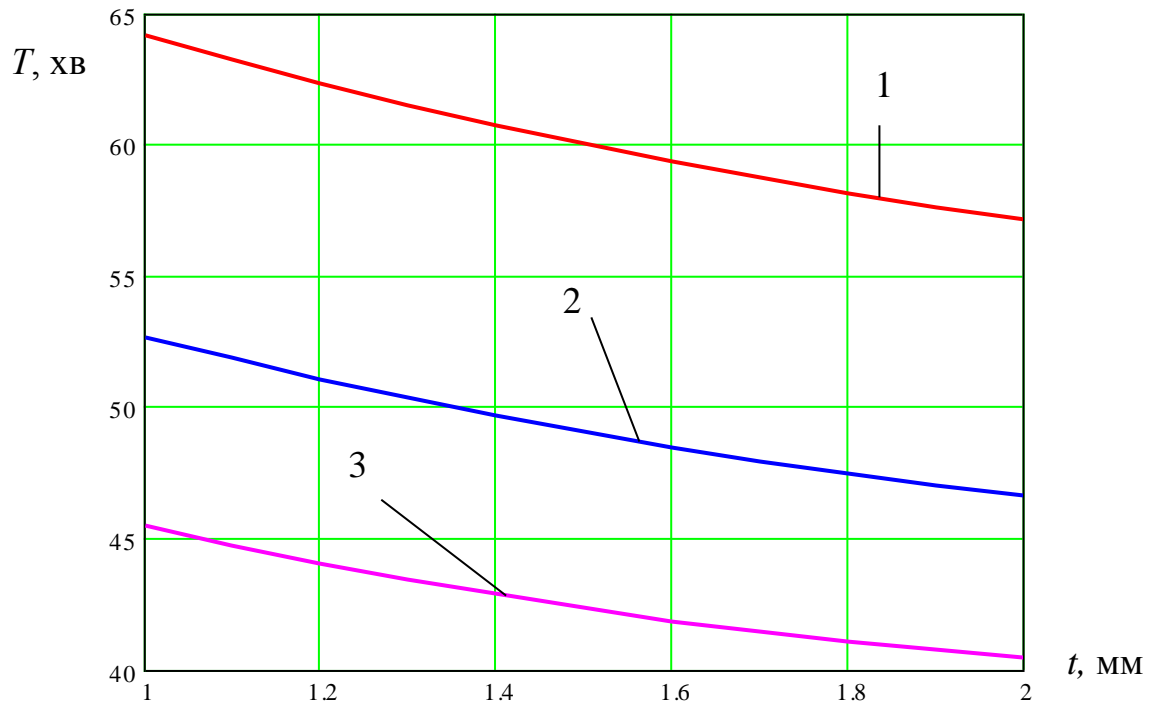


Рисунок 2.12 – Графіки залежності стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею від глибини різання t : 1) $S = 0,2$ мм/об; 2) $S = 0,3$ мм/об; 3) $S = 0,4$ мм/об

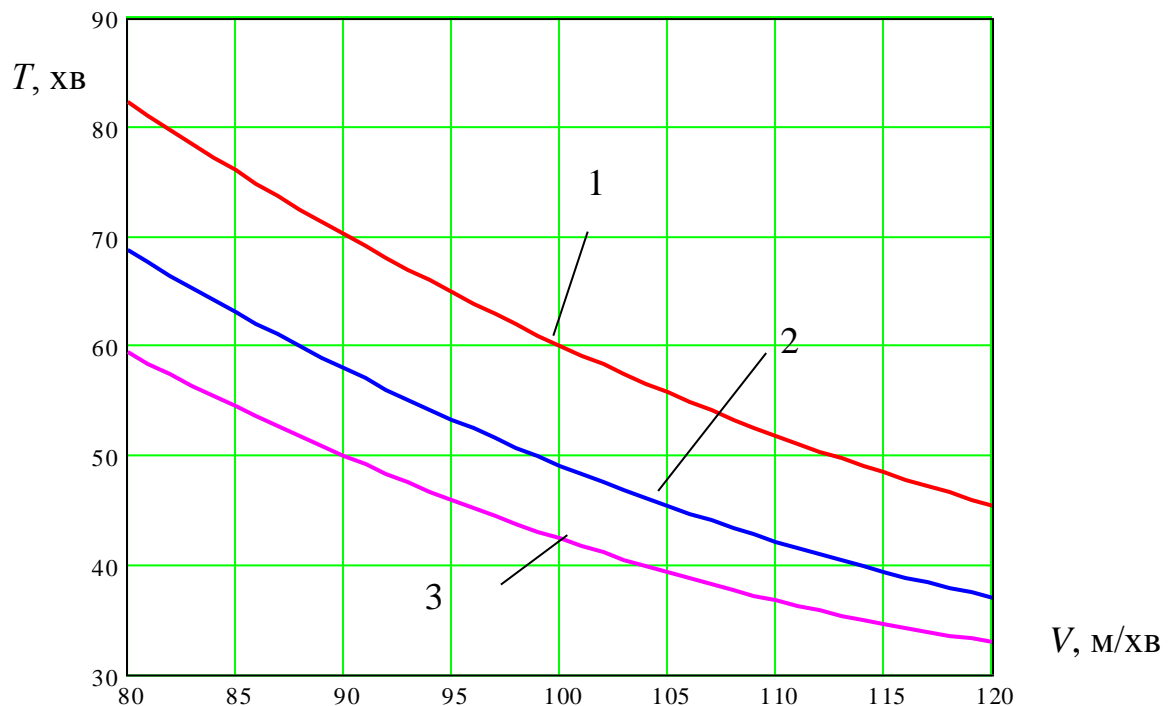


Рисунок 2.13 – Графіки залежності стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею від швидкості різання V : 1) $S = 0,2$ мм/об; 2) $S = 0,3$ мм/об; 3) $S = 0,4$ мм/об

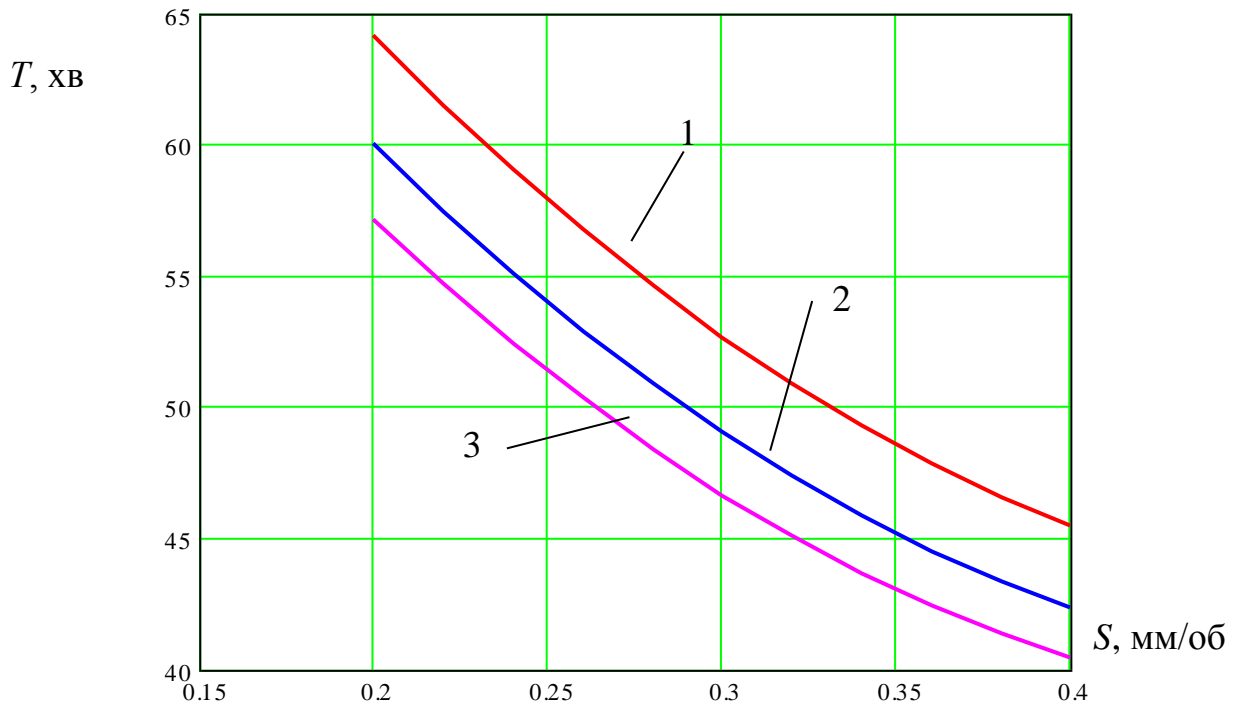


Рисунок 2.14 – Графіки залежності стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею від подачі різця на один оберт заготовки S : 1) $t=1$ мм; 2) $t=1,5$ мм; 3) $t=2$ мм

2.3 Висновки

В розділі представлено дослідження динаміки процесу токарної обробки перервних поверхонь. Розроблено розрахункову схему еквівалентної багатомасової системи для дослідження динаміки процесу токарної обробки перервної циліндричної поверхні. Виведено систему диференціальних рівнянь, що описують коливання елементів еквівалентної багатомасової системи. Розв'язок системи диференціальних рівнянь проведено на комп'ютері із застосуванням чисельного методу Рунге-Кутта, де враховано графік зміни сили різання.

В результаті застосування чисельного методу одержано графічні залежності зміни кута деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею в часі, лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі, лінійної деформації різцетримача в напрямку осі z в часі, швидкості деформації

заготовки з перервною циліндричною поверхнею в часі, швидкості деформації різця в напрямку осі z в часі, швидкості деформації різцетримача в напрямку осі z в часі під час токарної обробки перервної поверхні.

Із представлених графіків на рисунках встановлено, що деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею, різця та різцетримача в часі при токарній обробці зростають в момент виникнення удару, при цьому досягають максимального значення, після чого знижуються при стабільному процесі різання і затухають при виході різця із зони контакту із заготовкою. Аналогічно відбувається із швидкостями представлених вище елементів системи. Величина деформації різцетримача на порядок нижча ніж величина деформації різця.

Також представлено результати експериментальних досліджень стійкості різців при токарній обробці заготовки з перервною циліндричною поверхнею.

Встановлено, що найбільший вплив на стійкість різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею має швидкість різання V , а найменший – глибина різання. При цьому збільшення технологічних факторів: глибини різання t , швидкості різання V та подачі різця на один оберт заготовки S призводить до зниження стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею.

Максимальне значення стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею становить 87 хв., а мінімальне – 31 хв. Збільшення глибини різання t від 1 мм до 2 мм призводить до зниження стійкості різців на 10%, а збільшення швидкості різання V від 80 до 120 м/хв призводить до зниження стійкості різців в 1,8 рази. Збільшення подачі різця на один оберт заготовки S від 0,2 до 0,4 мм/об призводить до зниження стійкості різців на 28%.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Вибір способу одержання заготовки

Розглядаємо два методи отримання заготовки штока 1244.1412.014:

1. Поковка вільним куванням на молотах.
2. Штамповка на горизонтально-кувальній машині.

Ступінь складності штамповки [7]:

$$C = \frac{m_{ш}}{m_{ф}}, \quad (3.1)$$

Маса штамповки [7]:

$$m_{ш} = m_{д} \cdot \kappa_p, \quad (3.2)$$

де $m_{д}=0,8$ кг – маса деталі.

Тоді маса штамповки:

$$m_{ш} = m_{д} \cdot \kappa_p = 0,8 \cdot 1,3 = 1,04 \text{ кг}.$$

Вага заготовки:

$$Q = V_3 \cdot \rho, \quad (3.3)$$

Об'єми заготовки:

$$V_3 = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot H}{4}, \quad (3.4)$$

$$V_{ф} = \frac{3,14 \cdot 75^2 \cdot 260}{4} = 1148062,5 \text{ мм}^3 = 1148,063 \text{ см}^3.$$

$$m_{ф} = 1148,063 \cdot 1,05 \cdot 7,85 = 9462,91 \text{ г} = 9,46 \text{ кг}.$$

Група складності штамповки:

$$C = \frac{1,04}{9,46} = 0,11.$$

Загальні припуски представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Загальні припуски

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1) Поковка, куванням на молотах				
Торцева поверхня 260h14 _(-1,3)	Ra6,2	15	10 × 2=20	280±2,0
Зовнішня поверхня Ø75h14 _(-0,74) ; l=11	Ra6,2	6	8 × 2=16	Ø91 ±3,0
Зовнішня поверхня Ø18h6 _(-0,011) ; 140h14 _(-1,0)	Ra0,8	8	6 × 2=12	Ø30±4,0
Торцева зовнішня поверхня 11h14 _(-0,43)	Ra6,2	6,0	4,5	15,5±3,0 (на кресленні 25,5±3,0)
2) Штамповка на горизонтально-кувальній машині				
Торцева поверхня 260h14 _(-1,3)	Ra6,2	3,6	1,9 × 2=3,8	263,8 ^{+2,4} _{-1,2}
Зовнішня поверхня Ø75h14 _(-0,74) ; l=11	Ra6,2	2,5	1,5 × 2=3,0	Ø78 ^{+1,6} _{-0,9}
Зовнішня поверхня Ø18h6 _(-0,011) ; 140h14 _(-1,0)	Ra0,8	2,2	2 × 2=4,0	Ø22 ^{+1,4} _{-0,8}
Торцева зовнішня поверхня 11h14 _(-0,43)	Ra6,2	2,2	1,4	12,4 ^{+1,4} _{-0,8} (на кресленні 14,3 ^{+1,4} _{-0,8})

Об'єм першої заготовки:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 91^2 \cdot 25,5}{4} = 165764,92 \text{ мм}^3.$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot 30^2 \cdot 254,5}{4} = 179804,25 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{зар1}} = \Sigma V_i = 165764,92 + 179804,25 = 345569,17 \text{ мм}^3 = 345,6 \text{ см}^3.$$

Визначаємо масу першої заготовки:

$$Q_1 = 345,6 \cdot 7,85 = 2712,96 \text{ г} \approx 2,71 \text{ кг}.$$

Визначаємо об'єм другої заготовки:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 78^2 \cdot 14,3}{4} = 68295,942 \text{ мм}^3.$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot 22^2 \cdot 249,5}{4} = 94795,03 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{зар1}} = \Sigma V_i = 68295,942 + 94795,03 = 163090,972 \text{ мм}^3 = 163,1 \text{ см}^3.$$

Визначаємо масу другої заготовки:

$$Q_2 = 163,1 \cdot 7,85 = 1280,335 \text{ г} = 1,28 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу для двох варіантів:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.5)$$

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{0,8}{2,71} = 0,3.$$

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{0,8}{1,28} = 0,63.$$

Другий варіант заготовки є дешевшим і приймається для подальшої розробки технологічного процесу.

3.2. Формування технологічного процесу

Запропоновані маршрути обробки штока 1244.1412.014 представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Маршрути обробки штока 1244.1412.014

№ пов.	Вид поверхні, позначення	Шорсткість, мкм	Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь	
			1	2
1	2	3	4	5
1, 11	Торцева поверхня 260h14 _(-1,3)	Ra6,2	Фрезерування торцевою фрезою чорною	
2,12	Зовнішня фаска 1×45°	Ra6,2	Точіння чорнове	

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
3	Зовнішня поверхня $\varnothing 75h14_{(-0,74)}$; $l=11$	Ra6,2	Точіння чорнове Точіння напівчистове	
4	Торцева зовнішня поверхня $11h14_{(-0,43)}$	Ra6,2	Точіння чорнове Точіння напівчистове	
5	Зовнішня поверхня $\varnothing 18h6_{(-0,011)}$; $140h14_{(-1,0)}$	Ra0,8	Чорнове точіння Напівчистове точіння Напівчистове шліфування Чистове кругле шліфування	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння Тонке точіння
6	Зовнішня канавка $\varnothing 13h11_{(-0,11)}$; $11,5h14_{(-0,43)}$	Ra6,2	Напівчистове точіння Чистове точіння	
7	Зовнішня поверхня $\varnothing 18h8_{(-0,027)}$; $238h14_{(-1,15)}$	Ra1,6	Чорнове точіння Напівчистове точіння Напівчистове шліфування	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння при
8	Квадратна зовнішня поверхня $\square 10h12_{(-0,15)}$; $l=10$	Ra6,2	Фрезерування однократне	
9	Зовнішня поверхня $\varnothing 9,85_{(-0,26)}$; $l=9,5$	Ra6,2	Чорнове точіння Напівчистове точіння	
10	Зовнішня різева поверхня M10-8g; $l=9,5$	Ra6,2	Нарізання різи різцем	Нарізання різи плашкою. Накатування різи
13	Канавка зовнішня $b=2,5H14$; $\varnothing 7,8h14$; 45°	Ra12,4	Точіння чорнове	

Закінчення таблиці 3.3

1	2	3	4	5
14	Торцева зовнішня поверхня 10h14(-0,43)	Ra6,2	Точіння чорнове Точіння напівчистове	
15,16	Два наскрізні отвори $\varnothing 6H14^{+0,3}$	Ra6,2	Свердління на верстаті з ЧПК	Свердління по кондуктору
17-22	Шість наскрізних отворів $\varnothing 4,95^{+0,26}$ під різь М6-7H; $l=11$; $\varnothing 55 \pm 0,1$; $\varnothing 44 \pm 0,1$	Ra6,2	Свердління без кондуктора на верстаті з ЧПК	Свердління по кондуктору
23-28	Шість внутрішніх фасок $1 \times 45^\circ$	Ra12,4	Зенкування фаски	Оброблення комбінованим інструментом
29-34	Шість різцевих поверхонь М6-7H; $l=11$	Ra6,2	Нарізання різі мітчиком	
35, 36	Два центрових отвори $\varnothing 4H14$; $\varnothing 8,5H14$; $l=5$; $l_1=3,9H12$	Ra12,4	Центрування	

Остаточний прийнятий маршрут обробки штока 1244.1412.014

005 Фрезерно-центрувальна

1. Фрезерувати торці 1, 11 одночасно, в розмірі 260_{-1,3}

2. Центрувати два центрові отвори 35, 36 одночасно, в розмірі $\varnothing 4^{+0,3}$; $\varnothing 8,5^{+0,36}$; $l=5$; $l_1=3,9^{+0,3}$

010 Токарна з ЧПК.

1. Точити поверхні 5, 7 з підрізкою торця 4, поверхню 3 послідовно, в розмірі $\varnothing 19,03_{-0,52}$; $11,4_{-0,7}$; $\varnothing 76_{-1,2}$.

2. Точити поверхню 8 під квадрат з підрізкою торця 14 за три проходи послідовно, в розмірі $\varnothing 17,7_{-0,43}$; $\varnothing 16,37_{-0,43}$; $\varnothing 15,03_{-0,43}$; 238,4_{-1,15}.

3. Точити поверхню 9 під різьбу за три проходи послідовно, в розмірі $\varnothing 13,062_{-0,43}$; $\varnothing 11,982_{-0,43}$; $\varnothing 10,916_{-0,43}$; $10_{-0,36}$.

4. Точити фаску 12, поверхню 9 під різьбу, поверхню 8 під квадрат з підрізкою торця 14, поверхні 7, 5 з підрізкою торця 4, поверхню 3 послідовно, в розмірі $1 \times 45^\circ$; $\varnothing 9,85_{-0,26}$; $\varnothing 14,142_{-0,43}$; $238_{-1,15}$; $\varnothing 18,198_{-0,13}$; $140_{-1,0}$; $\varnothing 18,28_{-0,13}$; $11_{-0,43}$; $\varnothing 75_{-0,74}$.

5. Точити фаску 2, в розмір $1 \times 45^\circ$.

6. Точити канавку 13, в розмірі $2,5^{+0,25}$; $\varnothing 7,8_{-0,36}$; 45° .

7. Нарізати різьбу 10 за п'ять проходів по програмі, в розмірі M10-8g; $l=9,5$.

8. Точити канавку 6 за два проходи, в розмірі $\varnothing 14,2_{-0,43}$; $\varnothing 13_{-0,11}$; $11,5_{-0,43}$.

9. Перевірити розміри: $1 \times 45^\circ$; $\varnothing 9,85_{-0,26}$; $\varnothing 14,142_{-0,43}$; $238_{-1,15}$; $\varnothing 18,198_{-0,13}$; $140_{-1,0}$; $\varnothing 18,28_{-0,13}$; $11_{-0,43}$; $\varnothing 75_{-0,74}$; $2,5^{+0,25}$; $\varnothing 7,8^{(+0,36)}$; 45° ; $\varnothing 13_{-0,11}$; $11,5_{-0,43}$; M10-8g.

Контроль 40 %.

015 Горизонтально-фрезерна

1. Фрезерувати першу сторону квадрата 8, в розмір $12,07_{-0,18}$

2. Повернути заготовку на 90°

3. Фрезерувати другу сторону квадрата 8, в розмір $\square 10_{-0,15}$

4. Повернути заготовку на 90°

5. Фрезерувати третю сторону квадрата 8, в розмір $12,07_{-0,18}$

6. Повернути заготовку на 90°

7. Фрезерувати четверту сторону квадрата 8, в розмір $\square 10_{-0,15}$

020 Круглошліфувальна

1. Шліфувати поверхню 7 та поверхню 5, в розміри $\varnothing 18_{-0,027}$; $\varnothing 18,082_{-0,033}$

2. Шліфувати поверхню 5, в розмір $\varnothing 18_{-0,011}$

025 Свердлильна з ЧПК.

1. Центрувати вісім отворів послідовно, в розміри $\varnothing 1,6^{+0,25}$; $\varnothing 3,35^{+0,3}$; $l=2$; $l_1=1,52^{+0,25}$.

2. Свердлити два отвори 15, 16, в розміри $\varnothing 6^{+0,3}$; $l=11$.

3. Свердлити шість отворів 17-22 під різь М6-7Н з формуванням шести фасок 23-28 послідовно, в розміри $\varnothing 5^{+0,26}$; $l=11$; $\varnothing 55 \pm 0,1$; $\varnothing 44 \pm 0,1$.

4. Нарізати різьбу 29-34 в шести отворах послідовно, в розміри М6-7Н; $l=11$.

5. Перевірити розміри: $\varnothing 6^{+0,3}$; $1 \times 45^\circ$; М6-7Н; $l=11$.

Контроль 40 %.

030 Контроль.

3.3. Визначення припусків на оброблення

Визначення припусків виконуємо на поверхню $\varnothing 18h6_{(-0,011)}$; Ra 0,8.

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 18h6_{(-0,011)}$; Ra 0,8:

1. Чорнове точіння h14.
2. Напівчистове точіння h11.
3. Шліфування кругле напівчистове h8.
4. Шліфування кругле чистове h6.

Мінімальні припуски розраховуємо за формулою [8]:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}), \quad (3.6)$$

Для точіння чорнового:

$R_{zi-1} = 160$ $T_{i-1} = 200$ мкм [8].

Похибка установки заготовки $\varepsilon_{y1} = 0$ [8].

Просторові відхилення при обробці штамповки [8]:

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{жол}^2 + \rho_{ц}^2}, \quad (3.7)$$

Жолоблення заготовок:

$$\rho_{жол} = \Delta K \cdot l, \quad (3.8)$$

$$l = \frac{L}{2}, \quad (3.9)$$

$$l = \frac{260}{2} = 130 \text{ мм.}$$

$$\rho_{\text{жол}} = 2 \cdot 130 = 260 \text{ мкм} = 0,26 \text{ мм.}$$

$$\rho_{i-1} = \sqrt{0,3^2 + 0,26^2 + 0,25^2} = 0,47 \text{ мм} = 470 \text{ мкм.}$$

Для точіння напівчистового:

$$R_{zi-2} = 100 \text{ мкм}, T_{i-2} = 50 \text{ мкм. [8].}$$

Просторові відхилення [8]:

$$\rho_{i-2} = \rho_{i-1} \cdot K_y, \quad (3.10)$$

$$\rho_{i-2} = 470 \cdot 0,06 = 28,2 \text{ мкм.}$$

Для шліфування напівчистового:

$$R_{zi-3} = 20 \text{ мкм}, T_{i-3} = 30 \text{ мкм [8].}$$

Просторові відхилення:

$$\rho_{i-3} = 28,2 \cdot 0,05 = 1,41 \text{ мкм.}$$

Для шліфування чистового:

$$R_{zi-4} = 10 \text{ мкм}, T_{i-4} = 20 \text{ мкм [8].}$$

Мінімальні операційні припуски:

1. Для чорнового точіння:

$$2Z_{1\min} = 2 \cdot (160 + 250 + 470) = 2 \cdot 880 = 1760 \text{ мкм.}$$

2. Для напівчистового точіння:

$$2Z_{2\min} = 2 \cdot (100 + 50 + 28,2) = 2 \cdot 178,2 = 356,4 \text{ мкм.}$$

3. Для напівчистового шліфування:

$$2Z_{3\min} = 2 \cdot (20 + 30 + 1,41) = 2 \cdot 51,41 = 103 \text{ мкм.}$$

4. Для чистового шліфування:

$$2Z_{4\min} = 2 \cdot (10 + 20) = 2 \cdot 30 = 60 \text{ мкм.}$$

Розрахункові розміри для переходів:

1. Для чистового шліфування:

$$d_{p4} = d_{\min, \text{деталі}} = 18 - 0,011 = 17,989 \text{ мм.}$$

2. Для напівчистового шліфування:

$$d_{p3} = 17,989 + 0,060 = 18,049 \text{ мм.}$$

3. Для напівчистового точіння:

$$d_{p2} = 18,049 + 0,103 = 18,152 \text{ мм.}$$

4. Для чорнового точіння:

$$d_{p1} = 18,152 + 0,356 = 18,508 \text{ мм.}$$

5. Для заготовки:

$$d_{p\text{заг.}} = 18,508 + 1,76 = 20,268 \text{ мм.}$$

Визначаємо допуски для переходів

$$\text{Заготовка} \longrightarrow \delta_{\text{заг.}} = 2,2 \text{ мм.}$$

$$1. \text{ Точіння чорнове } h14 \longrightarrow \delta_1 = 0,52 \text{ мм.}$$

$$2. \text{ Точіння напівчистове } h11 \longrightarrow \delta_2 = 0,13 \text{ мм.}$$

$$3. \text{ Шліфування напівчистове } h8 \longrightarrow \delta_3 = 0,033 \text{ мм.}$$

$$4. \text{ Шліфування чистове } h6 \longrightarrow \delta_4 = 0,011 \text{ мм.}$$

Визначаємо граничні розміри $d_{\min, i}$.

$$\text{Для шліфування чистового: } d_{\min, 4} = 17,989 \text{ мм.}$$

$$\text{Для шліфування напівчистового: } d_{\min, 3} = 18,049 \text{ мм.}$$

$$\text{Для точіння напівчистового: } d_{\min, 2} = 18,15 \text{ мм.}$$

$$\text{Для точіння чорнового: } d_{\min, 1} = 18,51 \text{ мм.}$$

$$\text{Для заготовки: } d_{\min, \text{заг.}} = 20,3 \text{ мм.}$$

Визначаємо граничні розміри $d_{\max, i}$:

Для шліфування чистового:

$$d_{\max, 4} = 17,989 + 0,011 = 18 \text{ мм.}$$

Для шліфування напівчистового:

$$d_{\max, 3} = 18,049 + 0,033 = 18,082 \text{ мм.}$$

Для точіння напівчистового:

$$d_{\max, 2} = 18,15 + 0,13 = 18,28 \text{ мм.}$$

Для точіння чорнового:

$$d_{\max.1} = 18,51 + 0,52 = 19,03 \text{ мм.}$$

Для заготовки:

$$d_{\max.заг.} = 20,3 + 2,2 = 22,5 \text{ мм.}$$

Граничні значення припусків $2Z_{i \min}$, $2Z_{i \max}$:

Для точіння чорнового:

$$2Z_{1 \max} = 22,5 - 19,03 = 3,47 \text{ мм.}$$

$$2Z_{1 \min} = 20,3 - 18,51 = 1,79 \text{ мм.}$$

Для точіння напівчистового:

$$2Z_{2 \max} = 19,03 - 18,28 = 0,75 \text{ мм.}$$

$$2Z_{2 \min} = 18,51 - 18,15 = 0,36 \text{ мм.}$$

Для шліфування напівчистового:

$$2Z_{3 \max} = 18,28 - 18,082 = 0,198 \text{ мм.}$$

$$2Z_{3 \min} = 18,15 - 18,049 = 0,101 \text{ мм.}$$

Для шліфування чистового:

$$2Z_{4 \max} = 18,082 - 18 = 0,082 \text{ мм.}$$

$$2Z_{4 \min} = 18,049 - 17,989 = 0,06 \text{ мм.}$$

Визначаємо загальні припуски:

$$2Z_{заг. \max.} = 3,47 + 0,75 + 0,198 + 0,082 = 4,5 \text{ мм.}$$

$$2Z_{заг. \min.} = 1,79 + 0,36 + 0,101 + 0,06 = 2,311 \text{ мм.}$$

Загальний номінальний припуск $2Z_{заг.ном.}$:

Відповідно:

$$2Z_{заг.ном.} = 2,311 - (-0,8) - (-0,011) = 3,122 \text{ мм;}$$

$$d_{заг.ном.} = 18,0 + 3,122 = 21,122 \text{ мм.}$$

Перевіряємо правильність розрахунків:

Для чорнового точіння:

$$3,47 - 1,79 = 1,68 \text{ мм.}$$

$$2,2 - 0,52 = 1,68 \text{ мм.}$$

Для напівчистового точіння:

0,75 – 0,36=0,39 мм.

0,52 – 0,13=0,39 мм.

Для шліфування напівчистового:

0,198 – 0,101=0,097 мм.

0,13 – 0,033=0,097 мм.

Для шліфування чистового:

0,082 – 0,06=0,022 мм.

0,033 – 0,011=0,022 мм.

Розрахунки проведено правильно

Заносимо всі величини в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски поверхні $\varnothing 18h6_{(-0,011)}$

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{i\min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_{ri} , мм	Допуск δ_d , мм	Граничні розміри, мм		Розрахункові граничні припуски, мм		
	R_z	T	ρ	ξ_y				d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{i\min}$	$2Z_{i\max}$	
Заготовка – штамповка	160	250	470			39,3	2,2	20,3	22,5			
Точіння чорнове h14	100	50	28,2	0	1760	20,462	0,52	18,51	19,03	1,79	3,47	
Точіння напівчистове h11	20	30	1,41	0	356,4	20,130	0,13	18,15	18,28	0,36	0,75	
Шліфування напівчистове h8	10	20	–	0	103	20,027	0,033	18,049	18,082	0,101	0,198	
Шліфування чистове h6	3,2	–	–	0	60	19,967	0,011	17,989	18	0,06	0,082	
Загальний припуск									2,311	4,5		

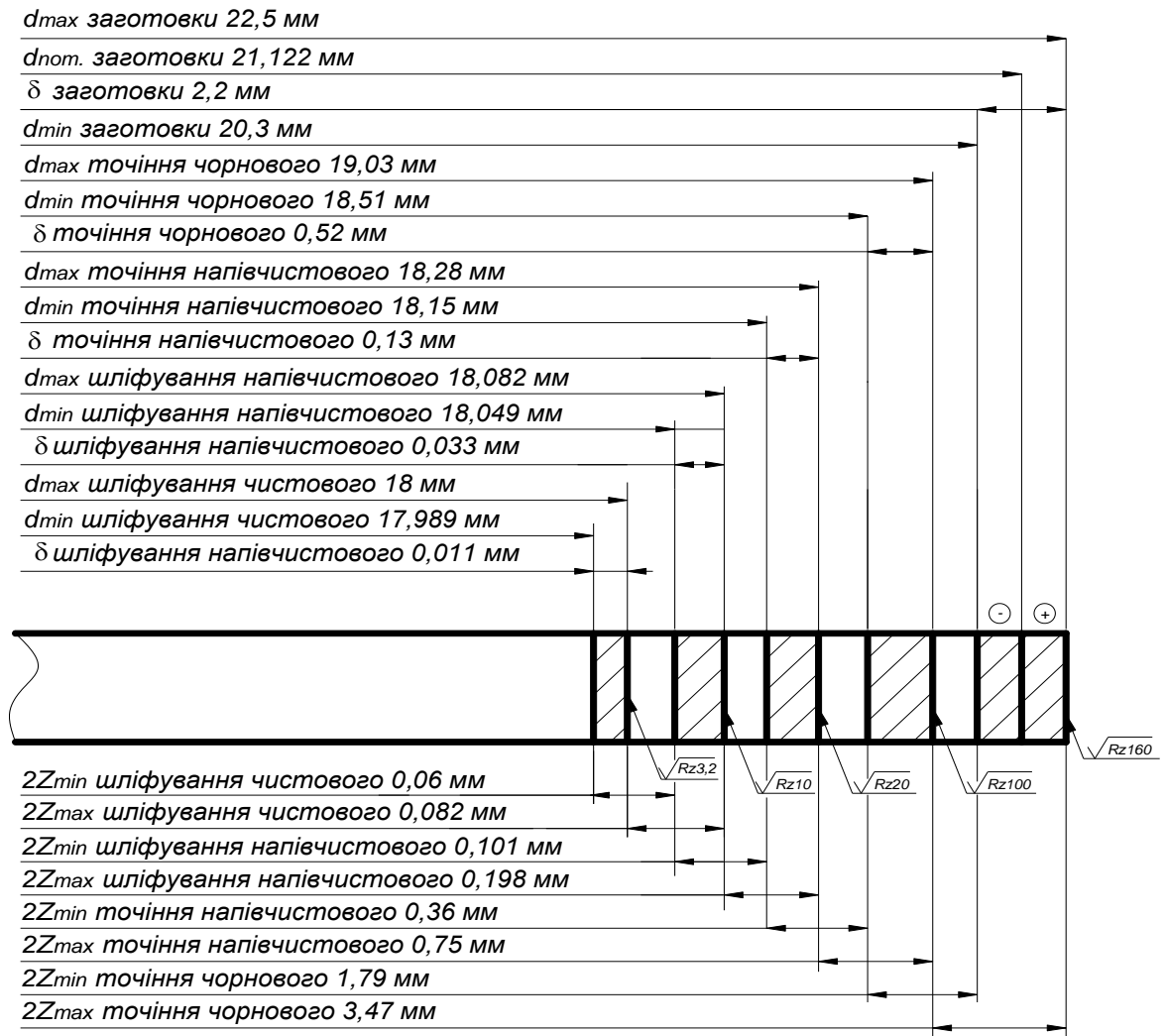


Рисунок 3.1 – Схема графічного розташування припусків $\varnothing 18h6$

Таблиця 3.5 – Розрахункові припуски

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Торцева поверхня 260h14 _(-1,3)					
Фрезерування чорнове	14	Ra6,2	1,3	1,9 × 2=3,8	260 _{-1,3}
Заготовка	15	Rz160	3,6	–	263,8 _{-1,2} ^{+2,4}

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6
Квадратна зовнішня поверхня $\square 10h12_{(-0,15)}$; $l=10$					
Фрезерування чорнове однієї сторони	12	Ra6,2	0,15	2,07	$\square 10_{-0,15}$
Фрезерування чорнове другої сторони	12	Ra6,2	0,18	2,07	$12,07_{-0,18}$
Заготовка	14	Ra 12,4	0,43	$2,07 \times 2 = 4,14$	$\square 14,142_{-0,43}$
Торцева поверхня $11h14_{(-0,43)}$					
Точіння напівчистове	14	Ra 6,2	0,43	0,4	$11_{-0,43}$
Точіння чорнове	15	Ra 12,4	0,7	1,0	$11,4_{-0,7}$
Заготовка	15	Ra6,2	2,2	1,4	$12,4^{+1,4}_{-0,8}$
Зовнішня поверхня $\varnothing 75h14_{(-0,74)}$; $l=11$					
Точіння напівчистове	14	Ra6,2	0,74	$0,5 \times 2 = 1,0$	$\varnothing 75_{-0,74}$
Точіння чорнове	15	Ra 25	1,2	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 76_{-1,2}$
Заготовка	клас T4	Rz 160	2,5	$1,5 \times 2 = 3,0$	$\varnothing 78^{+1,6}_{-0,9}$
Зовнішня поверхня $\varnothing 18h8_{(-0,027)}$					
Шліфування напівчистове	8	Ra1,6	0,027	$0,099 \times 2 = 0,198$	$\varnothing 18_{-0,027}$
Точіння напівчистове	11	Rz 20	0,13	$0,416 \times 2 = 0,832$	$\varnothing 18,198_{-0,13}$
Точіння чорнове	14	Rz 100	0,52	$1,046 \times 2 = 2,092$	$\varnothing 19,03_{-0,52}$
Заготовка	клас T4	Rz 160	2,2	$1,561 \times 2 = 3,122$	$\varnothing 21,122^{+1,4}_{-0,8}$
Зовнішня поверхня $\varnothing 14,142 h14_{(-0,43)}$					
Точіння поздовжнє чорнове	14	Ra 12,4	0,43	$0,444 \times 2 = 0,888$	$\varnothing 14,142_{-0,43}$
Зняття напуску	14	Ra 25	0,43	$0,67 \times 2 = 1,34$	$\varnothing 15,03_{-0,43}$
				$0,665 \times 2 = 1,33$	$\varnothing 16,37_{-0,43}$
				$0,665 \times 2 = 1,33$	$\varnothing 17,7_{-0,43}$
Заготовка	Попередньо оброблена поверхня	Ra 25	0,52	$2,444 \times 2 = 4,888$	$\varnothing 19,03_{-0,52}$
Зовнішня поверхня $\varnothing 9,85_{-0,26}$; $l=9,5$ під різь M10-8g					
Точіння напівчистове	14	Ra 6,2	0,26	$0,533 \times 2 = 1,066$	$\varnothing 9,85_{-0,26}$

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Точити фаску 12, поверхню 9 під різьбу, поверхню 8 під квадрат з підрізкою торця 14, поверхні 7, 5 з підрізкою торця 4, поверхню 3 послідовно, в розміри 1×45°; Ø9,85 _{-0,26} ; Ø14,142 _{-0,43} ; 238 _{-1,15} ; Ø18,198 _{-0,13} ; 140 _{-1,0} ; Ø18,28 _{-0,13} ; 11 _{-0,43} ; Ø75 _{-0,74} .	1,0 0,533	295	1	61	0,4	562	17,3	225	1,32	1,4
	0,444						24,9			
	0,416 0,375						32 32,1			
	0,4 0,5						133,6			
Перехід 6 Точити фаску 2, в розмір 1×45°.	1,0	4	1	61	0,31	562	133,8	169	0,024	1,51
Перехід 7 Точити канавку 13, в розміри 2,5 ^{+0,25} ; Ø7,8 _{0,36} ; 45°.	1,025	5,025	1	61	0,21	1802	44,11	902	0,012	3,45
Перехід 8 Нарізати різьбу 10 за п'ять проходів по програмі, в розміри M10-8g; l=9,5.	0,4	15,5	5	61	1,51	992	32	1486	0,051	0,27
Перехід 9 Точити канавку 6 за два проходи, в розміри Ø14,2 _{-0,43} ; Ø13 _{-0,11} ; 11,5 _{-0,43} .	1,3	6,6	2	61	0,21	1802	73,7	902	0,016	4,1

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
025 Горизонтально-фрезерна										
Фрезерувати першу сторону квадрата 8, в розмір 12,07 _{-0,18}	2,07	29	1	122	0,11 мм/ зуб	902	177	1442	0,021	3,1
Перехід 3 Повернути заготовку на 90°										
Фрезерувати другу сторону квадрата 8, в розмір □10 _{-0,15}	2,07	29	1	122	0,11 мм/ зуб	902	177	1442	0,021	3,1
Перехід 5 Повернути заготовку на 90°										
Фрезерувати третю сторону квадрата 8, в розмір 12,07 _{-0,18}	2,07	29	1	122	0,11 мм/ зуб	902	177	1442	0,021	3,1
Перехід 7 Повернути заготовку на 90°										
Фрезерувати четверту сторону квадрата 8, в розмір □10 _{-0,15}	2,07	29	1	122	0,11 мм/ зуб	902	177	1442	0,021	3,1
Операція 035 Круглошліфувальна										
Шліфувати поверхню 7 та поверхню 5, в розміри Ø18 _{-0,027} ; Ø18,082 _{-0,033}	0,099	247	1	–	S _п = =0,025 мм/об S _о =24 мм/об	214	V _{с.кол.} 12 м/хв V _{с.позд.} 3 м/хв	–	0,28	1,4
Перехід 3										

Закінчення таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Шліфувати поверхню 5, в розмір $\varnothing 18_{-0,011}$	0,04 1	130	1	–	$S_{\text{п}} = 0,005$ мм/об $S_{\text{о}} = 16$ мм/об	532	$V_{\text{с.кол.}}$ 30 м/хв $V_{\text{с.позд.}}$ 5 м/хв	–	0,218	0,45
Операція 025 Свердлильна з ЧПК										
Центрувати вісім отворів послідовно, в розміри $\varnothing 1,6^{+0,25}$; $\varnothing 3,35^{+0,3}$; $l=2$; $l_1=1,52^{+0,25}$.	0,8	6,52	8	17	0,118	2002	25,14	236	0,221	0,14
Перехід 3 Свердлити два отвори 15, 16, в розміри $\varnothing 6^{+0,3}$; $l=11$.	3	14	2	17	0,164	2002	31,5	325	0,11	0,07
Перехід 3 Свердлити шість отворів 17-22 під різь М6-7Н з формуванням шести фасок 23-28 послідовно, в розміри $\varnothing 5^{+0,26}$; $l=11$; $\varnothing 55 \pm 0,1$; $\varnothing 44 \pm 0,1$.	2,5	14	6	17	0,164	2002	31,5	325	0,27	0,07
Перехід 4 Нарізати різьбу 29-34 в шести отворах послідовно, в розміри М6-7Н; $l=11$.	0,54	27	6	17	1,0	562	10,56	561	0,28	0,05

Розрахунок технічних норм часу виготовлення штока 1244.1412.014 представлено в додатках.

Результати розрахунку представлено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – 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.	п	T _{шт.к.} , хв
		T _{у.}	T _{пер}	T _{вим}		T _{тех.об.}	T _{орг.об.}	T _{відп.}				
005 Фрезерно-центрувальна	0,45	–	–	–	–	–	–	–	–	–	III	0,828
010 Токарна з ЧПК	2,622	0,17	0,5	0,459	4,303	0,30121			5,6	33,79		5,9
015 Горизонтально-фрезерна	0,08	–	–	–	–	–	–	–	–	–		0,423
020 Круглошліфувальна	0,487	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1,023
025 Свердлильна з ЧПК	0,873	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1,502

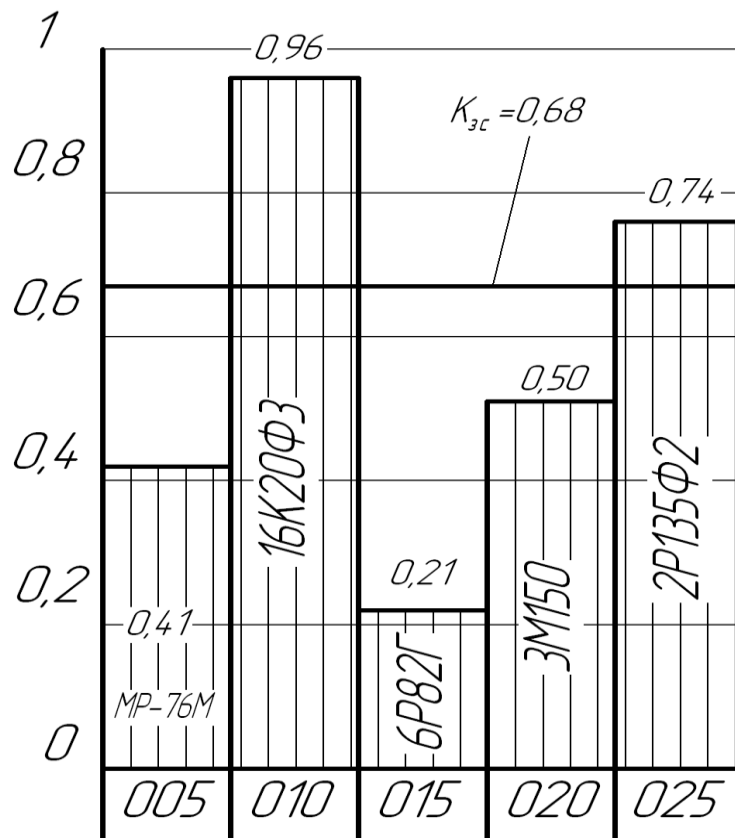


Рисунок 3.2 – Графік завантаження обладнання

3.5. Розрахунок пристосування

Приводимо розрахункову схему (рис. 3.5) для визначення сил затиску штока 1244.1412.014 на свердлильній з ЧПК операції 025 при свердлінні отвору $\varnothing 6H14 (+0,3)$; $l=11$ мм.

Заготовка базується на призми поверхнями $\varnothing 18h6$ мм, $\varnothing 18h8$ мм і торцем – на плоску опору; закріплення здійснюється по поверхні $\varnothing 18h6$. Заготовка в закріплюється від пневмоциліндра притискачем. На заготовку при свердлінні діє крутний момент $M_{кр}$.

Необхідна сила для затиску заготовки [6]:

$$P_3 = \frac{2K \cdot M_{кр}}{D_3 \cdot \left(\frac{f_2 + f_1}{\sin \alpha} \right)}, \quad (3.11)$$

де $f_1 + f_2 = 0,16$ [6].

$2\alpha = 90^\circ$, $\alpha = 45^\circ$.

Крутний момент при свердлінні

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.12)$$

$$K_p = K_{mp}, \quad K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{610}{750} \right)^{0,75} = 0,86;$$

$$\text{Отже,} \quad M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 6^{2,0} \cdot 0,162^{0,8} \cdot 0,86 = 2,49 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$K=3,7$.

$$\text{Отже,} \quad P_3 = \frac{2 \cdot 3,7 \cdot 2,49}{0,018 \cdot \left(\frac{0,16}{\sin 45} \right)} = 4524 \text{ Н}.$$

Перевірка створеної сили пневмоциліндром:

$$Q \leq W \cdot i. \quad (3.13)$$

Тягова сила на штоці пневмоциліндра [14]:

$$F_{\text{шт.т}} = 0,785 \cdot (D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{шт}}^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (3.14)$$

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

Умова забезпечення затиску заготовки

$$P_3 \leq W, \quad (3.15)$$

Сила тяги пневмоциліндра:

$$W = \frac{F_{\text{шт.тяг.}}}{\left(\text{tg} \left(\beta + \text{arctg} \left(\varphi \cdot \frac{d}{D} \right) \right) + \text{tg} \varphi_1 \right)}, \quad (3.16)$$

$$W = \frac{2689}{\left(\text{tg} \left(10 + \text{arctg} \left(6 \cdot \frac{12}{24} \right) \right) + \text{tg} 6 \right)} = 4644 \text{ Н.}$$

Умова надійності закріплення:

$$W > P_3.$$

При розрахунках одержано $W=4644 \text{ Н} > P_3=4524 \text{ Н.}$

Тому заготовка буде надійно закріплена при свердлінні отвору.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Стандарти, міждержавні стандарти, санітарні та будівельні норми, якими керується підприємство при роботі з охорони праці

Державні міжгалузеві та галузеві нормативні акти про охорону праці — це правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових норм, обов'язкових для виконання.

Опрацювання та прийняття нових, перегляд і скасування чинних державних міжгалузевих та галузевих нормативних актів про охорону праці проводяться органами державного нагляду за охороною праці за участю інших державних органів і професійних спілок у порядку, визначеному Кабінетом Міністрів України.

Стандарти, технічні умови та інші нормативно-технічні документи на засоби праці і технологічні процеси повинні включати вимоги щодо охорони праці і погоджуватися з органами державного нагляду за охороною праці.

В Україні створена система державних нормативних актів про охорону праці. Правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, затверджені державними органами у межах їх компетенції, мають чинність правових норм, підлягають виконанню, і їх невиконання чи неналежне виконання тягне за собою юридичну відповідальність аж до кримінальної. Основними документами, якими керуються під час роботи підприємства є закон "Про охорону праці", Кодекс законів про працю України, закони "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку", "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", "Про використання ядерної енергії та радіаційний захист", "Про підприємства в Україні", "Про колективні договори і угоди". До основних норм і стандартів, якими керується підприємство при роботі з охорони праці включають:

Положення про систему управління охороною праці на підприємстві (затверджується на основі відповідного галузевого положення);

Положення про комісію охорони праці підприємства (затверджується на основі Типового положення про комісію з питань охорони праці підприємства, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 3 серпня 1993 року № 72);

Положення про роботу уповноважених трудових колективів з питань охорони праці (затверджується на основі Типового положення про роботу уповноважених трудових колективів з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 28 грудня 1993 року № 135);

Положення про навчання з питань охорони праці (затверджується на основі Типового положення про навчання з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 17 лютого 1999 р. № 27);

Положення про організацію й проведення первинного та повторного інструктажів, а також спеціального навчання (пожежно-технічного мінімуму) з питань пожежної безпеки (затверджується на основі Типового положення про спеціальне навчання, інструктажі та перевірку знань з питань пожежної безпеки не підприємствах, в установах та організаціях України, затвердженого наказом Міністерства внутрішніх справ від 17 листопада 1994 року № 628);

Наказ про порядок атестації робочих місць на їх відповідність нормативним актам про охорону праці;

Положення про організацію попереднього (при прийнятті на роботу) і періодичного (упродовж трудової діяльності) медичних оглядів (опрацьовується на основі Положення про медичний огляд працівників певних категорій, затвердженого наказом Мінохоронздоров'я України від 31 березня 1994 року № 45,

Інструкції з охорони праці для працюючих за фахами та видами робіт (затверджуються згідно з вимогами Положення про опрацювання інструкцій з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 29 січня 1998 року № 9);

Загальнооб'єктова та цехові інструкції про заходи пожежної безпеки (затверджується згідно з Правилами пожежної безпеки в Україні);

Перелік робіт з підвищеною небезпекою, для проведення яких необхідне попереднє спеціальне навчання та щорічна перевірка знань з охорони праці (затверджується на основі Переліку робіт з підвищеною небезпекою, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 30 листопада 1993 року № 123, і Переліку робіт, де є потреба у професійному доборі, затвердженого наказом Мінохоронздоров'я та Держнаглядохоронпраці від 23 вересня № 263/121);

Перелік посадових осіб підприємства, які зобов'язані проходити попередню і періодичну перевірку знань з охорони праці (затверджується на основі Переліку посад посадових осіб, які зобов'язані проходити попередню і періодичну перевірку знань з охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 11 жовтня 1993 року № 94);

Наведений перелік нормативних актів про охорону праці підприємства не є вичерпним. З урахуванням специфіки виробництва та організації праці можуть видаватися й інші нормативні акти про охорону праці.

4.2. Забезпечення стійкості виробничих об'єктів

Під стійкістю роботи виробничих об'єктів розуміють здатність об'єкта виготовляти встановлені види продукції в обсязі і номенклатурі, що відповідають вимогам певних планів в умовах надзвичайних ситуацій, а також пристосованість цього об'єкта до відновлення в умовах його ушкодження. Для об'єктів, які не пов'язані з виробництвом матеріальних цінностей, стійкість визначається їх здатністю виконувати свої функції.

Більш підготовленими до стійкої роботи будуть ті об'єкти, які реально оціняють чинники, що можуть формувати стан об'єкта і розвиток подій в умовах надзвичайних ситуацій.

Підвищення стійкості технічних систем і об'єктів досягається здебільшого організаційно-технічними заходами, яким завжди передували дослідження стійкості конкретного об'єкта.

На першому етапі дослідження аналізують стійкість і уразливість його елементів в умовах надзвичайних ситуацій, а також оцінюють небезпеку виходу з ладу чи руйнування елементів, чи всього об'єкта в цілому. На цьому етапі аналізують:

- надійність устаткування і технологічних комплексів;
- наслідки аварій окремих систем виробництв;
 - розповсюдження вибухової хвилі по території підприємства під час вибухів посудин, комунікацій, ядерних зарядів;
- розсівання речовин, що звільняються під час надзвичайних ситуацій;
 - можливість вторинного утворення токсичних, пожежо- і вибухонебезпечних сумішей тощо

Кожного разу для виявлення впливів небезпечних чинників необхідно виявити склад тих елементів, на які впливають ті небезпеки, чи які беруть участь у формуванні впливів.

На другому етапі досліджень розробляються заходи з підвищення стійкості і підготовки об'єкта до відновлення його дії після надзвичайних ситуацій. У плані зазначаються об'єм і кошторис планованих робіт, джерела фінансування, основні матеріали та їх кількість, машини і механізми, робоча сила, відповідальні виконавці, термін виконання тощо.

Дослідження стійкого функціонування об'єкта починається задовго до початку його експлуатації. На стадії проектування це якоюсь мірою робить проєктант. Таке саме дослідження об'єкта проводиться відповідними службами на стадії технічних, економічних, екологічних та інших видів експертиз. Кожна реконструкція чи розширення об'єкта також потребує нових досліджень щодо його стійкості. Отже, дослідження стійкості — це не одноразова дія, а тривалий, динамічний процес, який потребує постійної уваги з боку керівництва, технічного персоналу, служб цивільної оборони.

Будь-який виробничий об'єкт містить наземні будівлі і споруди основного і допоміжного виробництва, складські приміщення та приміщення адміністративно-побутового призначення. У будинках та спорудах основного і

допоміжного виробництва розміщується типове технологічне обладнання, мережі газо-, тепло-, електропостачання. Між собою приміщення і споруди з'єднані мережею внутрішнього транспорту, мережею енергоносіїв і системами зв'язку й управління. На території виробничих об'єктів можуть бути розташовані споруди автономних систем електро- і водопостачання, а також окремі технологічні пристрої, що знаходяться окремо від інших будівель і споруд. Будинки і споруди побудовані за типовими проектами з уніфікованих матеріалів. Проекти виробництва виконуються за єдиними нормами технологічного проектування, що зумовлює середній рівень щільності забудови (звичайно 30—60 %). Все це дає підстави вважати, що для всіх об'єктів, незалежно від профілю виробництва і призначення, характерні загальні чинники, що впливають на стійкість об'єкта, його роботу в умовах НС.

На працездатність виробничого об'єкта мають негативний вплив специфічні умови і перш за все — район його знаходження. Він визначає рівень і вірогідність впливу небезпечних чинників природного походження (сейсмічний вплив, селі, зсуви, тайфуни, цунамі, кількість гроз, липневих дощів та ін.). Тому велика увага приділяється дослідженню й аналізу району розташування об'єкта. Одночасно з'ясовуються метеорологічні умови району (кількість опадів, напрямки дії пануючих вітрів, максимальна і мінімальна температура найбільш спекотного та найбільш холодного місяців, вивчається рельєф місцевості, характер ґрунту, глибина залягання ґрунтових вод, їх хімічний склад). На стійкість об'єкта впливають: характер забудови території (структура, тип, щільність забудови), наявність розташованих поблизу об'єкта суміжних виробництв, транспортні магістралі, природні умови місцевості (лісові масиви — джерела пожеж; водні об'єкти — можливі транспортні комунікації, вогнегороджуючі зони і одночасно джерела повеней та ін.).

Район розташування може відігравати роль головного чинника в забезпеченні захисту і працездатності об'єкта в умовах необхідного виходу з експлуатації штатних шляхів подання сировини чи енергоносіїв. Наприклад, наявність річки поблизу об'єкта дозволяє при порушенні шляхових і

трубопровідних магістралей здійснити подачу матеріалів, сировини і комплектуючих водним транспортом.

Під час вивчення стійкості об'єкта дають характеристику будинкам основного і допоміжного виробництва, а також будинкам, які не беруть участь у виробництві основної продукції у випадках НС. Визначають основні особливості їх конструкції, технічні відомості, поверховість, розміри, вид каркасу, стикові заповнення, світові прорізи, покрівлю, перекриття, ступень зношення, вогнетривкість будинків, кількість робітників і службовців, які одночасно працюють у приміщеннях (найбільша робоча зміна), наявність убудованих в будинок сховищ чи сховищ, які знаходяться поблизу від основних будинків, наявність в будинках засобів евакуації та їх пропускну здатність.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі дослідження динаміки процесу токарної обробки перервних поверхонь. Розроблено розрахункову схему еквівалентної багатомасової системи для дослідження динаміки процесу токарної обробки перервної циліндричної поверхні. Виведено систему диференціальних рівнянь, що описують коливання елементів еквівалентної багатомасової системи. Розв'язок системи диференціальних рівнянь проведено на комп'ютері із застосуванням чисельного методу Рунге-Кутта, де враховано графік зміни сили різання.

В результаті застосування чисельного методу одержано графічні залежності зміни кута деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею в часі, лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі, лінійної деформації різцетримача в напрямку осі z в часі, швидкості деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею в часі, швидкості деформації різця в напрямку осі z в часі, швидкості деформації різцетримача в напрямку осі z в часі під час токарної обробки перервної поверхні.

Із представлених графіків на рисунках встановлено, що деформації заготовки з перервною циліндричною поверхнею, різця та різцетримача в часі при токарній обробці зростають в момент виникнення удару, при цьому досягають максимального значення, після чого знижуються при стабільному процесі різання і затухають при виході різця із зони контакту із заготовкою. Аналогічно відбувається із швидкостями представлених вище елементів системи. Величина деформації різцетримача на порядок нижча ніж величина деформації різця.

Також представлено результати експериментальних досліджень стійкості різців при токарній обробці заготовки з перервною циліндричною поверхнею.

Встановлено, що найбільший вплив на стійкість різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею має швидкість різання V , а найменший – глибина різання. При

цьому збільшення технологічних факторів: глибини різання t , швидкості різання V та подачі різця на один оберт заготовки S призводить до зниження стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею.

Максимальне значення стійкості різців при токарній обробці заготовки із алюмінієвого сплаву з перервною циліндричною поверхнею становить 87 хв., а мінімальне – 31 хв. Збільшення глибини різання t від 1 мм до 2 мм призводить до зниження стійкості різців на 10%, а збільшення швидкості різання V від 80 до 120 м/хв призводить до зниження стійкості різців в 1,8 рази. Збільшення подачі різця на один оберт заготовки S від 0,2 до 0,4 мм/об призводить до зниження стійкості різців на 28%.

Розроблено технологічний процес виготовлення штока 1244.1412.014 з вибором устаткування та параметрів процесів механічної обробки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування”. Тернопіль, 2001. 58 с.
2. Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Классы 71,72,73,74,75,76 (в отдельных книгах). М.: Издательство стандартов, 1986. 235 с.
3. Орлова П. Н., Скороходова Е. А. Краткий справочник металлиста. М.: Машиностроение, 1986. 456 с.
4. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
5. Дьячков В. Б. Специальные металлорежущие станки общемашиностроительного применения: справочник. М.: Машиностроение, 1983. 328 с.
6. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. М. : Машиностроение, 1985. Т. 2. 496 с.
7. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
8. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.
9. Косилова А.Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. М. : Машиностроение, 1985. Т. 1. 1986. 656 с.
10. Барановский Ю. В. Режимы резания металлов. М.: Машиностроение, 1972. 258 с.
11. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
12. Горбачевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск: Вышэйшая школа, 1975. 288 с.
13. Итин А. М., Родичев Ю. Я. Наладка и эксплуатация токарных многошпиндельных полуавтоматов. М. : Машиностроение, 1977. 136 с.
14. Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1966. 650 с.
15. Горошкин А. К. Приспособления для металлорежущих станков. 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 : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.

19. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б. Технологія оброблення валів : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 198 с.

20. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

21. R.Pavel, K.Sinram, D.Combs, Michael H.Deis, I.Marinescu Surface Quality and Tool Wear in Interrupted Hard Turning of 1137 Steel Shafts, 2002.

22. Дячун А.Є. Обґрунтування параметрів технологічного процесу виготовлення профільних гвинтових заготовок. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. 2008. 208 с.

23. Пилипець М. І. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин: дис. д-ра техн. наук : 05.02.08 / Михайло Ількович Пилипець. Львів, 2002. 445 с.

24. Гевко Б. М. Технология изготовления спиралей шнеков / Гевко Б. М. – Львов : Вища школа, 1986. – 128 с.

25. Новосад І. Я. Технологічне забезпечення виготовлення секцій робочих органів гнучких гвинтових конвеєрів: дис. кандидата техн. наук : 05.02.08 / Новосад Іван Ярославович. – Тернопіль, 2007. – 229 с.

26. Гупка А.Б. Технологічне забезпечення виготовлення гвинтових стрічкових заготовок з вигнутим профілем. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. 2016. 198 с.

27. R. Suresh, S. Basavarajappa. Turning of Hardened H13 Steel with Interrupted and Continuous Surfaces using Multilayer Coated Carbide Tool 5 th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014) December 12th–14th, 2014, ІІТ Guwahati, Assam, India 25-1

28. Пилипець М.І. Дослідження деформації розточної оправки під час обробки наскрізного отвору / М.І. Пилипець, В.І. Щербань, О.О. Костюк // Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”, 25-26 листопада 2020 р. : тези доп. – Тернопіль, 2020. - С. 91.

29. 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.

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

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