

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 фланця КС6-09.208 з
дослідженням процесу обробки отворів комбінованим інструментом

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Солтисьяк С.М.

(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)

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення фланця КС6-09.208 з дослідженням процесу обробки отворів комбінованим інструментом.”

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження динаміки оброблення ступінчастого отвору комбінованим інструментом свердло-зенкер. Виведено систему диференціальних рівнянь для схеми оброблення ступінчастого отвору комбінованим інструментом свердло-зенкер. Побудовано графіки зміни кутів деформації елементів системи комбінований інструмент (свердло-зенкер)-патрон-шпindel-ротор двигуна при обробленні ступінчастого отвору.

Проведено і представлено результати експериментальних досліджень розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки залежно від зміни трьох основних факторів: подачі інструмента, діаметра свердла та глибини різання зенкером.

Із представлених графічних залежностей встановлено, що в момент удару зенкера відбувається різке зростання кута деформації свердла відносно зенкера в часі з подальшим затухаючим коливанням.

В загальному деформації комбінованого інструмента свердло-зенкер знаходяться в допустимих межах, тому руйнування такого інструменту відбуватись не буде. Також представлені диференціальні рівняння дозволяють прогнозувати вплив режимів різання, силових факторів на міцність комбінованого інструменту.

Також розроблено технологічний процес виготовлення фланця КС6-09.208 з вибором устаткування та параметрів процесів механічної обробки.

ЗМІСТ

Вступ	
1 Аналітична частина	
1.1. Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами.....	
1.2. Службове призначення деталі.....	
1.3. Висновки та постановка задач	
2 Науково-дослідна частина	
2.1. Дослідження динаміки оброблення ступінчастого отвору комбінованим інструментом свердло-зенкер.....	
2.2. Експериментальні дослідження розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер.....	
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 і розмірів заготовки.....	
3.5. Визначення режимів різання.....	
3.6. Розрахунок похибки встановлення деталі.....	
3.7. Розрахунок пристосування.....	
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	
4.1. Планування робіт з охорони праці та контроль за їх безпекою.....	
4.2. Основні види надзвичайних ситуацій.....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

ВСТУП

Застосування комбінованих інструментів для обробки отворів сприяють підвищенню продуктивності процесу, а також забезпечують вищу точність для різних діаметрів ступінчастого отвору.

Поряд із позитивними сторонами комбінованих інструментів є і негативні, зокрема погіршення процесу відведення стружки, що є причиною зниження точності обробленого отвору.

Комбіновані інструменти також використовуються для обробки конкретних отворів, тому такі інструменти доцільно застосовувати при обробці значної кількості отворів одного типорозміру. При розробці комбінованих інструментів для обробки отворів потрібно розробляти обґрунтовані технологічні процеси.

Особливістю комбінованих інструментів є те, що в них є змінними геометричні параметри вздовж ріжучих кромки, що ускладнює прогнозування їх роботи. Тому доцільним є подальші дослідження процесів обробки отворів комбінованими інструментами.

Також виникає необхідність проведення дослідження динамічних навантажень на елементи системи комбінований інструмент (свердло-зенкер)-патрон-шпиндель-ротор двигуна для оброблення ступінчастого отвору та величини переміщення її складових. Ці деформації і динамічні навантаження можна знайти за допомогою вирішення диференціальних рівнянь руху.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення фланця КС6-09.208 з вибором устаткування та параметрів процесів механічної обробки.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами

Значний вклад у дослідження механічної обробки отворів різними інструментами, зокрема і комбінованими вклали такі вчені: Е.М. Дечко, Т.Г. Джугурян, В.М. Подураєв, М.Д. Троїцький, Н.С. Равська, П.Р. Родін, І.В. Луців, М.С. Степанов, М.С. Іванова та багато інших. Значна частина досліджень присвячена точності обробки отворів, при цьому встановлено, що до основних причин утворення похибок обробки отворів є деформація інструментів під час різання як наслідок дії неврівноваженої радіальної сили різання.

У роботі М.С. Іванової проведено систематизацію основних факторів, що призводять до похибок точності отворів в поперечному і поздовжньому перерізах, а також до погіршення якості поверхні.

Також встановлено, що застосування комбінованих інструментів для обробки отворів сприяють підвищенню продуктивності процесу, а також забезпечують вищу точність для різних діаметрів ступінчастого отвору.

Проектування комбінованих інструментів розглянуто в роботах В.Є. Карпуся, П.Р. Родіна, І.О. Малишка. Автори поряд із позитивними сторонами комбінованих інструментів відзначають і негативні, зокрема погіршення процесу відведення стружки, що є причиною зниження точності обробленого отвору.

Комбіновані інструменти також використовуються для обробки конкретних отворів, тому такі інструменти доцільно застосовувати при обробці значної кількості отворів одного типорозміру. Отже, при розробці комбінованих інструментів для обробки отворів потрібно розробляти обґрунтовані технологічні процеси.

У роботі М.С. Іванової представлено блок-схему концентрації операції при обробці отвору комбінованим інструментом (рис. 1.1)

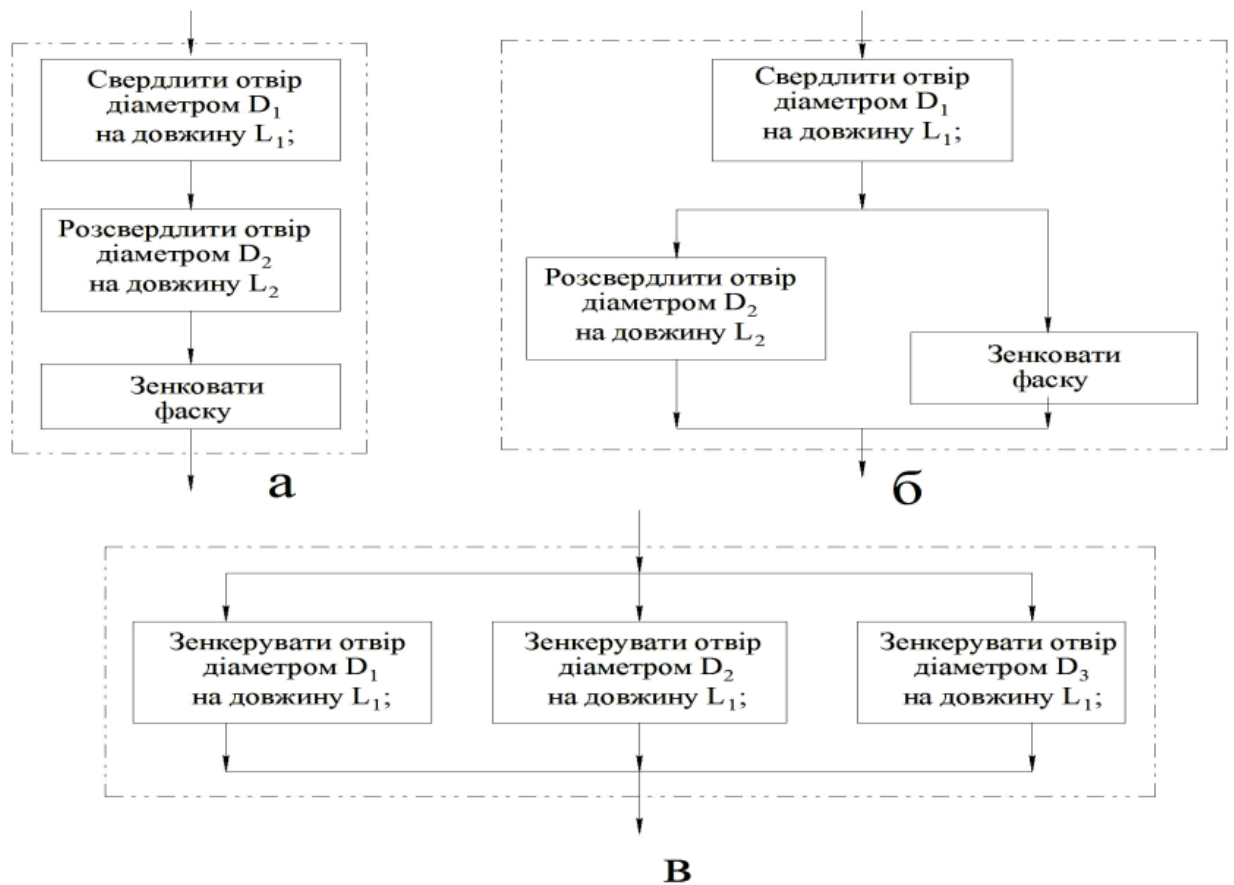


Рисунок 1.1 – Концентрації операції при обробці отвору комбінованим інструментом: а – послідовно; б – послідовно-паралельно; в – паралельно [21]

Особливістю комбінованих інструментів є те, що в них є змінними геометричні параметри вздовж ріжучих кромки, що ускладнює прогнозування їх роботи. Тому для опису силових параметрів осьової сили різання P_o та крутного моменту $M_{кр}$ використовуються різні емпіричні залежності. Наприклад Бостон рекомендує формули

$$P_o = C_1 \cdot S^{0.6} \cdot D;$$

$$M_{кр} = C_2 \cdot S^{0.6} \cdot D^{1.8}.$$

У роботах Оксфорда використано такі залежності:

$$P_o = 0.195 \cdot (HB) \cdot S^{0.8} \cdot D^{0.8};$$

$$M_{кр} = 0.087 \cdot (HB) \cdot S^{0.8} \cdot D^{1.8}.$$

У роботі М.С. Іванової визначено вплив кількості ступеней та величини подачі на силові параметри процесу обробки комбінованими інструментами, що

представлено на рисунках 1.2, 1.3.

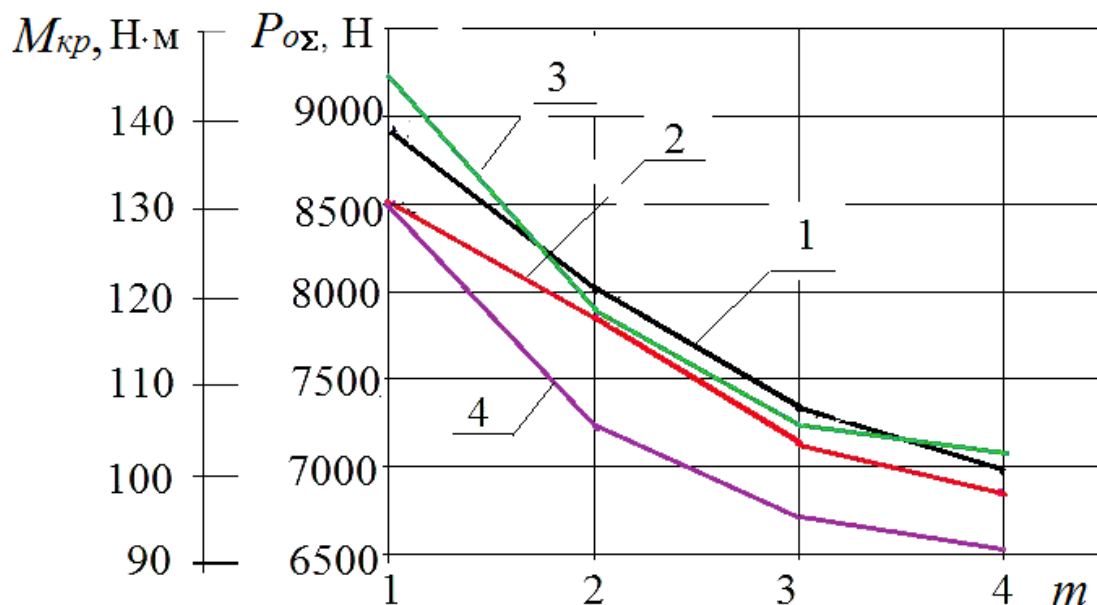


Рисунок 1.2 – Вплив кількості ступенів комбінованого інструменту на: 1,2 – осьову силу різання; 3, 4 – крутний момент різання [21]

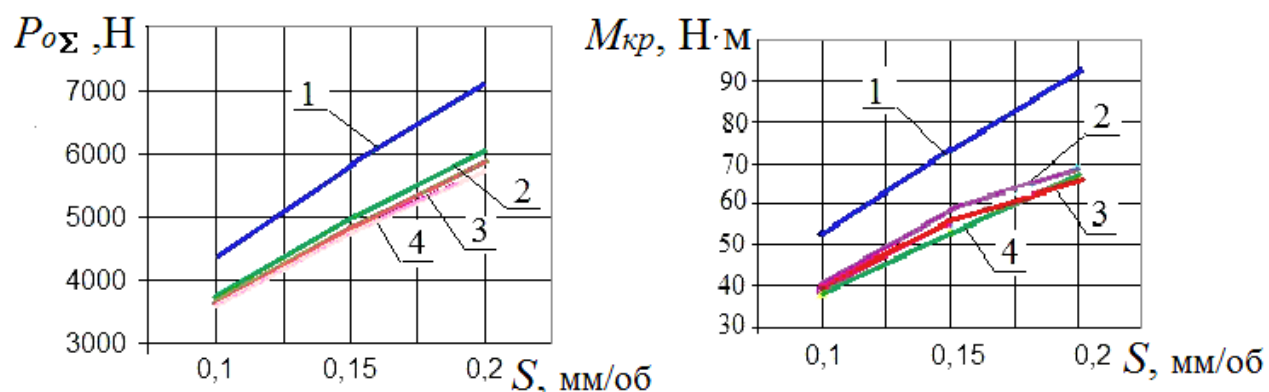


Рисунок 1.3 – Графіки залежності силових параметрів обробки отворів від подачі інструменту: 1 – стандартне свердло $d_{св}=30$ мм; 2, 3, 4 – триступінчасте свердло діаметрами, відповідно, 15/20/30, 10/20/30, 5/20/30 мм [21]

У роботах М.С. Іванової, І. Якіма досліджено вплив деформації інструментів під дією невірноваженої сили різання. Зокрема, роботі М.С. Іванової [21] використано метод кінцевих елементів із трьохмірним моделюванням для дослідження деформації комбінованого інструменту (рис. 1.4).

У роботі І. Якіма досліджено деформацію свердла на основі складених диференціальних рівнянь, розрахункова схема та графіки деформації свердла

представлено на рис. 1.5 та 1.6.

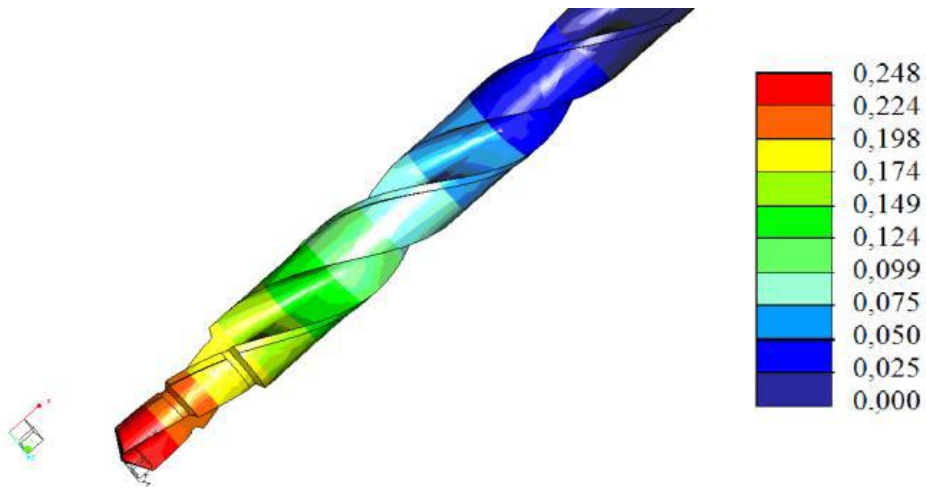


Рисунок 1.4 – Результати моделювання для дослідження деформації комбінованого інструменту [21]

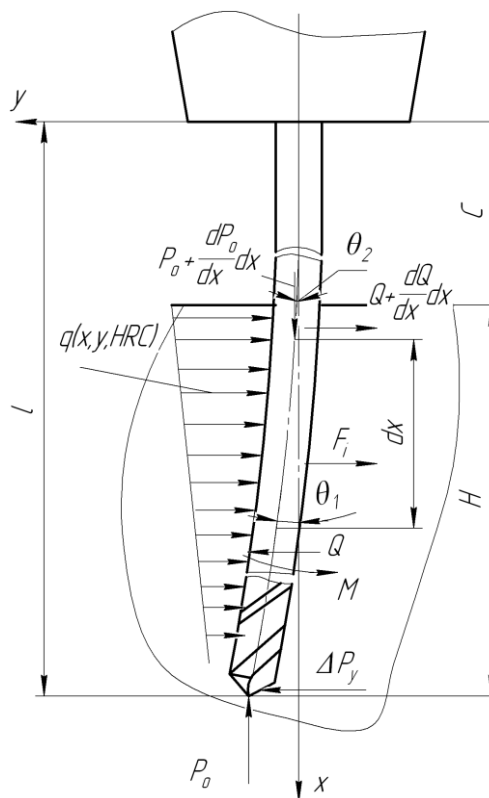


Рисунок 1.5 – Розрахункова схема для визначення коливань свердла в процесі свердління отвору [22]

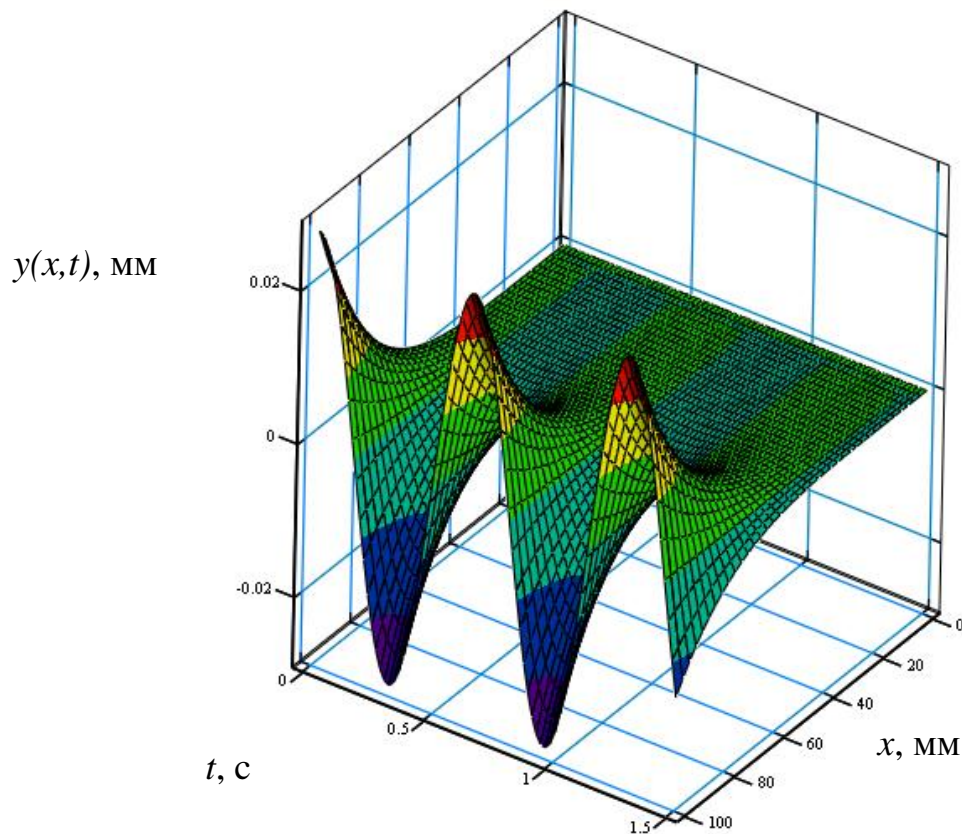


Рисунок 1.6 - Графік зміни деформації середньої лінії свердла та величини розбиття отвору в часі при свердлінні [22]

1.2. Службове призначення деталі

Деталь “Фланець” КС6-09.208 входить в редуктор КС6-09.200 корене-збиральної машини КС6. Використовується для взаємного розташування деталей у вузлі.

Основними поверхнями деталі є: внутрішня поверхня $\varnothing 80H7$, Ra 1,25 є посадочною поверхнею під підшипники кочення; зовнішня поверхня $\varnothing 110h7$, Ra1,25 – посадочна поверхня під корпус; зовнішня поверхня $\varnothing 110h8$, Ra2,5 – забезпечує якісну зборку вузла, в який входить дана деталь; шпонковий паз 8P9 $_{-0,065}^{-0,015}$; Rz20 для фіксації втулки; торцеві поверхні $133 \pm IT14/2$; Rz80 – забезпечення якісного складання механізму у вузлі; три отвори $\varnothing 25H8$; Ra2,5 призначені під кріпильні деталі.

Результати аналізу зводимо в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Аналіз технічних вимог

Позначення поверхні (поверхонь)	Зміст технічної вимоги	Метод виконання
1	2	3
1, 18	Торцева поверхня $133\pm 0,3$; Rz80	Точіння торця однократне
2	Фаска внутрішня $1\times 45^\circ$; Rz80	Розточування однократне
3,19	Внутрішня поверхня $\varnothing 80H7^{(+0,03)}$; Ra1,25	Шліфування чистове
4, 20	Канавка внутрішня $2,2^{+0,25}$; Rz20 $\varnothing 83,5^{+0,46}$; Rz40	Розточування однократне
5	Фаска зовнішня $1\times 45^\circ$; Rz80	Точіння однократне
6	Зовнішня поверхня $\varnothing 100h8(-0,054)$; Ra2,5	Шліфування напівчистове
7	Канавка зовнішня $3,4^{+0,3}$; Rz20 $\varnothing 96,5_{-0,46}$; Rz40	Точіння однократне
8	Канавка зовнішня $2^{+0,25}$; Rz20 $\varnothing 99_{-0,87}$; Rz40	Точіння однократне
9	Торець $72,3\pm 0,3$; Rz80	Точіння однократне
10	Фаска зовнішня $1,6\times 45^\circ$; Rz80	Точіння однократне
11	Зовнішня поверхня $\varnothing 110h8$, Ra2,5	Шліфування напівчистове
12	Зовнішня поверхня $\varnothing 110h7$, Ra1,25	Шліфування чистове
13	Торець $38\pm 0,3$; Rz80	Точіння однократне

Закінчення таблиці 1.1

1	2	3
14	Зовнішня поверхня Ø118; Rz200	Не обробляється
15	Торець 18; Rz200	Не обробляється
16	Зовнішня поверхня Ø200; Rz200	Не обробляється
17	Торець 3; Rz200	Не обробляється
21	Внутрішня поверхня Ø81H14(^{+0,870}); l=60±0,3; Rz80	Розточування однократне
22...24	Внутрішня поверхня Ø25H8(^{+0,033}); l=18; 124,704; Ra2,5	Розвертання чистове
25...27	Фаска внутрішня 1×45°; Rz80	Зенкування
28,29	Шпонковий паз 8P9(^{-0,015} _{-0,065}); Rz20; 4H12(^{+0,12}); Rz40; 56H15(^{+0,16})	Фрезерування шпонковою фрезою

Деталь “Фланець” КС6-09.208 виготовляється з вуглецевої сталі 35Л.

1.3. Висновки та постановка задач

В результаті аналізу літературних джерел встановлено, встановлено, що застосування комбінованих інструментів для обробки отворів сприяють підвищенню продуктивності процесу, а також забезпечують вищу точність для різних діаметрів ступінчастого отвору.

Поряд із позитивними сторонами комбінованих інструментів є і негативні, зокрема погіршення процесу відведення стружки, що є причиною зниження точності обробленого отвору.

Комбіновані інструменти також використовуються для обробки конкретних отворів, тому такі інструменти доцільно застосовувати при обробці

значної кількості отворів одного типорозміру. При розробці комбінованих інструментів для обробки отворів потрібно розробляти обґрунтовані технологічні процеси.

Особливістю комбінованих інструментів є те, що в них є змінними геометричні параметри вздовж ріжучих кромки, що ускладнює прогнозування їх роботи. Тому доцільним є подальші дослідження процесів обробки отворів комбінованими інструментами.

У дипломній роботі потрібно вирішити такі завдання:

1. Провести дослідження динаміки оброблення ступінчастого отвору комбінованим інструментом свердло-зенкер.

2. Вивести систему диференціальних рівнянь для схеми оброблення ступінчастого отвору комбінованим інструментом свердло-зенкер.

3. Побудувати графіки зміни кутів деформації елементів системи комбінований інструмент (свердло-зенкер)-патрон-шпиндель-ротар двигуна при обробленні ступінчастого отвору.

4. Провести і представити результати експериментальних досліджень розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки.

5. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення фланця КС6-09.208.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження динаміки оброблення ступінчастого отвору комбінованим інструментом свердло-зенкер

Під час оброблення ступінчастих отворів комбінованим інструментом свердло-зенкер виникають складні процеси різання двома складовими інструмента одночасно, при цьому виникають пружні та температурні деформації як свердла так і зенкера.

Особливо складним є процес врізання зенкера при обробленні верхньої ступені ступінчастого отвору в процесі свердління меншого отвору. Цей процес призводить до виникнення ударних навантажень у динамічній системі, виникають додаткові деформації свердла як в поперечному напрямку так і деформації кручення, що призводить до зниження якості оброблених отворів, зокрема зростання шорсткості оброблених поверхонь та розбиття отворів.

При перевищенні вище вказаних деформацій гранично допустимих величин відбувається руйнування або пластична деформація самого інструмента. Основними причинами цього є неправильно підібрані режими різання, а відповідно і силові параметри процесу, а також недостатня жорсткість складових динамічної системи та недостатнє депфування вібрацій, що виникають під час різання. При чому динамічні деформації значно перевищують статичні деформації інструменту.

Тому виникає необхідність проведення дослідження динамічних навантажень на елементи системи комбінований інструмент (свердло-зенкер)-патрон-шпиндель-ротор двигуна для оброблення ступінчастого отвору та величини переміщення її складових. Ці деформації і динамічні навантаження можна знайти за допомогою вирішення диференціальних рівнянь руху.

Розрахункову схему системи комбінований інструмент (свердло-зенкер)-патрон-шпиндель-ротор двигуна для оброблення ступінчастого отвору представлено на рис. 2.1.

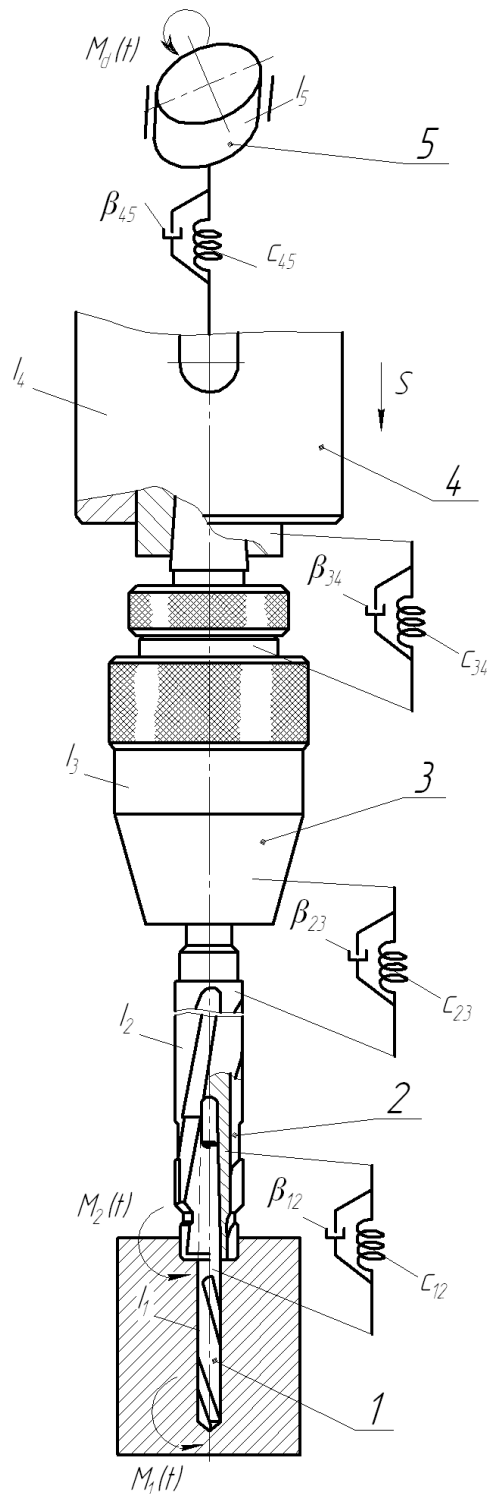


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема для динаміки системи комбінований інструмент (свердло-зенкер)-патрон-шпиндель-ротор двигуна для оброблення ступінчастого отвору: 1 – свердло, 2 – зенкер, 3 – патрон, 4 – шпиндель, 5 – ротор двигуна

На розрахунковій моделі ці елементи представлені як зосереджені інерційні маси, з'єднані пружними невагомими зв'язками з постійними коефіцієнтами

жорсткості.

У розрахунковій схемі рис. 2.1 зображено зосереджені маси: I_1 – момент інерції свердла; I_2 – момент інерції зенкера; I_3 – момент інерції патрона для затиску інструмента; I_4 – приведений момент інерції коробки швидкостей та ротора двигуна. Також на рисунку 2.1 позначено C_{12} – приведена жорсткість з'єднання між свердлом та зенкером, C_{23} – приведено жорсткість з'єднання між зенкером та затискним патроном, C_{34} – приведено жорсткість з'єднання між затискним патроном та шпинделем, C_{45} – приведена жорсткість ротора двигуна та коробки швидкостей, β_{12} – коефіцієнт демпфування між свердлом та зенкером, β_{23} – коефіцієнт демпфування між зенкером та затискним патроном, β_{34} – коефіцієнт демпфування між затискним патроном та шпинделем; β_{45} – коефіцієнт демпфування ротора двигуна та коробки швидкостей.

Для теоретичного вивчення динаміки обробки ступінчастого отвору комбінованим інструментом прийнято комбінований інструмент свердло-зенкер, при чому зенкер виконано із чотирма зубами з твердосплавними пластинами. Для такого різання виділено основні етапи:

- усталений процес свердління отвору, з коливаннями моменту різання через неоднорідність оброблюваного матеріалу та автоколивання;
- виникнення удару між зенкером та заготовкою при переміщенні свердла в робочому режимі;
- врізання першого зуба зенкера;
- врізання другого зуба зенкера та різання першим зубом з коливаннями моменту різання;
- врізання третього зуба зенкера та різання першим і другим зубом з коливаннями моменту різання;
- врізання четвертого зуба зенкера та різання першим, другим та третім зубом з коливаннями моменту різання;
- одночасне різання свердлом та чотирма зубами зенкера.

Для опису зміни моменту різання $M_u(t)$ при виникненні удару між зенкером та заготовкою використовуємо таку алгебологічну функцію:

$$M_u(t) = \frac{\left[\left[\frac{l}{2} - \left| \frac{l}{2} - (t-r) \right| \right] k + M_{u1} \right] - \left[\left[\frac{l}{2} - \left| \frac{l}{2} - (t-r) \right| \right] k - M_{u1} \right]}{4} + \frac{\left[\left[\frac{l}{2} - \left| \frac{l}{2} - (t-r) \right| \right] k + M_{u1} \right] - \left[\left[\frac{l}{2} - \left| \frac{l}{2} - (t-r) \right| \right] k - M_{u1} \right]}{4}, \quad (2.1)$$

де l – час контактної взаємодії між зенкером та заготовкою під час удару;

k - коефіцієнт, що визначає швидкість виникнення удару;

r - проміжок часу від нульової точки відліку, коли проходить зіткнення між зенкером та заготовкою;

M_{u1} - максимальний момент удару.

На 3 – 6 етапах різання відбувається поступове і почергове врізання зубів зенкера в заготовку при цьому змінюється глибини різання, тому для кожного зуба момент різання $M_i(t)$ представимо зростаючими лінійними залежностями, використовуючи алгебологічну функцію:

$$M_i(t) = \frac{\left[\left[\frac{l_i}{2} - \left| \frac{l_i}{2} - (t-r_i) \right| \right] k_i + M_{ui} \right] - \left[\left[\frac{l_i}{2} - \left| \frac{l_i}{2} - (t-r_i) \right| \right] k_i - M_{ui} \right]}{4} + \frac{\left[\left[\frac{l_i}{2} - \left| \frac{l_i}{2} - (t-r_i) \right| \right] k_i + M_{ui} \right] - \left[\left[\frac{l_i}{2} - \left| \frac{l_i}{2} - (t-r_i) \right| \right] k_i - M_{ui} \right]}{4} + M_{ki} \sin \left(\frac{t\pi}{t_p} \right), \quad (2.2)$$

де l_i – час контактної взаємодії між i -тим зубом зенкера та заготовкою;

k_i - коефіцієнт, що визначає час врізання i -того зуба зенкера;

r_i - проміжок часу від нульової точки відліку, коли проходить врізання i -того зуба зенкера;

M_{ui} - максимальний момент різання i -того зуба зенкера;

M_{ki} - величина коливання моменту різання i -того зуба зенкера;

t_p - півперіод коливання моменту різання i -того зуба зенкера.

Час між проміжками різання сусідніх зубів зенкера:

$$t_1 = \frac{2\pi}{z \cdot \omega}, \quad (2.3)$$

де ω – кутова швидкість обертання комбінованого інструмента;

z – кількість зубів на зенкеру.

Тому проміжок часу від нульової точки відліку, коли проходить різання i -того зуба зенкера

$$r_i = it_1. \quad (2.4)$$

Сумарний момент різання:

$$M(t) = M_s(t) + M_u(t) + \sum_{i=1}^z M_i(t), \quad (2.5)$$

де $M_s(t)$ - момент різання свердлом.

Зміну сумарного моменту різання $M(t)$ у часі, моменту різання $M_u(t)$ при виникненні удару, моменту різання $M_i(t)$ для кожного зуба представлено графічно на рис. 2.2.

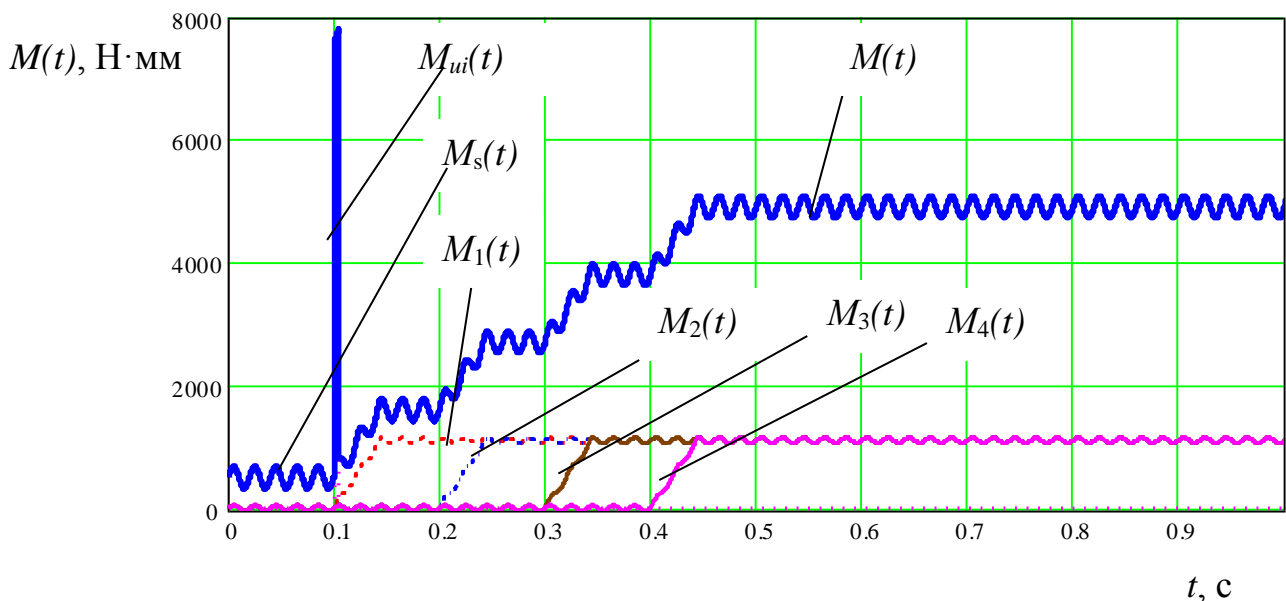


Рисунок 2.2 – Графік зміни сумарного моменту різання $M(t)$ у часі, моменту різання $M_u(t)$ при виникненні удару, моменту різання $M_i(t)$ для кожного зуба, моменту різання свердлом $M_s(t)$

Кути повороту $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5$ інерційних мас системи прийнято як узагальнені координати.

Визначаємо кінетичну енергію системи:

$$T = \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{I_3 \cdot \dot{\varphi}_3^2}{2} + \frac{I_4 \cdot \dot{\varphi}_4^2}{2} + \frac{I_5 \cdot \dot{\varphi}_5^2}{2}. \quad (2.6)$$

Визначаємо потенціальну енергію системи:

$$\Pi = \frac{C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)^2}{2} + \frac{C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2)^2}{2} + \frac{C_{34} \cdot (\varphi_4 - \varphi_3)^2}{2} + \frac{C_{45} \cdot (\varphi_5 - \varphi_4)^2}{2}. \quad (2.7)$$

Визначаємо функцію розсіювання:

$$\Phi = \frac{\beta_{12} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{23} \cdot (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2)^2}{2} + \frac{\beta_{34} \cdot (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_3)^2}{2} + \frac{\beta_{45} \cdot (\dot{\varphi}_5 - \dot{\varphi}_4)^2}{2}. \quad (2.8)$$

На основі рівняння Лагранжа другого роду, виведено диференціальні рівняння руху системи із вимушеними коливаннями:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_i} = M(t). \quad (2.9)$$

Перетворюючи рівняння Лагранжа другого роду (2.9), виведено систему диференціальних рівнянь для схеми на рисунку 2.1:

$$\left. \begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) &= M_s(t) + M_u(t) + \sum_{i=1}^z M_i(t); \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + C_{23} \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) + \beta_{12} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) + \beta_{23} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) &= 0; \\ I_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 + C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2) + C_{34} \cdot (\varphi_3 - \varphi_4) + \beta_{23} (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2) + \beta_{34} (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_4) &= 0; \\ I_4 \cdot \ddot{\varphi}_4 + C_{34} \cdot (\varphi_4 - \varphi_3) + C_{45} \cdot (\varphi_4 - \varphi_5) + \beta_{34} (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_3) + \beta_{45} (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_5) &= 0; \\ I_5 \cdot \ddot{\varphi}_5 + C_{45} \cdot (\varphi_5 - \varphi_4) + \beta_{45} (\dot{\varphi}_5 - \dot{\varphi}_4) &= -M_d(t), \end{aligned} \right\} (2.10)$$

де $M_d(t)$ – крутний момент на роторі двигуна, Н·мм.

Початкові координати і швидкості прийнято рівними нулю в момент різання тільки свердлом, наступна деформація елементів системи відбувається за рахунок дії моментів різання. Отже, для $t = 0$ прийнято початкові умови:

$$\begin{aligned} \varphi_1(0) = 0, \varphi_2(0) = 0, \varphi_3(0) = 0, \varphi_4(0) = 0, \varphi_5(0) = 0, \\ \dot{\varphi}_1(0) = 0, \dot{\varphi}_2(0) = 0, \dot{\varphi}_3(0) = 0, \dot{\varphi}_4(0) = 0, \dot{\varphi}_5(0) = 0. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Розв'язок системи нелінійних диференціальних рівнянь (2.10) з початковими умовами (2.11) доцільно провести чисельним методом Рунге-Кутта із застосуванням пакету прикладних програм.

Оскільки на якість обробки ступінчастого отвору має вплив відносна деформація свердла, зенкера, патрона і шпинделя, тому знаходимо відносні координати ψ_i :

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \varphi_1 - \varphi_2; \\ \psi_2 &= \varphi_2 - \varphi_3; \\ \psi_3 &= \varphi_3 - \varphi_4; \\ \psi_4 &= \varphi_4 - \varphi_5. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Тому систему рівнянь (2.10) з врахуванням (2.12) та без врахування функції розсіювання запишемо таким чином:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\psi}_1 &= \frac{-\left(M_s(t) + M_u(t) + \sum_{i=1}^z M_i(t)\right) - C_{12} \cdot \psi_1}{I_1} - \frac{C_{12} \cdot \psi_1 - C_{23} \cdot \psi_2}{I_2}; \\ \ddot{\psi}_2 &= \frac{C_{12} \cdot \psi_1 - C_{23} \cdot \psi_2}{I_2} - \frac{C_{23} \cdot \psi_2 - C_{34} \cdot \psi_3}{I_3}; \\ \ddot{\psi}_3 &= \frac{C_{23} \cdot \psi_2 - C_{34} \cdot \psi_3}{I_3} - \frac{C_{34} \cdot \psi_3 - C_{45} \cdot \psi_4}{I_4}; \\ \ddot{\psi}_4 &= \frac{C_{34} \cdot \psi_3 - C_{45} \cdot \psi_4}{I_4} - \frac{C_{45} \cdot \psi_4 + M_d(t)}{I_5}. \end{aligned} \right\} (2.13)$$

Початкові відносні координати і швидкості деформацій прийнято рівними нулю. Отже, для $t = 0$ маємо:

$$\begin{aligned}\psi_1(0) = 0; \psi_2(0) = 0; \psi_3(0) = 0; \psi_4(0) = 0; \\ \dot{\psi}_1(0) = 0; \dot{\psi}_2(0) = 0; \dot{\psi}_3(0) = 0; \dot{\psi}_4(0) = 0.\end{aligned}\quad (2.14)$$

Розв'язок системи нелінійних диференціальних рівнянь (2.13) з початковими умовами (2.14) доцільно провести чисельним методом Рунге-Кутта із застосуванням пакету прикладних програм.

В результаті комп'ютерного моделювання із застосуванням пакету прикладних програм побудовано розв'язки систем диференціальних рівнянь (2.10), (2.13) у вигляді графіків. Зокрема, на рисунку 2.3 зображено графік зміни кута деформації свердла відносно зенкера в часі, на рисунку 2.4 зображено графік зміни кута деформації зенкера відносно патрона в часі, на рисунку 2.5 зображено графік зміни кута деформації свердла відносно патрона в часі, на рисунку 2.6 зображено графік зміни швидкості деформації свердла відносно зенкера в часі, на рисунку 2.7 показано графік зміни динамічного моменту на свердлі в часі.



Рисунок 2.3 - Графік зміни кута деформації свердла відносно зенкера в часі

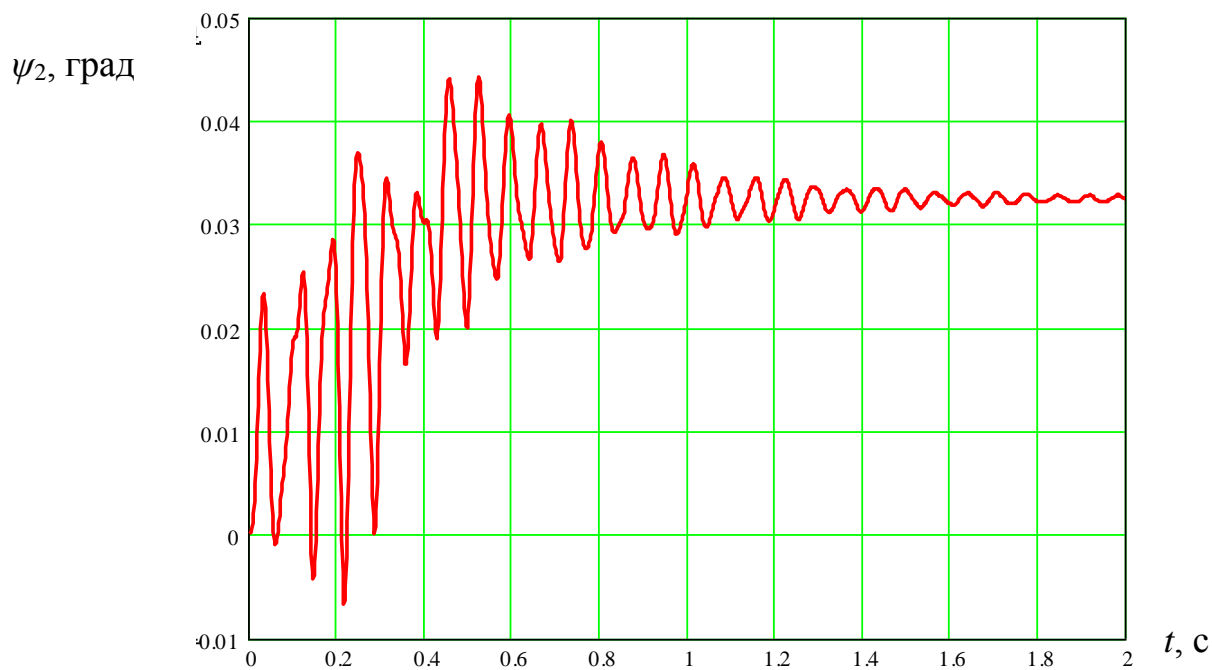


Рисунок 2.4 - Графік зміни кута деформації зенкера відносно патрона в часі

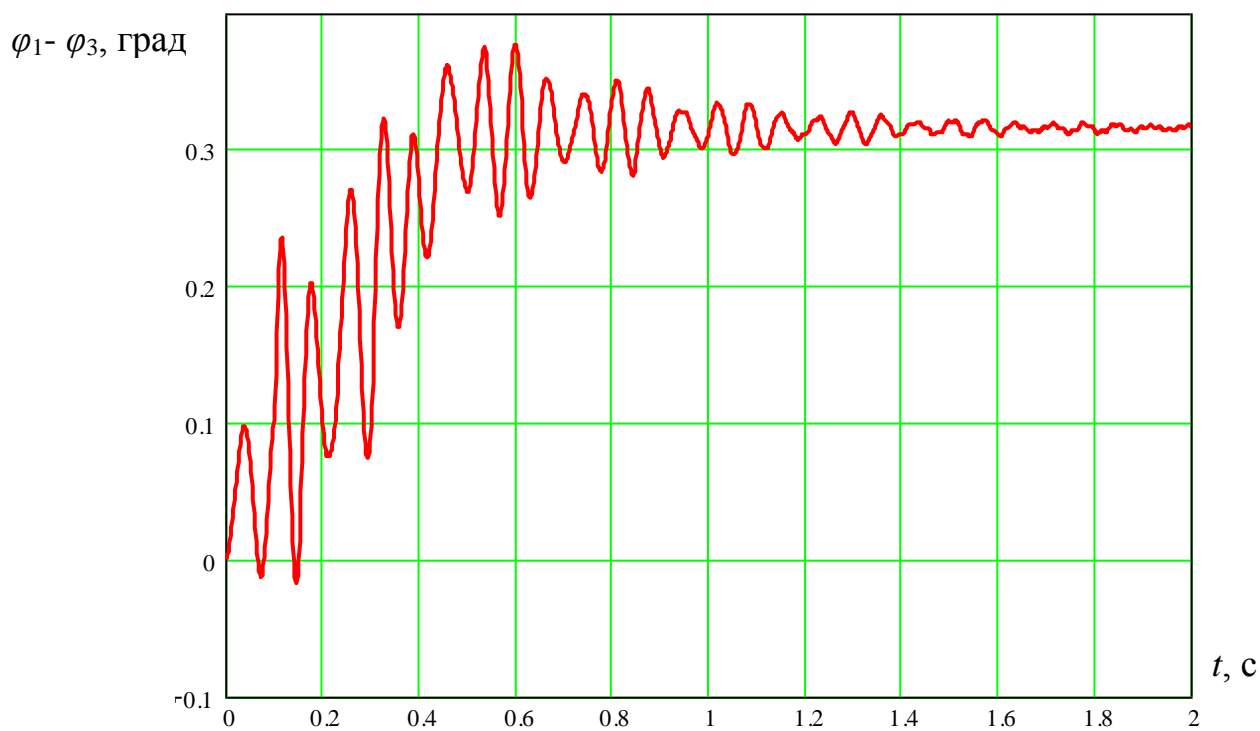


Рисунок 2.5 - Графік зміни кута деформації свердла відносно патрона в часі

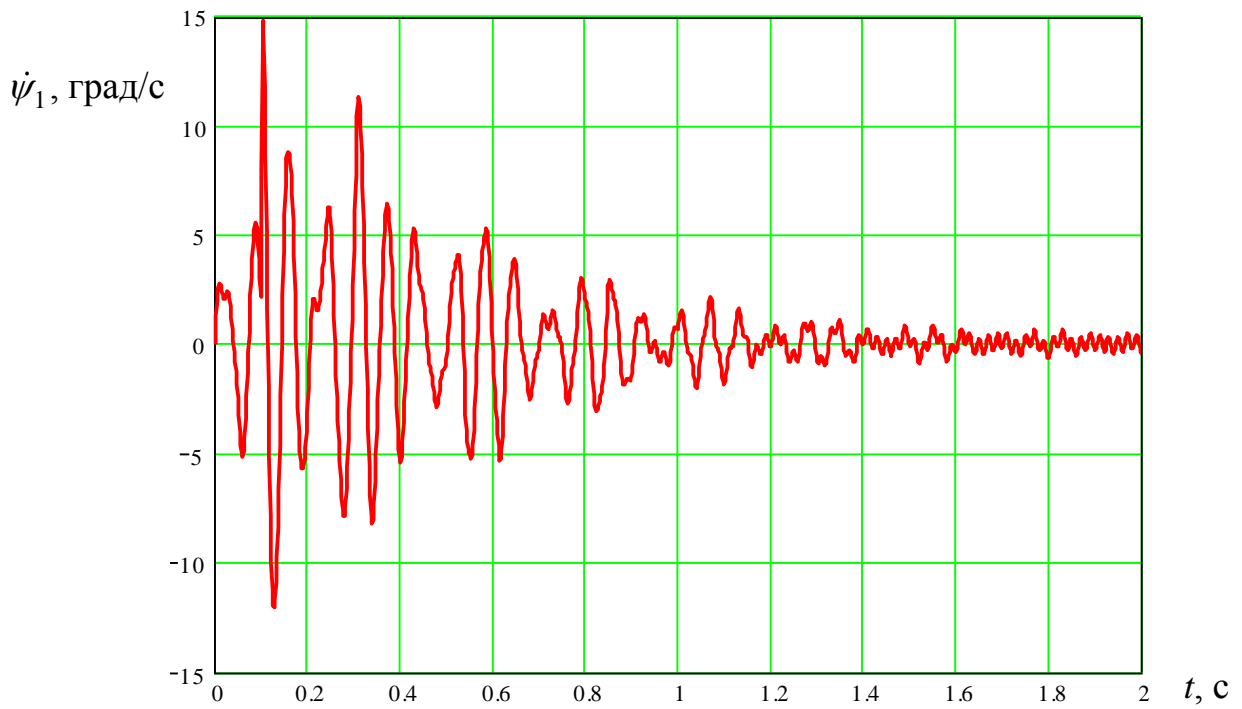


Рисунок 2.6 - Графік зміни швидкості деформації свердла відносно зенкера в часі

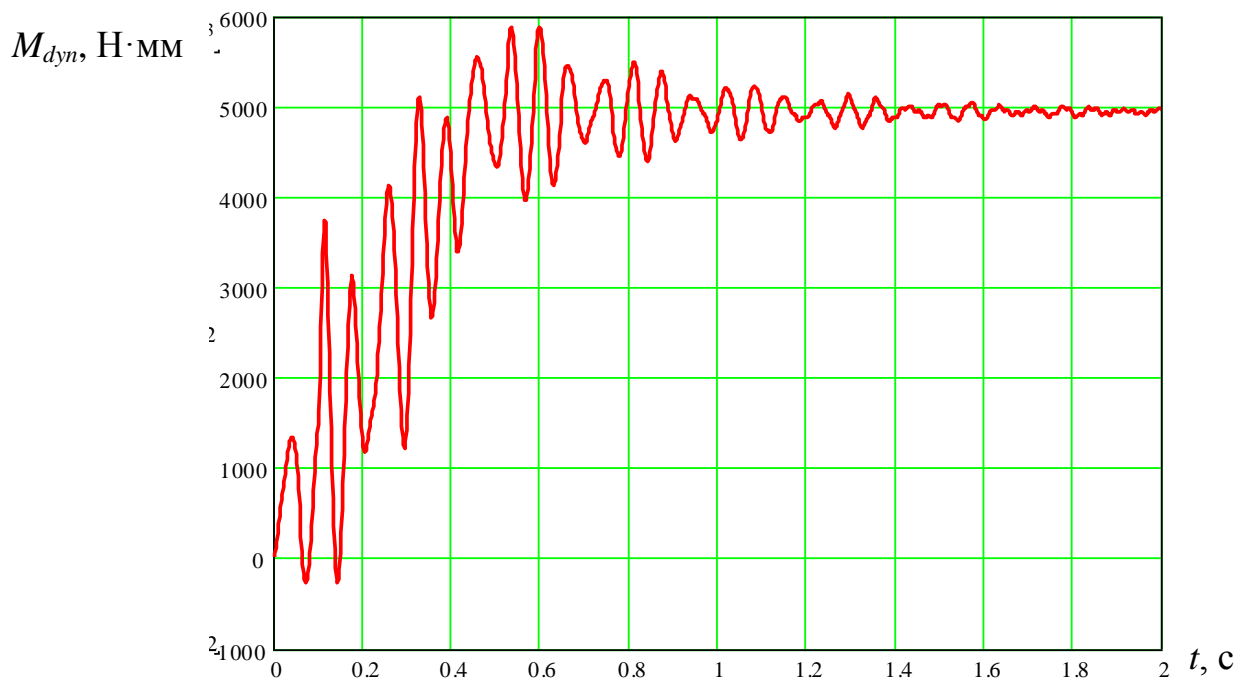


Рисунок 2.7 - графік зміни динамічного моменту на свердлі в часі

Моменти інерції, жорсткості та коефіцієнти демпфування складових систем диференціальних рівнянь (2.10) і (2.13) визначались на основі

комп'ютерного моделювання та експериментально. Із представлених графіків на рис. 2.3 – 2.7 видно, що в момент удару зенкера відбувається різке зростання кута деформації свердла відносно зенкера в часі до 0,21 град, проте подальше врізання зубів зенкера призводить до загальної деформації комбінованого інструмента до 0,34 град. з подальшою стабілізацією на 0,27 град. Найбільший динамічний момент різання на комбінованому інструменті досягає 5950 Н·мм. Деформація зенкера відносно патрона досягає величини 0,045 град. В загальному деформації комбінованого інструмента свердло-зенкер знаходяться в допустимих межах, тому руйнування такого інструменту відбуватись не буде. Також представлені диференціальні рівняння дозволяють прогнозувати вплив режимів різання, силових факторів на міцність комбінованого інструменту.

2.2. Експериментальні дослідження розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер

Програма експериментальних досліджень розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер включала такі етапи:

1. Підібрати обладнання та комбіновані інструменти, що включали свердло із швидкоріжучої сталі та зенкер із твердосплавними пластинами для обробки ступінчастого отвору.

2. Провести експериментальні дослідження розбиття ступінчастого отвору при обробленні заготовок із сталі 45 комбінованими інструментами від зміни трьох основних факторів: подачі інструмента, діаметра свердла та глибини різання зенкером.

Величина розбиття отвору вимірювалась за допомогою мікроскопа. Також проводилась візуальна перевірка поверхонь обробленого отвору та комбінованих інструментів на наявність будь-яких ознак їх зношування та руйнування.

Для визначення впливу режимів різання та конструктивного параметра

свердла (незалежних факторів x_i) на розбиття ступінчастого отвору при обробленні заготовок із сталі 45 (параметр оптимізації δ) проведено повнофакторні експерименти, тобто визначення розбиття ступінчастого отвору від зміни трьох основних факторів: подачі інструмента S , діаметра свердла d та глибини різання зенкером t , тобто $\delta=f(S,d,t)$.

Експериментальні дані оброблено з використанням загальновідомих методик регресійного аналізу.

Функцію відгуку, тобто розбиття ступінчастого отвору $\delta=f(S,d,t)$ після експериментів, представлено у вигляді повного квадратичного полінома. Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 2.1.

Вхідними змінними факторами прийнято:

- подача інструмента S , яку кодували індексом x_1 ;
- діаметра свердла d , який кодували індексом x_2 ;
- глибини різання зенкером t , який кодували індексом x_3 .

Таблиця 2.1 - Результати кодування факторів та рівні їх варіювання при дослідженні розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Подача інструмента	S , мм/об	x_1	0,05	0,2 (+1)	0,15 (0)	0,1 (-1)
Діаметра свердла	d , мм	x_2	2	10 (+1)	8 (0)	6 (-1)
Глибини різання зенкером	t , мм	x_3	1	3 (+1)	2 (0)	1 (-1)

Встановлені коефіцієнти рівняння регресії представлено у табл. 2.2.

Загальний вигляд рівняння регресії розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер залежно від зміни подачі інструмента S , діаметра свердла d та глибини різання зенкером t , тобто $\delta_{(x_1,x_2,x_3)} = f(S,d,t)$ за результатами проведених ПФЕ 3^3 у кодованих величинах дорівнює:

- під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки із сталі 45:

$$\delta_{(x_1, x_2, x_3)} = 0,1 + 0,019x_1 + 0,02x_2 + 0,011x_3 + 0,00188x_1x_2 - 0,00188x_1x_3 - 0,0006x_2x_3 - 0,0007x_1^2 + 0,0018x_2^2 - 0,0007x_3^2, \quad (2.15)$$

де x_1 - кодоване значення подачі інструмента; x_2 - кодоване значення діаметра свердла; x_3 - кодоване значення глибини різання зенкером.

Таблиця 2.2 - Значення коефіцієнтів рівнянь регресії

Коеф.	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Сталь 45	0,1	0,019	0,02	0,011	0,00188	-0,00188	-0,0006	-0,0007	0,0018	-0,0007

Усі коефіцієнти рівняння регресії (2.15) є значущими.

У натуральних величинах після перетворення та спрощення виразів рівняння регресії (2.15) представлено в такому вигляді:

- під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки із сталі 45:

$$\delta_{(S, d, t)} = -0,0328 + 0,389S + 0,00058d + 0,0218t + 0,0188Sd - 0,0376St - 0,0003dt - 0,28S^2 + 0,00045d^2 - 0,0007t^2. \quad (2.16)$$

Одержані рівняння регресії (2.15) та (2.16) можуть бути використані для прогнозування розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер залежно від зміни подачі інструмента S , діаметра свердла d та глибини різання зенкером t у таких межах зміни вхідних факторів:

$$0,1 \leq S \leq 0,2 \text{ (мм/об); } 6 \leq d \leq 10 \text{ (мм); } 1 \leq t \leq 3 \text{ (мм).}$$

Графічні значення результатів залежності розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер, одержаного з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, наведено на рис. 2.8 - 2.12.

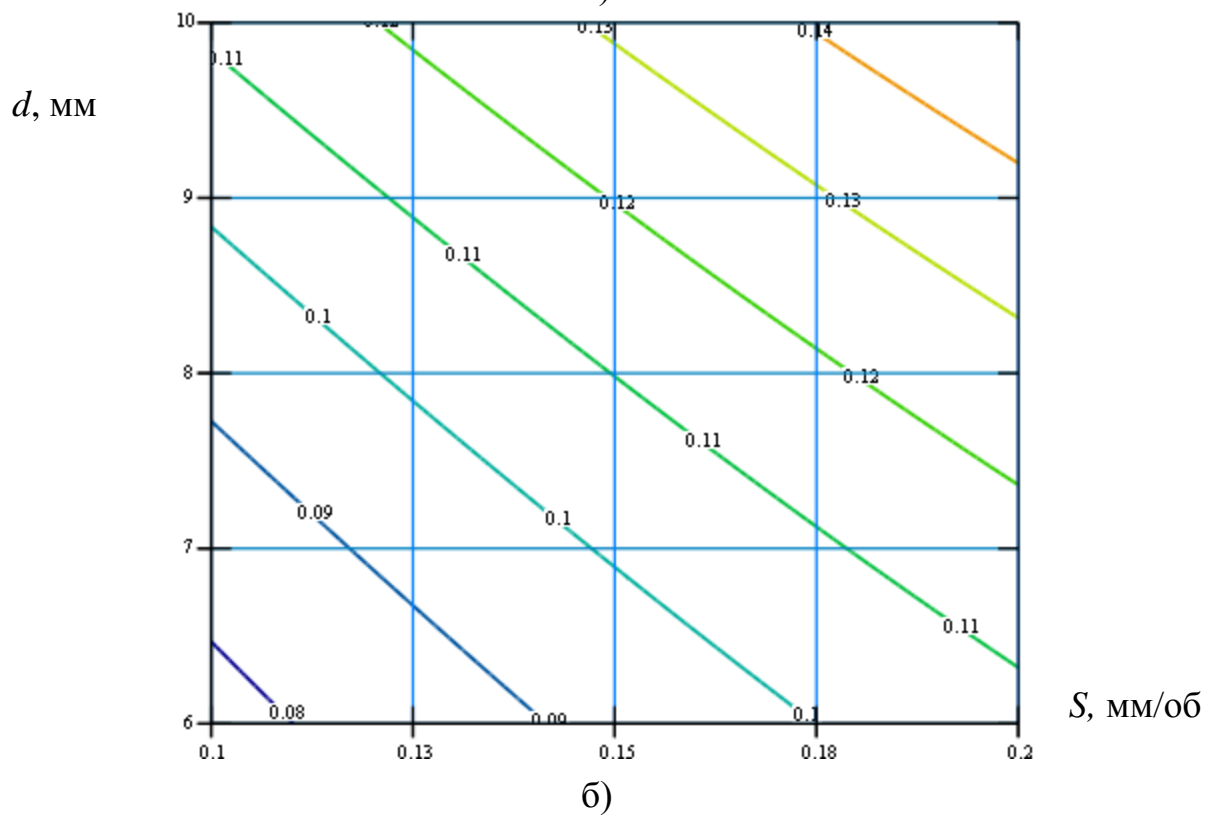
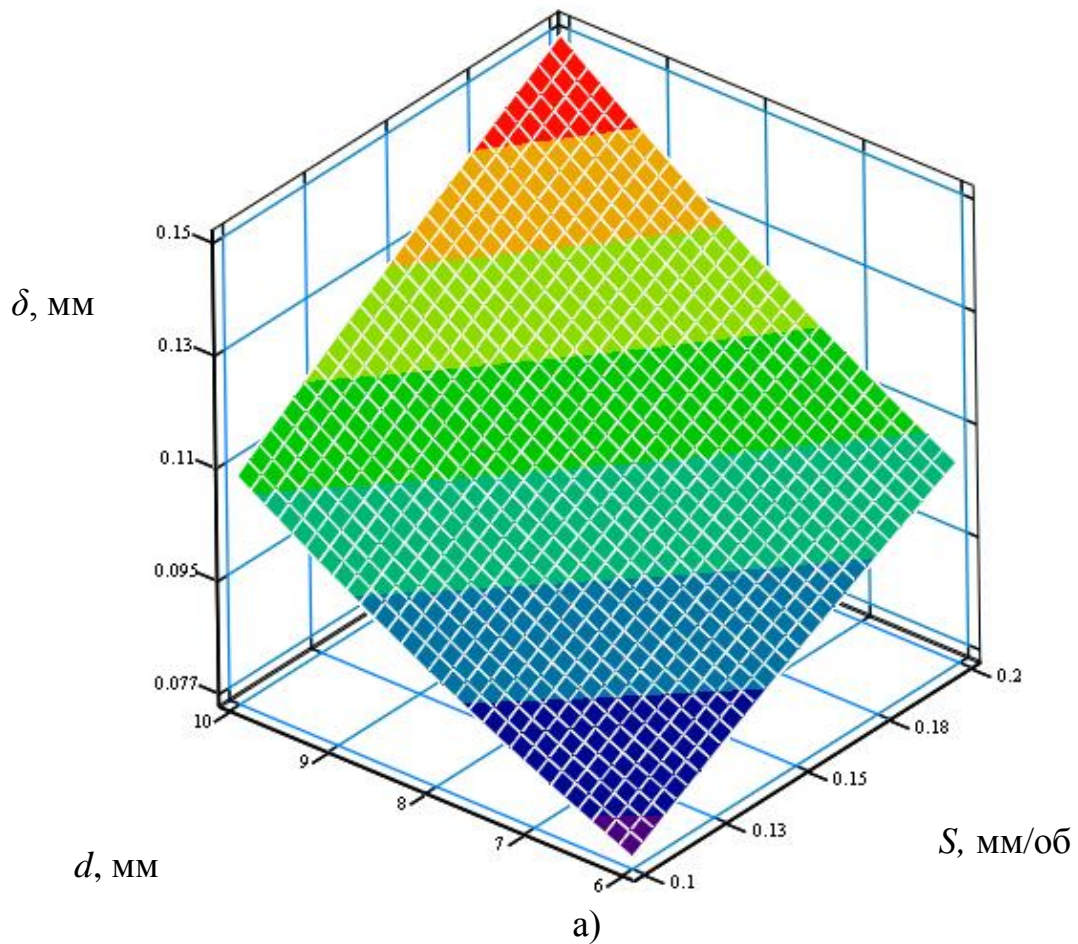
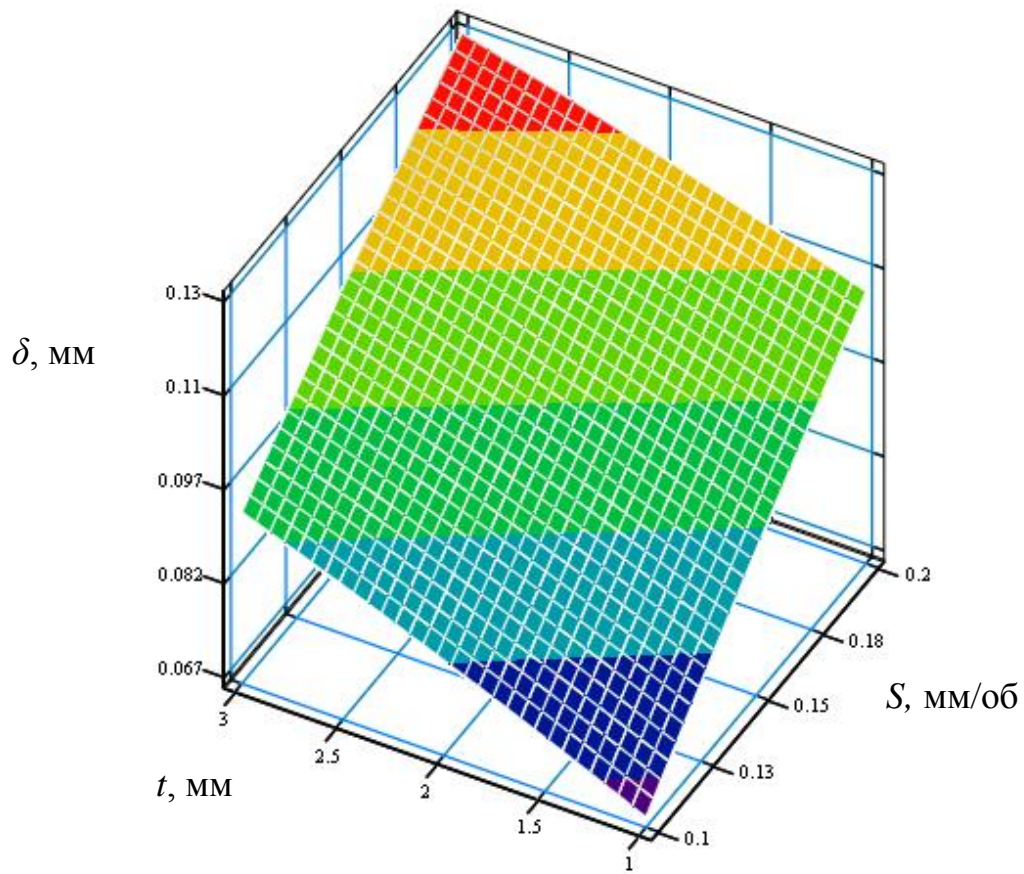
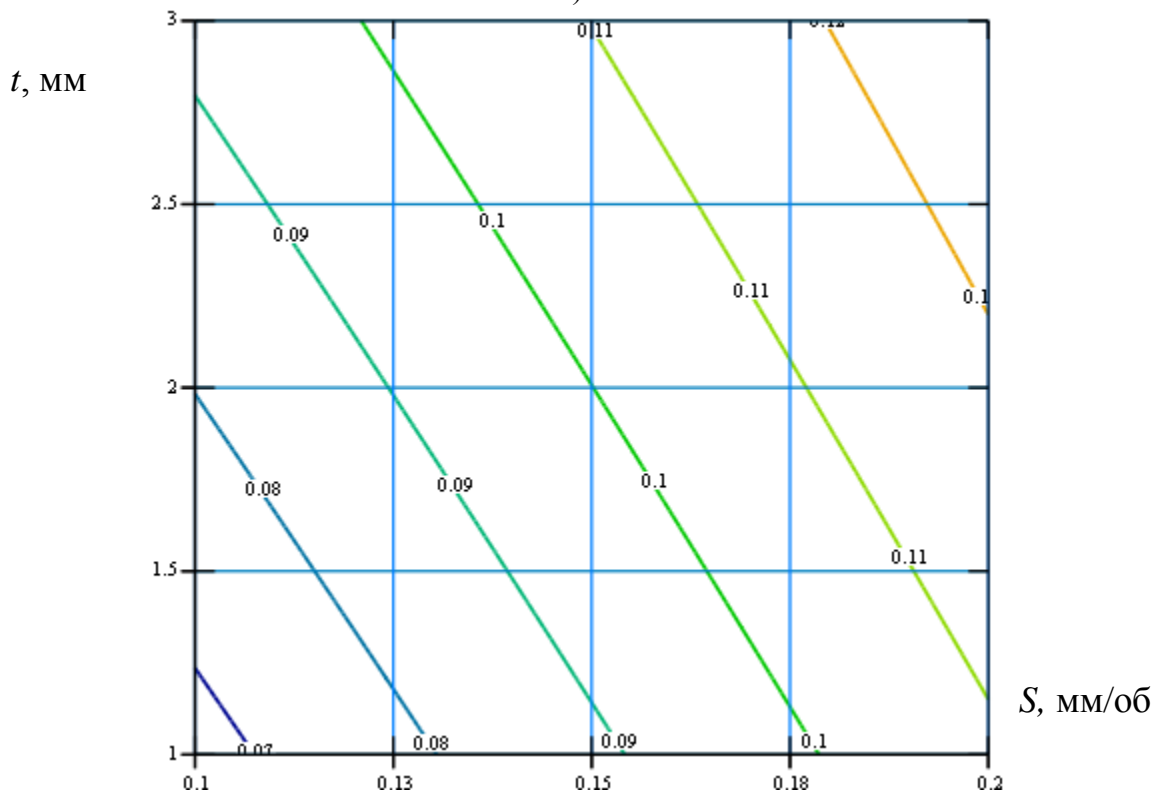


Рисунок 2.8 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки із сталі 45 від подачі інструмента S та діаметра свердла d ($t=2$ мм)

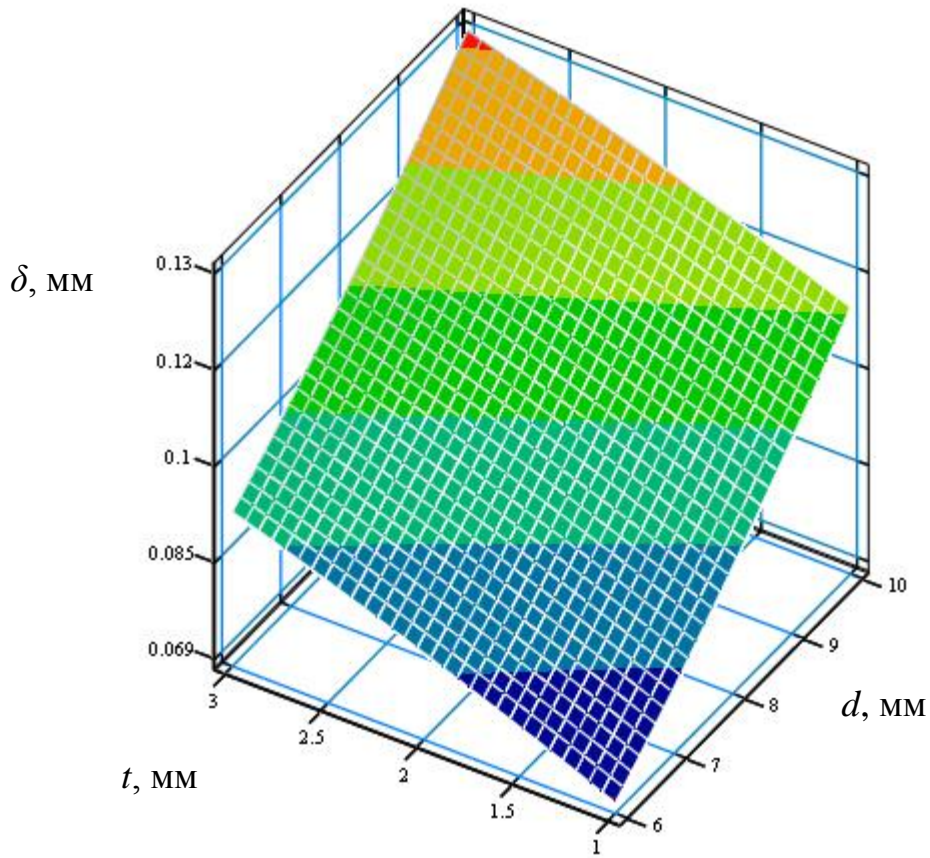


а)

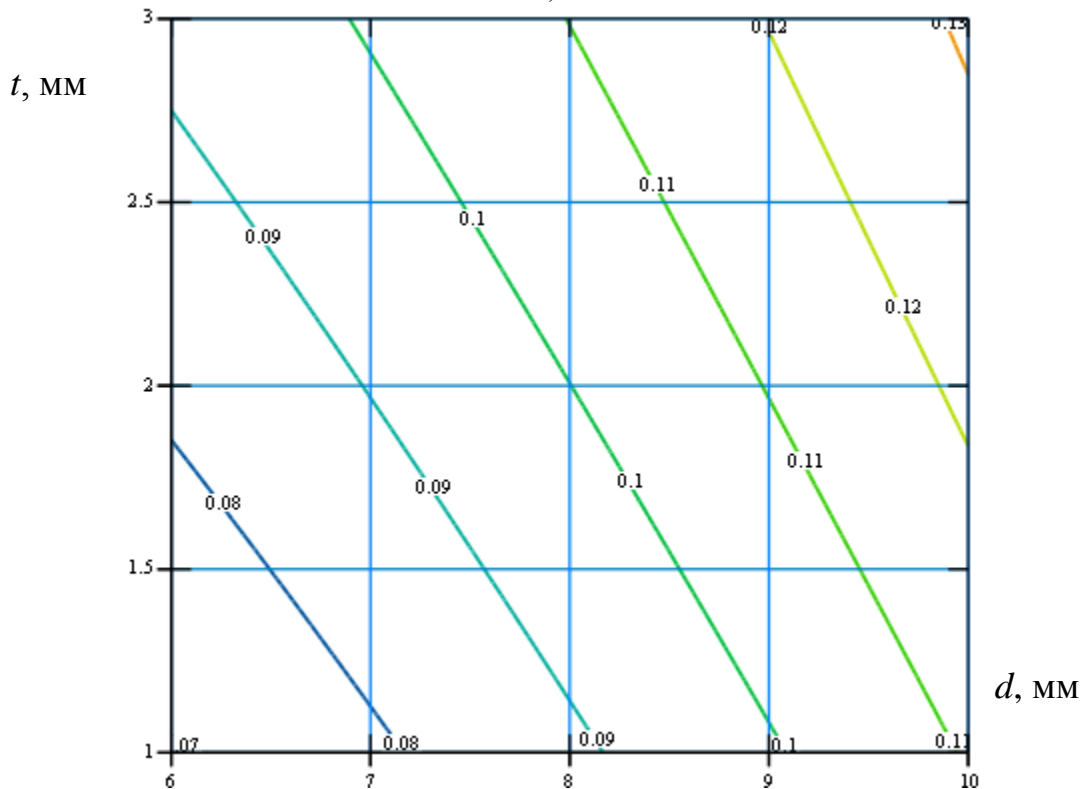


б)

Рисунок 2.9 - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки із сталі 45 від подачі інструмента S та глибини різання зенкером t ($d=8$ мм)



a)



б)

Рисунок 2.10 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки із сталі 45 від діаметра свердла d та глибини різання зенкером t ($S=0,15$ мм/об)

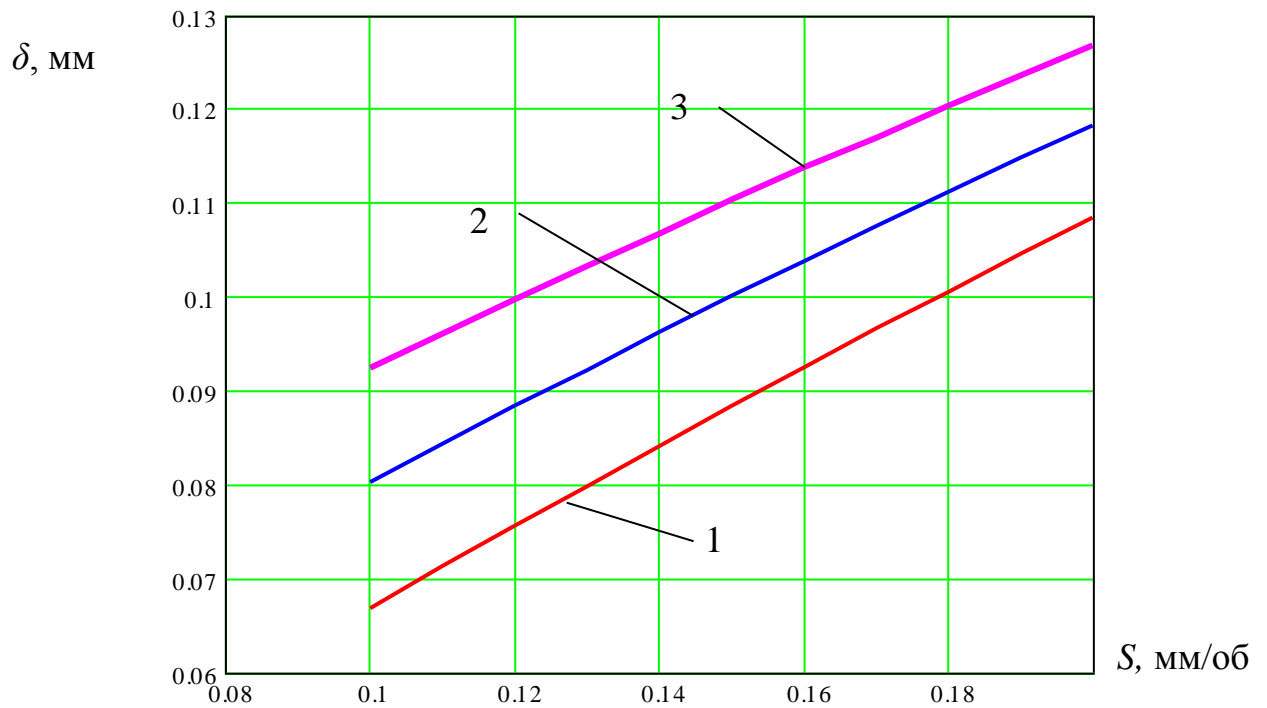


Рисунок 2.11 – Графіки залежності розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки із сталі 45 від подачі інструмента S , $d=8$ мм: 1) $t=1$ мм; 2) $t=2$ мм; 3) $t=3$ мм

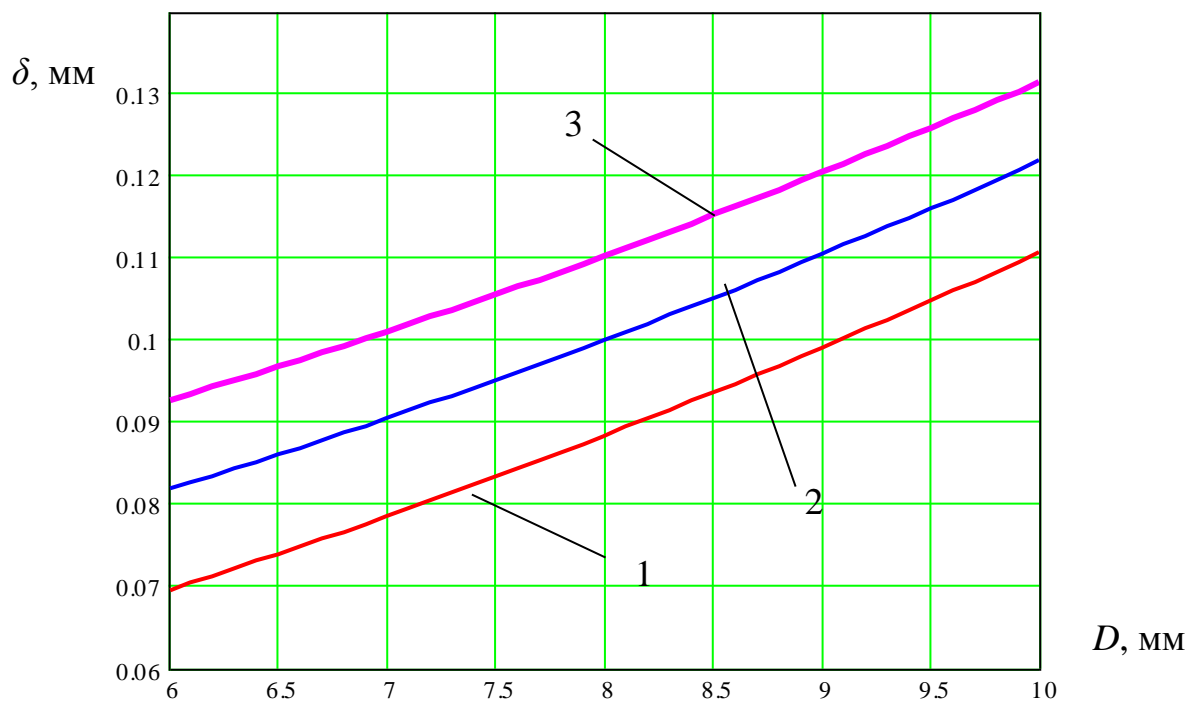


Рисунок 2.12 – Графіки залежності розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки із сталі 45 від діаметра свердла d , $S=0,15$ мм/об: 1) $t=1$ мм; 2) $t=2$ мм; 3) $t=3$ мм

В загальному для зменшення розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер необхідно зменшувати подачу різання.

З рисунків 2.8 - 2.12 видно, що із збільшенням подачі інструмента S , діаметра свердла d та глибини різання зенкером t розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер зростає.

Максимальне розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки із сталі 45 складає 0,15мм, а мінімальне – 0,05 мм. Збільшення подачі інструмента S від 0,1 мм до 0,2 мм/об призводить до зростання розбиття ступінчастого отвору на 44%. При цьому збільшення діаметра свердла d від 6 мм до 10 мм надає розбиття ступінчастого отвору на 28%, а збільшення глибини різання зенкером t від 1 до 33 мм призводить до зростання розбиття ступінчастого отвору на 37%.

2.3. Висновки

У розділі проведено дослідження динаміки оброблення ступінчастого отвору комбінованим інструментом свердло-зенкер. Із представлених графічних залежностей видно, що в момент удару зенкера відбувається різке зростання кута деформації свердла відносно зенкера в часі до 0,21 град, проте подальше вривання зубів зенкера призводить до загальної деформації комбінованого інструмента до 0,34 град. з подальшою стабілізацією на 0,27 град. Найбільший динамічний момент різання на комбінованому інструменті досягає 5950 Н·мм. Деформація зенкера відносно патрона досягає величини 0,045 град. В загальному деформації комбінованого інструмента свердло-зенкер знаходяться в допустимих межах, тому руйнування такого інструменту відбуватись не буде. Також представлені диференціальні рівняння дозволяють прогнозувати вплив режимів різання, силових факторів на міцність комбінованого інструменту.

Представлено результати експериментальних досліджень розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки із сталі 45.

Максимальне розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки із сталі 45 складає 0,15мм, а мінімальне – 0,05 мм. Збільшення подачі інструмента S від 0,1 мм до 0,2 мм/об призводить до зростання розбиття ступінчастого отвору на 44%. При цьому збільшення діаметра свердла d від 6 мм до 10 мм надає розбиття ступінчастого отвору на 28%, а збільшення глибини різання зенкером t від 1 до 33 мм призводить до зростання розбиття ступінчастого отвору на 37%.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Аналіз технологічності конструкції деталі

Для розрахунку та аналізу показників технологічності фланця КС6-09.208 використовуємо дані з таблиці 1.1.

Визначаємо коефіцієнт точності обробки фланця КС6-09.208

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{T_{\text{cp}}}, \quad (3.1)$$
$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{6 \cdot n_6 + 7 \cdot n_7 + \dots + 17 \cdot n_{17}}{n_6 + n_7 + \dots + n_{17}};$$
$$T_{\text{cp}} = \frac{7 \cdot 3 + 8 \cdot 5 + 9 \cdot 2 + 14 \cdot 15 + 15 \cdot 4}{29} = 12;$$
$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{12} = 0,92.$$

Якщо $K_{\text{т.ч.}} = 0,92 > 0,8$, то фланець КС6-09.208 є технологічний.

Визначаємо коефіцієнт шорсткості поверхонь фланця КС6-09.208

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{cp}}}, \quad (3.2)$$
$$B_{\text{cp}} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + \dots + 14 \cdot n_{14}}{n_1 + n_2 + \dots + n_{14}}$$
$$B_{\text{cp}} = \frac{7 \cdot 3 + 6 \cdot 5 + 5 \cdot 6 + 3 \cdot 11 + 1 \cdot 4}{29} = 4,07,$$
$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{4,07} = 0,25.$$

Якщо $K_{\text{ш}} = 0,25 > 0,16$, то фланець КС6-09.208 є технологічний.

Визначаємо коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів фланця КС6-09.208

$$K_{y.e.} = \frac{N_{y.e.}}{N_e} = \frac{25}{29} = 0,86, \quad (3.3)$$

Якщо $K_{y.e.} = 0,86 > 0,6$, то фланець КС6-09.208 є технологічний.

Отже, деталь “Фланець” КС6-09.208 є технологічною і не потребує коректувань креслення, конструкції та точності оброблених поверхонь.

3.2. Вибір способу одержання заготовки

Для виготовлення фланця КС6-09.208 порівнюємо два методи одержання заготовок:

- 1) лиття в кокіль;
- 2) лиття в піщані форми із машинним формуванням на основі металевих моделей.

Загальні табличні припуски фланця КС6-09.208 представлено в таблиці 3.1.

Об'єм та маса заготовок:

$$Q = q + m_{пр}, \quad (3.4)$$

де $q = 7,1$ – маса деталі, кг.

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

Таблиця 3.1 – Загальні припуски і розміри заготовки

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5
1) Лиття в кокіль 7 кл. точності, 2 ряд				
Торцева поверхня 133±0,3	Rz40	1,2	1,6 × 2 = 3,2	136,2±0,6
Зовнішня поверхня Ø118	Rz200	1,2	–	Ø118±0,6
Внутрішня поверхня Ø80H7(+0,03)	Ra1,25	1,1	2,4 × 2 = 4,8	Ø75,2±0,55

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4	5
Зовнішня поверхня Ø200	Rz200	1,4	–	Ø200±0,7
Зовнішня поверхня Ø180	Rz200	1,4	–	Ø180±0,7
Торець 18	Rz200	0,8	–	18±0,4
Торець 3	Rz200	0,5	–	3±0,25
2) лиття в піщані форми із машинним формуванням на основі металевих моделей 10 кл., 3 ряд				
Торцева поверхня 133±0,3	Rz40	3,2	4,2 × 2 = 8,4	141,4±1,6
Зовнішня поверхня Ø118	Rz200	3,2	–	Ø118±1,6
Внутрішня поверхня Ø80H7(+0,03)	Ra1,25	2,8	4,5 × 2 = 9,0	Ø71±1,4
Зовнішня поверхня Ø200	Rz200	3,6	–	Ø200±1,8
Зовнішня поверхня Ø180	Rz200	3,6	–	Ø180±1,8
Торець 18	Rz200	2,0	–	18±1,0
Торець 3	Rz200	1,2	–	3±0,6

Для циліндричної форми об'єм припусків:

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

Визначаємо об'єм припусків для першого методу отримання заготовки:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot (180^2 - 75,2^2) \cdot 1,6}{4} + \frac{\pi \cdot (118^2 - 110^2) \cdot 39,6}{4} + \frac{\pi \cdot (118^2 - 100^2) \cdot 72,3}{4} +$$

$$+ \frac{\pi \cdot (118^2 - 75,2^2) \cdot 1,6}{4} + \frac{\pi \cdot (80^2 - 75,2^2) \cdot 133}{4} = 33591,67 + 56700,86 +$$

$$+ 222708,6 + 10385,8 + 77777,55 = 401164,46 \text{ мм}^3 = 401,16 \text{ см}^3.$$

Визначаємо об'єм припусків для другого методу отримання заготовки.

$$V_2 = \frac{\pi \cdot (180^2 - 71^2) \cdot 4,2}{4} + \frac{\pi \cdot (118^2 - 110^2) \cdot 41,6}{4} + \frac{\pi \cdot (118^2 - 71^2) \cdot 4,2}{4} + \\ + \frac{\pi \cdot (118^2 - 100^2) \cdot 72,3}{4} + \frac{\pi \cdot (80^2 - 71^2) \cdot 133}{4} = 90202,6 + 59564,5 + 29287,25 + \\ + 222708,58 + 141886,4 = 543649,3 \text{ мм}^3 = 543,6 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків.

Для першого типу заготовки:

$$m_{\text{пр1}} = 401,16 \cdot 7,85 = 3149,1 \text{ г} \approx 3,15 \text{ кг}.$$

Для другого типу заготовки:

$$m_{\text{пр2}} = 543,6 \cdot 7,85 = 4267,26 \text{ г} \approx 4,27 \text{ кг}.$$

Визначаємо маси заготовок за формулою:

$$Q = q + m_{\text{пр}}, \quad (3.7)$$

де q – маса деталі, кг.

Отже:

$$Q_1 = 7,1 + 3,15 = 10,25 \text{ кг}.$$

$$Q_2 = 7,1 + 4,27 = 11,37 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

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

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{7,1}{10,25} = 0,7.$$

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{7,1}{11,37} = 0,62.$$

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

3.3. Формування технологічного процесу

Запропоновані маршрути обробки фланця КС6-09.208 представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Маршрути обробки фланця КС6-09.208

№ пов.	Вид поверхні, позначення	Шорсткість, мкм	Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь	
			1	2
1	2	3	4	5
1, 18	Торцева поверхня 133±0,3	Rz40	Точіння чорнове Точіння напівчистове	
2	Фаска внутрішня 1×45°	Rz80	Розточування однократне	
3,19	Внутрішня поверхня Ø80H7(+0,03)	Ra1,25	Розточування чорнове Розточування напівчистове Шліфування напівчистове Шліфування чистове	Розточування чорнове Розточування напівчистове Протягування

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
4, 20	Канавка внутрішня $2,2^{+0,25}$; $Rz20 \ \varnothing 83,5^{+0,46}$	Rz20	Розточування однократне	
5	Фаска зовнішня $1 \times 45^\circ$; Rz80	Rz80	Точіння однократне	
6	Зовнішня поверхня $\varnothing 100h8(-0,054)$	Ra2,5	Точіння чорнове Точіння напівчистове Шліфування напівчистове	
7	Канавка зовнішня $3,4^{+0,3}$; $\varnothing 96,5_{-0,46}$	Rz20	Точіння однократне	
8	Канавка зовнішня $2^{+0,25}$; $\varnothing 99_{-0,87}$	Rz20	Точіння однократне	
9	Торець $72,3 \pm 0,3$	Rz80	Точіння однократне	
10	Фаска зовнішня $1,6 \times 45^\circ$	Rz80	Точіння однократне	
11	Зовнішня поверхня $\varnothing 110h8$	Ra2,5	Точіння чорнове Точіння напівчистове Шліфування напівчистове	
12	Зовнішня поверхня $\varnothing 110h7$	Ra1,25	Точіння чорнове Точіння напівчистове Шліфування напівчистове Шліфування чистове	
13	Торець $38 \pm 0,3$	Rz80	Точіння однократне	

Закінчення таблиці 3.3

1	2	3	4	5
14	Зовнішня поверхня $\varnothing 118 \pm 1,6$	Rz200	Не обробляється	
15	Торець $18 \pm 1,0$	Rz200	Не обробляється	
16	Зовнішня поверхня $\varnothing 200 \pm 1,8$	Rz200	Не обробляється	
17	Торець $3 \pm 0,6$	Rz200	Не обробляється	
21	Внутрішня поверхня $\varnothing 81H14^{(+0,870)}$; $l=60 \pm 0,3$	Rz80	Розточування однократне	
22... 24	Внутрішня поверхня $\varnothing 25H8^{(+0,033)}$; $l=18$; 124,704	Ra2,5	Свердління Зенкерування Розвертання чорнове Розвертання чистове	Обробка комбінованим інструментом
25... 27	Фаска внутрішня $1 \times 45^\circ$; Rz80	Rz80	Зенкування	Обробка комбінованим інструментом
28, 29	Шпонковий паз $8P9^{(-0,015)}$ $4H12^{(+0,12)}$; $56H15^{(+0,16)}$	Rz20	Фрезерування шпонковою фрезою	

Остаточний прийнятий маршрут обробки.

005. Токарна напівавтоматна.

Підрізати торець 18, в розмір $137,2 \pm 0,3$.

Позиція III. Розточити отвір 3, в розмір $\varnothing 78,8^{+0,74}$.

Позиція IV. Розточити отвір 3, в розмір $\varnothing 79,63^{+0,19}$

Позиція V. Розточити камеру 21, в розмір $\varnothing 81^{+0,87}$; $60 \pm 0,3$.

Позиція VI. Розточити дві канавки 4, 20 одночасно, в розміри $\varnothing 83,5^{+0,46}$;
 $2,2^{+0,25}$; $115^{+0,5}$; $27 \pm 0,3$.

Перевірити розміри: $137,2 \pm 0,3$; $\varnothing 79,63^{+0,19}$; $\varnothing 81^{+0,87}$; $60 \pm 0,3$; $\varnothing 83,5^{+0,46}$;
 $2,2^{+0,25}$; $115^{+0,5}$.

Контроль 40%

010. Токарна напівавтоматна.

Підрізати торець 1, в розмір $133\pm 0,3$; точити поверхні 6, 11 з підрізкою торців 9, 13, в розміри $\varnothing 100,9_{-0,87}$; $72,3\pm 0,3$; $\varnothing 110,9_{-0,87}$; $38\pm 0,3$.

Позиція III. Точити фаску 5, в розмір $1,45\times 45^\circ$; розточити фаску 2, в розмір $1,2\times 45^\circ$; точити фаску 10, в розмір $2\times 45^\circ$.

Позиція IV. Точити поверхню 11, в розмір $\varnothing 110,4_{-0,22}$.

Позиція V. Точити поверхню 6, в розмір $\varnothing 100,4_{-0,22}$.

Позиція VI. Точити дві канавки 7, 8, в розміри $\varnothing 96,5_{-0,46}$; $3,4^{+0,3}$; $\varnothing 99_{-0,87}$; $2^{+0,25}$ одночасно.

Перевірити розміри: $133\pm 0,3$; $\varnothing 110,4_{-0,22}$; $\varnothing 100,4_{-0,22}$; $72,3\pm 0,3$; $38\pm 0,3$; $\varnothing 96,5_{-0,46}$; $3,4^{+0,3}$; $\varnothing 99_{-0,87}$; $2^{+0,25}$; $1,2\times 45^\circ$; $1,8\times 45^\circ$.

Контроль 40%

015 Круглошліфувальна.

1. Шліфувати поверхню 6, в розміри $\varnothing 100_{-0,054}$; .

2. Шліфувати поверхню 11, в розміри $\varnothing 110_{-0,054}$; попередньо поверхню 12, в розміри $\varnothing 110,15_{-0,054}$.

3. Шліфувати поверхню 12, витримуючи розміри $\varnothing 110_{-0,035}$.

020 Внутрішньошліфувальна.

1. Шліфувати поверхні 3, 19, в розміри $\varnothing 79,895^{+0,074}$

2. Шліфувати поверхні, в розміри $\varnothing 80^{+0,030}$

025 Вертикально-свердлильна.

1. Свердлити три отвори 22...24 і зенкувати фаски в них одночасно, в розміри $\varnothing 23^{+0,21}$; $124,704$, $8\pm 0,2$; $2\times 45^\circ$

030 Вертикально-свердлильна.

1. Зенкерувати три отвори 22...24 послідовно, в розміри $\varnothing 24,8^{+0,13}$; $18\pm 0,2$.

035 Вертикально-свердлильна.

1. Розвертати попередньо три отвори 22...24 послідовно, в розміри $\varnothing 24,94^{+0,052}$; $18\pm 0,2$

040 Вертикально-свердлильна.

1. Розвертати три отвори 22...24 послідовно, в розміри $\varnothing 25^{+0,033}$; $18 \pm 0,2$.

045 Шпонково-фрезерна.

1. Фрезерувати шпонковий паз 28, в розміри $8P9_{(-0,065)}^{-0,015}$; $4H12^{(+0,12)}$
 $56H15^{(+0,16)}$.

2. Повернути деталь на 180°

3. Фрезерувати шпонковий паз 29, в розміри $8P9_{(-0,065)}^{-0,015}$; $4H12^{(+0,12)}$
 $56H15^{(+0,16)}$.

050 Контроль. 100%

3.4. Визначення припусків на оброблення і розмірів заготовки

Знаходимо припуски за формулою [8]:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2}) \quad (3.9)$$

Розрахунок проведемо для отвору $\varnothing 80H7^{(+0,030)}$; Ra 1,25.

Технологічні переходи обробки отвору:

1. Розточування чорнове H14.
2. Розточування напівчистове H11.
3. Шліфування напівчистове H9.
4. Шліфування чистове H7.

Заготовка на токарній напівавтоматній і внутрішньошліфувальній операціях встановлюється в трьохкулачковому самоцентрівному патроні.

Визначаємо складові формули для кожного переходу:

Для розточування чорнового:

$R_{z_{i-1}} = 200$ мкм, $T_{i-1} = 300$ мкм. для заготовки [8].

Похибка установки заготовки в трьохкулачковому патроні з пневмозатиском складе $\varepsilon_{y1} = (400 - 400 \times 0,2) = 320$ мкм. [8].

Просторові відхилення [8]:

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_{\text{жол.}}^2 + \rho_{\text{зм.}}^2}, \quad (3.10)$$

$$\rho_{\text{жол.}} = \Delta K \cdot d, \quad (3.11)$$

$$\rho_{\text{зм.}} = \delta \cdot b, \quad (3.12)$$

$d = 80$ мм;

$\delta = 0,030$;

$b = 19$ мм.

$$\rho_{\text{жол.}} = 0,7 \cdot 80 = 56 \text{ мкм},$$

$$\rho_{\text{зм.}} = 0,030 \cdot 19 = 0,57 \text{ мм} = 570 \text{ мкм},$$

$$\rho_{i-1} = \sqrt{56^2 + 570^2} = 573 \text{ мкм}.$$

Для розточування напівчистового:

$R_{zi-2} = 50$ мкм, $T_{i-2} = 50$ мкм. після розточування чорнового [8].

Похибка установки заготовки для розточування напівчистового після розточування чорнового

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \cdot K_y, \quad (3.13)$$

$$\varepsilon_2 = 320 \cdot 0,06 = 19,2 \text{ мкм}.$$

Просторові відхилення для розточування напівчистового після розточування чорнового

$$\rho_{i-2} = \rho_1 \cdot K_y;$$

$$\rho_{i-2} = 573 \cdot 0,06 = 34,38 \text{ мкм}.$$

Для шліфування напівчистового:

$R_{zi-3} = 30$ мкм, $T_{i-3} = 40$ мкм. після розточування напівчистового [8].

Похибка установки заготовки складе: $\varepsilon_{y3} = (80 - 80 \times 0,2) = 64$ мкм.

Просторові відхилення при шліфуванні напівчистовому

$$\rho_{i-3} = \rho_2 \cdot K_y,$$

$$\rho_{i-3} = 34,38 \cdot 0,05 = 1,72 \text{ мкм}.$$

Для шліфування чистового:

$R_{zi-4} = 5$ мкм, $T_{i-4} = 10$ мкм. після напівчистового шліфування [8].

Похибка установки заготовки для шліфування чистового

$$\varepsilon_4 = \varepsilon_3 \cdot K_y;$$

$$\varepsilon_3 = 64 \cdot 0,03 = 1,92 \text{ мкм.}$$

Визначити мінімальні припуски для кожного переходу:

1. Для розточування чорнового:

$$2Z_{1\min} = 2 \cdot (200 + 300 + \sqrt{573^2 + 320^2}) = 2 \cdot 1156 = 2312 \text{ мкм} = 2,312 \text{ мм.}$$

2. Для розточування напівчистового:

$$2Z_{2\min} = 2 \cdot (50 + 50 + \sqrt{34,38^2 + 19,2^2}) = 2 \cdot 139 = 278 \text{ мкм} = 0,278 \text{ мм.}$$

3. Для напівчистового шліфування:

$$2Z_{3\min} = 2 \cdot (30 + 40 + \sqrt{1,72^2 + 19,2^2}) = 2 \cdot 89 = 178 \text{ мкм} = 0,178 \text{ мм.}$$

4. Для чистового шліфування:

$$2Z_{4\min} = 2 \cdot (5 + 10 + 1,92) = 2 \cdot 16,92 = 33,84 \text{ мкм} = 0,034 \text{ мм.}$$

Розрахункові розміри для всіх переходів [8]:

1. Для чистового шліфування:

$$D_{p4} = 80,030 \text{ мм.}$$

2. Для напівчистового шліфування:

$$D_{p3} = 80,030 - 0,034 = 79,969 \text{ мм.}$$

3. Для розточування напівчистового:

$$D_{p2} = 79,969 - 0,178 = 79,818 \text{ мм.}$$

4. Для розточування чорнового:

$$D_{p1} = 79,818 - 0,278 = 79,54 \text{ мм.}$$

5. Для заготовки:

$$D_{p\text{заг.}} = 79,54 - 2,312 = 77,228 \text{ мм.}$$

Допуски для переходів

Заготовка (10-тий клас точності розмірів) $\rightarrow \delta_{\text{заг.}} = 2,8$ мм.

1. Розточування чорнове Н14 $\rightarrow \delta_1 = 0,74$ мм.

2. Розточування чорнове Н11 $\rightarrow \delta_1 = 0,19$ мм.

3. Шліфування напівчистове Н9 $\rightarrow \delta_2 = 0,074$ мм.

4. Шліфування чистове Н7 $\rightarrow \delta_3 = 0,030$ мм.

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

Для шліфування чистового: $D_{\text{max},4} = 80,030$ мм.

Для шліфування напівчистового: $D_{\text{max},3} = 79,969$ мм

Для розточування напівчистового : $D_{\text{max},2} = 79,82$ мм.

Для розточування чорнового: $D_{\text{max},1} = 79,54$ мм.

Для заготовки: $D_{\text{max,заг.}} = 77,2$ мм.

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

Для чистового шліфування: $D_{\text{min},4} = 80,030 - 0,030 = 80,0$ мм.

Для напівчистового шліфування: $D_{\text{min},3} = 79,969 - 0,074 = 79,895$ мм.

Для розточування напівчистового: $D_{\text{min},2} = 79,82 - 0,19 = 79,63$ мм.

Для розточування чорнового: $D_{\text{min},1} = 79,54 - 0,74 = 78,8$ мм.

Для заготовки: $D_{\text{min,заг.}} = 77,2 - 2,8 = 74,4$ мм.

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

Для чистового шліфування:

$$2Z_{4 \text{ max}} = 80,0 - 79,895 = 0,105 \text{ мм.}$$

$$2Z_{4 \text{ min}} = 80,030 - 79,969 = 0,061 \text{ мм.}$$

Для напівчистового шліфування:

$$2Z_{3 \text{ max}} = 79,895 - 79,63 = 0,265 \text{ мм.}$$

$$2Z_{3 \text{ min}} = 79,969 - 79,82 = 0,149 \text{ мм.}$$

Для розточування напівчистового:

$$2Z_{2 \text{ max}} = 79,63 - 78,8 = 0,83 \text{ мм.}$$

$$2Z_{2 \text{ min}} = 79,82 - 79,54 = 0,28 \text{ мм.}$$

Для розточування чорнового:

$$2Z_{1 \max} = 78,8 - 74,4 = 4,4 \text{ мм.}$$

$$2Z_{1 \min} = 79,54 - 77,2 = 2,34 \text{ мм.}$$

Визначаємо загальні припуски за формулами:

$$2Z_{\text{заг. max.}} = \Sigma 2Z_{i \max.} = 0,105 + 0,265 + 0,83 + 4,4 = 5,6 \text{ мм.}$$

$$2Z_{\text{заг. min.}} = \Sigma 2Z_{i \min.} = 0,061 + 0,149 + 0,28 + 2,34 = 2,83 \text{ мм.}$$

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

Відповідно для фланця КС6-09.208:

$$2Z_{\text{заг. ном.}} = 2,83 + 1,4 - 0,030 = 4,2 \text{ мм;}$$

$D_{\text{заг. ном.}} = 80 - 4,2 = 75,8 \text{ мм.}$ Приймаємо це значення для діаметру заготовки: $\varnothing 75,8 \pm 1,4$.

Перевіряємо правильність проведених розрахунків:

Для розточування чорнового:

$$4,4 - 2,34 = 2,06;$$

$$2,8 - 0,74 = 2,06.$$

Для розточування напівчистового:

$$0,83 - 0,28 = 0,55;$$

$$0,74 - 0,19 = 0,55.$$

Для шліфування напівчистового:

$$0,265 - 0,149 = 0,116;$$

$$0,19 - 0,074 = 0,116.$$

Для шліфування чистового:

$$0,105 - 0,061 = 0,044;$$

$$0,074 - 0,030 = 0,044.$$

Висновок: розрахунки виконано правильно.

Заносимо всі визначені величини припусків в розрахункову таблицю 3.4.

Припуски на усі інші поверхні представлено в таблиці 3.5.

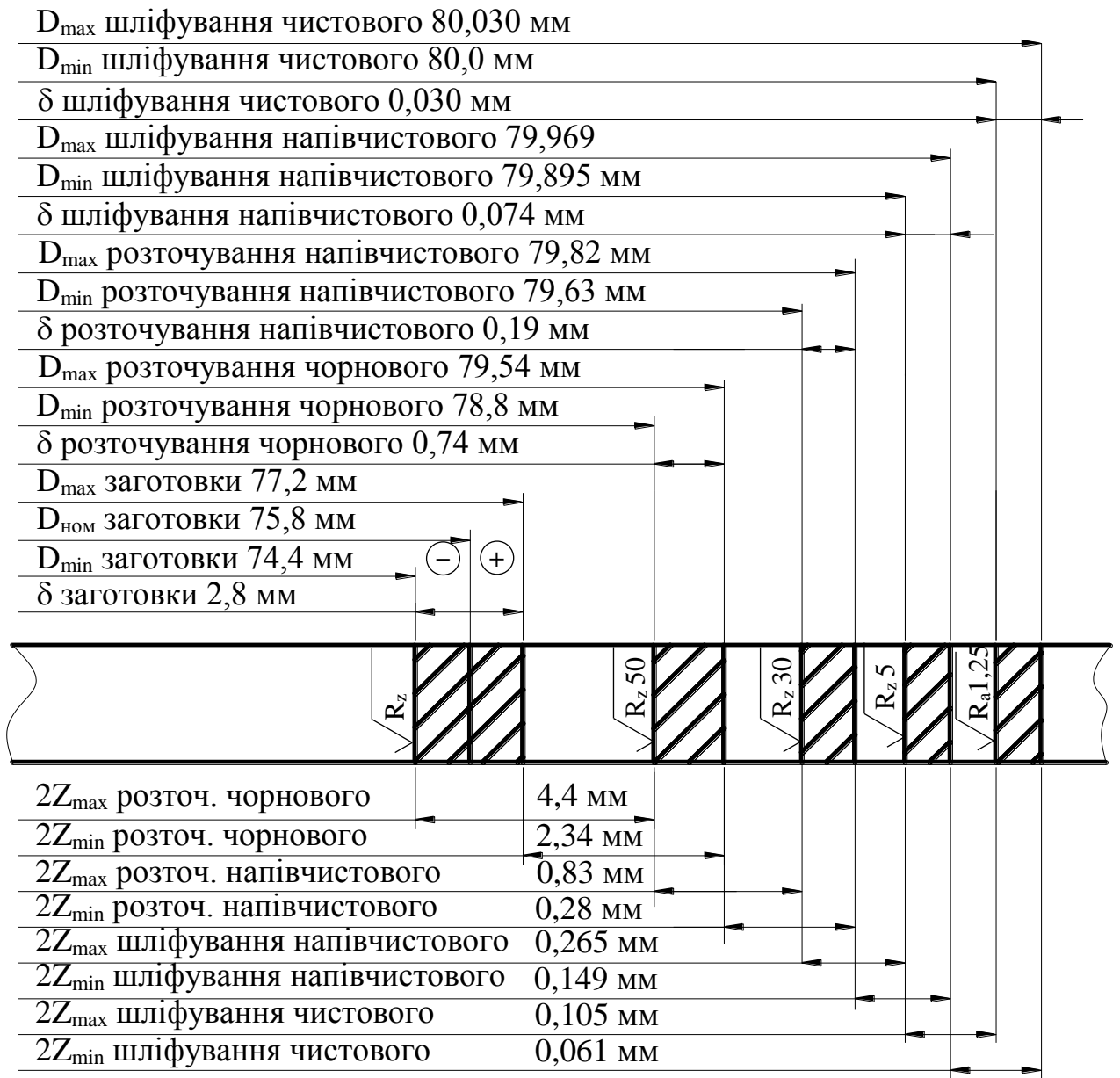


Рисунок 3.3 – Схема графічного розташування припусків та допусків на обробку поверхні $\varnothing 80\text{H7}$

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски $\varnothing 80H7$

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{i\min}$, мм	Розрахунковий розмір D_{p1} , мм	Допуск δ_d , мм	Граничні розміри, мм		Розрахункові граничні припуски, мм	
	R_z	T	ρ	ε_y				D_{\min}	D_{\max}	$2Z_{i\min}$	$2Z_{i\max}$
Заготовка (10 кл. точн.)	200	300	573			77,228	2,8	74,4	77,2		
Розточування чорнове H14	50	50	34,38	320	2312	79,54	0,74	78,8	79,54	2,34	4,4
Розточування напівчистове H11	30	40	1,72	19,2	278	79,818	0,19	79,63	79,82	0,28	0,83
Шліфування напівчистове H9	5	10	–	64	178	79,969	0,074	79,895	79,969	0,149	0,265
Шліфування чистове H7	5	–	–	1,92	33,84	80,030	0,030	80,0	80,030	0,061	0,105
Загальний припуск										2,83	5,6

Таблиця 3.5 – Розрахункові припуски і розміри

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Внутрішня поверхня $\varnothing 25H8^{+0,033}$; $l=18$; $124,704\pm 0,16$; $Ra2,5$					
Розвертання чистове	8	$Ra2,5$	0,033	$0,03\times 2=0,06$	$\varnothing 25^{+0,033}$
Розвертання чорнове	9	$Ra6,3$	0,052	$0,07\times 2=0,14$	$\varnothing 24,94^{+0,052}$
Зенкерування	11	$Ra12,5$	0,13	$0,9\times 2=1,8$	$\varnothing 24,8^{+0,13}$
Свердління по кондуктору	12	$Ra25$	0,21	$11,5\times 2=23,0$	$\varnothing 23^{+0,21}$
Заготовка	10-тий кл. точн.	$Rz200$	–	$12,5\times 2=25,0$	Суцільний матеріал
Зовнішня поверхня $\varnothing 110h7$, $Ra1,25$					

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6
Шліфування чистове	7	Ra1,25	0,035	0,075×2=0,15	Ø110 _{-0,035}
Шліфування напівчистове	8	Ra2,5	0,054	0,125×2=0,25	Ø110,15 _{-0,054}
Точіння напівчистове	11	Ra6,3	0,22	0,25×2=0,5	Ø110,4 _{-0,22}
Точіння чорнове	14	Rz80	0,87	3,55×2=7,1	Ø110,9 _{-0,87}
Заготовка	10-тий кл. точн.	Rz200	3,2	4×2=8,0	Ø118±1,6
Зовнішня поверхня Ø110h8, Ra2,5					
Шліфування напівчистове	8	Ra2,5	0,054	0,2×2=0,4	Ø110 _{-0,054}
Точіння напівчистове	11	Ra6,3	0,22	0,25×2=0,5	Ø110,4 _{-0,22}
Точіння чорнове	14	Rz80	0,87	3,55×2=7,1	Ø110,9 _{-0,87}
Заготовка	10-тий кл. точн.	Rz200	3,2	4×2=8,0	Ø118±1,6
Зовнішня поверхня Ø100h8, Ra2,5					
Шліфування напівчистове	8	Ra2,5	0,054	0,2×2=0,4	Ø100 _{-0,054}
Точіння напівчистове	11	Ra6,3	0,22	0,25×2=0,5	Ø100,4 _{-0,22}
Точіння чорнове	14	Rz80	0,87	5×2=10	Ø100,9 _{-0,87}
Попередньо оброблена поверхня	14	Rz80	0,87	5,45×2=10,9	Ø110,9 _{-0,87}
Торцева поверхня 133±0,3; Rz80					
Точіння однократне	14	Rz80	0,6	–	133±0,3
Заготовка	10-тий кл. точн.	Rz200	3,2	4,2 × 2 = 8,4	141,4±1,6

Габаритні розміри заготовки: Ø200±1,8 × 141,4±1,6.

3.5. Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання та інструменти представлено в додатках.

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Точити фаску 5, в розмір 1,45×45°; розточити фаску 2, в розмір 1,2×45°; точити фаску 10, в розмір 2×45°.	2	18	1	70	0,06	165	54,46	9,9	1,82	0,4
	1,45	10,4 6		45	0,386		52,3	63,69		0,56
	1,2			45						
Позиція IV Точити поверхню 11, в розмір $\varnothing 110,4_{-0,22}$.	0,25	40,5	1	152	0,386	166	57,1	63,6	1,81	0,11
Позиція V Точити поверхню 6, в розмір $\varnothing 100,4_{-0,22}$	0,25	74,8	1	152	0,386	166	52	63,6	1,81	0,12
Позиція VI. Точити дві канавки 7, 8, в розміри $\varnothing 96,5_{-0,46}$; $3,4^{+0,3}$; $\varnothing 99_{-0,87}$; $2^{+0,25}$ одночасно.	1,95	5,9	1	52	0,02	166	51,2	3,2	1,81	0,72
	0,7									
015 Круглошліфувальна										
Шліфувати поверхню 6, в розміри $\varnothing 100_{-0,054}$;	0,2	72,3	1	–	$S_x = 0,005$ мм/хід $S_o = 24$ мм/об	162	4	–	1,04	3,1
Шліфувати поверхню 11, в розміри $\varnothing 110_{-0,054}$; попередньо поверхню 12, в розміри $\varnothing 110,15_{-0,054}$.	0,2	38	1	–	$S_x = 0,01$ мм/хід $S_o = 24$ мм/об	146	3,4	–	0,27	3,1
Шліфувати поверхню 12, витримуючи розміри $\varnothing 110_{-0,035}$.	0,07 5	0,075	1	–	0,005	146	51	–	0,14	–
020 Внутрішньошліфувальна										

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Шліфувати поверхні 3, 19, в розміри $\varnothing 79,895^{+0,074}$	0,132 5	133	1	–	S_{2x} 0,005 мм/дв. x	$n_k=$ 12000 $n_3=$ 200	$V_{кол}=$ 50 м/хв $V_{спозд}$ 6050 м/хв	–	1,16	1,4
Шліфувати поверхні, в розміри $\varnothing 80^{+0,030}$	0,052 5		1	–	S_{2x} 0,005 мм/дв. x	$n_k=$ 12000 $n_3=$ 200	$V_{кол}=$ 50 м/хв $V_{спозд}$ 6050 м/хв	–	0,04 6	–
025 Вертикально-свердлильна										
Свердлити три отвори 22...24 і зенкувати фаски в них одночасно, в розміри $\varnothing 23^{+0,21}$; $124,704, 8\pm 0,2; 2\times 45^\circ$	11, 5	27	3	45	0,12	16,1	225	31,3	2,57	0,55
030 Вертикально-свердлильна										
Зенкерувати три отвори 22...24 послідовно, в розміри $\varnothing 24,8^{+0,13}$; $18\pm 0,2$.	0,9	23	3	60	0,97	77,7	1004	981	0,05	3,2
035 Вертикально-свердлильна										
Розвертати попередньо три отвори 22...24 послідовно, в розміри $\varnothing 24,94^{+0,052}$; $18\pm 0,2$	0,0 7	34	3	50	1,12	19,51	251	276	0,37	–
040 Вертикально-свердлильна										
Розвертати три отвори 22...24 послідовно, в розміри $\varnothing 25^{+0,033}$; $18\pm 0,2$.	0,0 3	34	3	50	1,12	7,1	91	98	1,01	–
045 Шпонково-фрезерна										

Закінчення таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фрезерувати шпонковий паз 28, в розміри 8P9 ^(-0,015/-0,065) ; 4H12 ^(+0,12) 56H15 ^(+0,16) .	0,2	49	20	60	Sz мм/зуб 0,0625	21	802	401	2,4	0,6
Повернути деталь на 180°										
Фрезерувати шпонковий паз 29, в розміри 8P9 ^(-0,015/-0,065) ; 4H12 ^(+0,12) 56H15 ^(+0,16) .	0,2	49	20	60	Sz мм/зуб 0,0625	21	802	401	2,4	0,6

Розрахунок технічних норм часу виготовлення фланця КС6-09.208 представлено в додатках.

Результати розрахунку представлено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Норми часу по операціях

Номер та назва операції	T _о , хв	Час циклу н/автомата, T _ц , хв	Час обслуговування, T _{об} , хв		T _{відп} , хв	T _{шт} , хв
			T _{тех.об.}	T _{орг.об.}		
005 Токарна напівавтоматна	2,14	2,2	0,0428	0,0682	0,198	2,51
010 Токарна напівавтоматна	1,82	1,88	0,0364	0,0583	0,169	2,14
015 Круглошліфувальна	1,455					3,055
020 Внутрішньошліфувальна	1,206					2,412
025 Вертикально-свердлильна	2,58					4,44
030 Вертикально-свердлильна	0,06					0,1
035 Вертикально-свердлильна	0,36					0,62
040 Вертикально-свердлильна	1,02					1,75
045 Шпонково-фрезерна	5,0					7,55

3.6. Розрахунок похибки встановлення деталі

Похибка встановлення заготовки фланця КС6-09.208 в пристосуванні [9]:

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

Умова забезпечення точності:

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

На 045 операції проводиться фрезерування двох шпонкових пазів, розмірами $8P9_{(-0,065)}^{(-0,015)}$; $4H12_{(+0,12)}$; $56H15_{(+0,16)}$. Згідно вимог на кресленні деталі шпонкові пази повинні лежати в одній площині з відхиленням не більше 0,1 мм.

Приведемо схему (рисунок 3.5) для розрахунку похибки установки на шпонково-фрезерній операції 045.

Похибка базування на розмір $4H12$ розраховується за формулою, [9]:

$$\Delta \varepsilon_{6,4} = 0,5 \cdot TD, \quad (3.16)$$

де TD – поле допуску поверхні $\varnothing 100h8_{(-0,054)}$, $TD = 0,054$ мм.

Тоді, $\Delta \varepsilon_{6,4} = 0,5 \cdot 0,054 = 0,027$ мм = 27 мкм.

$\varepsilon_3 = 0,04$ мкм, $\varepsilon_{\text{пр}} = 15$ мкм [12].

Розраховуємо похибку установки за формулою (3.14):

$$\Delta \varepsilon_{y4} = \sqrt{27^2 + 40^2 + 15^2} = 50 \text{ мкм} = 0,05 \text{ мм.}$$

Визначаємо допустиму похибку установки при виконанні розміру $4H12$ за формулою:

$$\Delta \varepsilon_{y, \text{доп.}} = \delta - \Delta, \quad (3.17)$$

де δ – допуск розміру $4H12_{(+0,12)}$, $\delta = 0,12$ мм;

Δ – точність наладки шпонкової фрези на верстаті на розмір; згідно таблиці [9],

$$\Delta = 10 \text{ мкм} = 0,01 \text{ мм.}$$

$$\text{Тоді, } \Delta \varepsilon_{\text{у.доп.}} = 0,12 - 0,01 = 0,11 \text{ мм.}$$

Перевіряємо умову виконання точності розміру 4H12 в даному пристосуванні:

$$0,05 \text{ мм} < 0,11 \text{ мм.}$$

Отже, умова виконується, обробка можлива.

3.7. Розрахунок пристосування

Для розрахунку сил затиску заготовки на шпонково-фрезерній операції 045 при фрезеруванні двох шпонкових пазів 8P9 $_{-0,065}^{-0,015}$; 4H12 $^{+0,12}$; 56H15 $^{+0,16}$ використовуємо схему рис. 3.6.

Необхідна сила затиску деталі в пристосуванні [15]:

$$N = (Q + Q_1) \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right), \quad (3.18)$$

Силу затиску заготовки:

$$Q = \frac{k}{f} \sqrt{\frac{4M_{\text{кр}}^2}{D^2} + P_z^2}. \quad (3.19)$$

Силу стискання пелюстка цанги для вибирання проміжка між її губками та заготовкою Q_1 за формулою [14]:

$$Q_1 = 0,17 \cdot 10^3 \frac{t \cdot d^3 \cdot S_{\text{max}}}{l^3}. \quad (3.20)$$

Коефіцієнт запасу [6]:

$$k = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,6 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 3,12.$$

Визначаємо силу затиску заготовки:

$$Q = \frac{3,12}{0,25} \sqrt{\frac{4 \cdot 2,2^2}{80^2} + 57^2} = 12,48 \cdot 57 = 711,4 \text{ Н.}$$

Визначаємо силу стискання пелюстка цанги:

$$Q_1 = 0,17 \cdot 10^3 \frac{6 \cdot 76^3 \cdot 0,1}{80^3} = 0,17 \cdot 0,51 \cdot 10^3 = 0,087 \cdot 10^3 = 87,45 \text{ Н.}$$

Визначаємо необхідну силу затиску деталі:

$$N = (711,4 + 87,45) \cdot \text{tg}(7,5 + 8) = 798,85 \cdot 0,3 = 240 \text{ Н.}$$

Для надійного затиску необхідно, щоб виконувалась наступна умова:

$$P_{\text{дійсне}} \geq N, \quad (3.21)$$

Сила затиску, яку створює гвинтовий затискний механізм складає [6]:

$$P_{\text{дійсне}} = 16000 \text{ Н.}$$

Перевіряємо умову затиску: $16000 \text{ Н} > 240 \text{ Н}$.

Умова виконується, так як дійсна сила затиску більша за необхідну силу затиску деталі в пристосуванні при фрезеруванні шпонкового паза $8P9_{-0,065}^{-0,015}$; $4H12^{+0,12}$; $56H15^{+0,16}$.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Планування робіт з охорони праці та контроль за їх безпекою

Робота з охорони праці здійснюється у відповідності з перспективним і поточним планами створення безпечних і нешкідливих умов праці, в яких визначені задачі підприємству в цілому і окремим структурним підрозділам, а також керівникам і спеціалістам.

Планування робіт здійснюється на основі:

- заходів, які забезпечують досягнення встановлених нормативів безпеки праці, гігієни праці та виробничого середовища;
- заходів, передбачених колективним договором;
- заходів по усуненню недоліків, виявлених при розслідуванні нещасних випадків, професійних захворювань і аварій.

Планування організаційно-технічних заходів з охорони праці - одна з провідних функцій управління охорони праці. Перед плануванням обов'язково визначається фактичний стан охорони праці і його прогнозування на майбутнє. Планування робіт по охороні праці буває перспективним (на тривалий відрізок часу), поточним (на рік) і оперативним (квартал, місяць, декаду). До перспективних планів належить комплексний план покращення умов праці і санітарно-оздоровчих заходів, що передбачає створення, відповідно до нормативних актів з охорони праці, умов праці, пов'язаних з перспективними змінами підприємства. Таке планування, як правило, розраховане на термін від 2 до 5 років. Реалізація цих планів забезпечується через річні плани номенклатурних заходів з охорони праці, які вносяться до угоди, що є невід'ємною частиною колективного договору. Поточні плани передбачають реалізацію заходів із покращення умов праці, створення кращих побутових і соціальних умов на виробництві. Ці плани обов'язково забезпечуються фінансуванням згідно з розробленими кошторисами. Питання охорони праці можуть віддзеркалюватися в інших поточних планах, які підприємства та

організації можуть складати на вимогу трудових колективів: план соціального розвитку колективу; наукової організації праці; механізації важких і ручних робіт; охорони праці жінок; підготовки підприємства до робіт в осінньо-зимовий період; підвищення культури виробництва та ін. Оперативні плани складаються для швидкого виправлення виявлених в процесі державного, відомчого і громадського контролю недоліків в стані охорони праці, а також для ліквідації наслідків аварій або стихійного лиха.

Контроль за станом охорони праці включає:

- оцінку рівня небезпечних виробничих факторів (НВФ) і шкідливих виробничих факторів (ШВФ) на робочих місцях;
- виявлення порушення вимог законів і нормативних актів з охорони праці;
- перевірку усунення раніше виявлених порушень;
- перевірку виконання працівником обов'язків з охорони праці;
- перевірку виконання планів робіт з охорони праці;

Види контролю:

- зі сторони органів державного нагляду;
- зі сторони служби з охорони праці;
- оперативний контроль керівниками і іншими посадовими особами підприємства;
- громадський контроль;
- комісія підприємства, уповноваженою працівниками особою з питань охорони праці.

Оцінка стану охорони праці і результатів профілактичної роботи здійснюється за прийнятими на підприємстві показниками. Як джерело вихідної інформації використовуються: акти про нещасні випадки, звіти про виробничий травматизм; матеріали атестації робочих місць, паспорта санітарно-гігієнічного стану умов праці; журнали оперативного контролю за станом охорони праці структурного підрозділу, акти і приписи перевірок стану охорони праці.

Узагальнені дані про стан охорони праці і результатів профілактичної роботи підготовлюються службою охорони праці і підлягають обов'язковому розгляду і аналізу на всіх рівнях управління підприємства.

4.2. Основні види надзвичайних ситуацій

Постановою Кабінету Міністрів України № 1099 «Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій» затверджено «Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій». Згідно з цим положенням, за характером походження подій, що зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій на території України, розрізняють 4 класи надзвичайних ситуацій: техногенного, природного, соціально-політичного та військового характеру. Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на групи, які містять конкретні їх види.

Надзвичайні ситуації техногенного характеру – це наслідок транспортних аварій, катастроф, пожеж, неспровокованих вибухів чи їх загроза, аварій з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптового руйнування споруд та будівель, аварій на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення, гідродинамічних аварій на греблях, дамбах тощо.

Надзвичайні ситуації природного характеру – це наслідки небезпечних геологічних, метеорологічних, гідрологічних, морських та прісноводних явищ, деградації ґрунтів чи надр, природних пожеж, змін стану повітряного басейну, інфекційних захворювань людей, сільськогосподарських тварин, масового ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміни стану водних ресурсів та біосфери тощо.

Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру – це ситуації, пов'язані з протиправними діями терористичного та антиконституційного спрямування: здійснення або реальна загроза терористичного акту (збройний напад, захоплення і затримання важливих об'єктів ядерних установок і

матеріалів, систем зв'язку та телекомунікації, напад чи замах на екіпаж повітряного чи морського судна), викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден,

встановлення вибухових пристроїв у громадських місцях, викрадення зброї, виявлення застарілих боєприпасів тощо.

Надзвичайні ситуації військового характеру – це ситуації, пов'язані з наслідками застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження населення внаслідок зруйнування атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин та відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних речовин, токсичних відходів, транспортних та інженерних комунікацій.

Залежно від територіального поширення, обсягів, заподіяних або очікуваних економічних збитків, кількості людей, які загинули, розрізняють 4 рівні надзвичайних ситуацій – загальнодержавний, регіональний, місцевий та об'єктовий.

Надзвичайна ситуація загальнодержавного рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох та більше областей або загрожує транскордонним перенесенням, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріали і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремої області, але не менше 1 % обсягів видатків відповідного бюджету.

Надзвичайна ситуація регіонального рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох або більше адміністративних районів (міст обласного значення), або загрожує перенесенням на територію суміжної області, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремого району, але не менше 1 % обсягів видатків відповідного бюджету.

Надзвичайні ситуації місцевого рівня – це надзвичайна ситуація, яка

виходить за межі потенційно-небезпечного об'єкта, загрожує поширенням самої ситуації або її вторинних наслідків на довкілля, сусідні населені пункти, інженерні споруди, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості об'єкта. До місцевого рівня також належать всі НС, які виникають на об'єктах житлово-комунальної сфери та інших, що не входять до затверджених переліків потенційно-небезпечних об'єктів.

Надзвичайна ситуація об'єктового рівня – це надзвичайна ситуація, яка не підпадає під зазначені вище визначення, тобто така, що розгортається на території об'єкта або на самому об'єкті, її наслідки не виходять за межі об'єкта або його санітарно-захисної зони.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження динаміки оброблення ступінчастого отвору комбінованим інструментом свердло-зенкер. Із представлених графічних залежностей встановлено, що в момент удару зенкера відбувається різке зростання кута деформації свердла відносно зенкера в часі до 0,21 град, проте подальше врізання зубів зенкера призводить до загальної деформації комбінованого інструмента до 0,34 град. з подальшою стабілізацією на 0,27 град. Найбільший динамічний момент різання на комбінованому інструменті досягає 5950 Н·мм. Деформація зенкера відносно патрона досягає величини 0,045 град. В загальному деформації комбінованого інструмента свердло-зенкер знаходяться в допустимих межах, тому руйнування такого інструменту відбуватись не буде. Також представлені диференціальні рівняння дозволяють прогнозувати вплив режимів різання, силових факторів на міцність комбінованого інструменту.

Представлено результати експериментальних досліджень розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки із сталі 45.

Максимальне розбиття ступінчастого отвору під час оброблення комбінованим інструментом свердло-зенкер заготовки із сталі 45 складає 0,15мм, а мінімальне – 0,05 мм. Збільшення подачі інструмента S від 0,1 мм до 0,2 мм/об призводить до зростання розбиття ступінчастого отвору на 44%. При цьому збільшення діаметра свердла d від 6 мм до 10 мм надає розбиття ступінчастого отвору на 28%, а збільшення глибини різання зенкером t від 1 до 3 мм призводить до зростання розбиття ступінчастого отвору на 37%.

Розроблено технологічний процес виготовлення фланця КС6-09.208 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. Іванова М.С. Технологічне забезпечення продуктивності та якості обробки отворів деталей гідропневмосистем комбінованим осьовим інструментом: автореферат. Харків: «МОДЕЛІСТ», 2016. 23 с.

22. Яким І. С. Підвищення якості виготовлення тришаршкових бурових доліт: автореферат. Тернопіль, 2016. 21 с.

23. Дичковський М.Г. Дослідження моменту різання ступінчастого отвору комбінованим інструментом свердло-зенкер / М.Г. Дичковський, А.Є. Дячун, С.М. Солтисьяк // 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.

24. 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.

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

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