

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

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення кільця 714252.059 з
дослідженням процесу розточування отворів багатолезовим інструментом

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

(шифр і назва спеціальності)

Хічій А.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Окіпний І.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ткаченко І.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення кільця 714252.059 з дослідженням процесу розточування отворів багатолезовим інструментом”.

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження величини деформації багатолезової оправки для розточування ступінчастого отвору. Виведено диференціальне рівняння, що описує криву деформації середньої лінії оправки під час розточування. Рівняння розв’язано чисельним методом Рунге-Кутта, використовуючи прикладне програмне забезпечення. Результати розв’язків представлено у вигляді графіків кривої деформації оправки залежно від її конструктивних параметрів.

Проведено експериментальні дослідження величини максимальної деформації розточної оправки залежно від: відстані від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин, діаметра поперечного перерізу оправки та зовнішнього навантаження.

Виведено рівняння регресії величини максимальної деформації розточної оправки залежно від зміни конструктивних параметрів та зовнішнього навантаження.

Побудовано поверхні відгуку та їх двомірні перерізи залежності величини максимальної деформації розточної оправки від конструктивних та силових параметрів.

Вдосконалено відомий технологічний процес виготовлення кільця 714252.059.

ЗМІСТ

Вступ

1 Аналітична частина

1.1. Аналіз стану питання

1.2. Висновки та постановка завдань

2 Науково-дослідна частина

2.1. Дослідження величини деформації багатолезової оправки для розточування ступінчастого отвору

2.2. Результати експериментальних досліджень твердості зміцненої різьбової поверхні

2.3. Висновки

3 Технологічно-конструкторська частина

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

Перелік посилань

Додатки

ВСТУП

Типовими прикладами використання операції розточування отворів є процеси виготовлення циліндрів двигунів, базових отворів для підшипників, внутрішніх поверхонь кілець підшипників. Розточна оправка низької жорсткості піддається пружним деформаціям при збудженні силами різання, що призводить до зміни площі зрізуваної стружки, і як наслідок – до зміни величини та напрямку сил різання. Такий процес має закриту динамічну систему яка може бути стабільною або нестабільною залежно від параметрів процесу, таких як глибина різання та подача і структурна динаміка розточної оправки.

Якщо система є стабільною, то вона не піддається вібраціям, що є бажаним процесом розточування. Однак сили різання призводять до статичних деформації розточної оправки, які можуть бути більшими ніж допуски отвору, що обробляється. Якщо провести математичне моделювання процесу, виникає можливість вибрати необхідну геометрію інструмента, поперечний переріз розточної оправки, глибину різання та подачу, що не підвищують допуск обробленої поверхні через статичні деформації.

Механіка процесу розточування пов'язана із прогнозування сил різання як функції геометрії інструмента, властивостей матеріалу заготовки, режимів різання. Динаміка процесу розточування включає моделювання взаємодії між структурною динамікою довгої розточної оправки та механіки процесу розточування.

Досконала взаємодія усіх компонентів процесу механічної обробки дозволяє досягнути найвищих показників економічної ефективності та збереження ресурсів. Тому при розробленні технологічного процесу особливо важливо мати знання про процеси розточування отворів.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення кільця 714252.059.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз стану питання

Типовими прикладами використання операції розточування отворів є процеси виготовлення циліндрів двигунів, базових отворів для підшипників, внутрішніх поверхонь кілець підшипників. Отвори спочатку створюються свердлінням або під час виготовлення заготовки литвом чи обробкою тиском. Залежно від розміру заготовки та діаметра отвору для виконання операції розточування використовуються токарні верстати або великі центри для розточування. Малі деталі, такі як кільця та зубчасті колеса можуть встановлюватись на шпинделях токарних верстатів з ЧПК. Операція розточування здійснюється ріжучою пластиною, встановленою на розточній оправці. Розточна оправка закріплюється у різцетримачі або револьверній головці та подається до отвору деталі, що обертається з патроном верстата (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Зображення процесу розточування отвору [16]

Великі заготовки, такі як блоки циліндрів, встановлюються на столі розточного верстата.

Розточні оправки зазвичай дуже гнучкі через велике співвідношення між довжиною оправки L та її діаметром D . При цьому розточну оправку розглядають як консольну балку, до якої прикладені сили різання. Величина сил різання залежить від твердості матеріалу заготовки, та площі зрізуваної стружки. Напрямок вектора сил різання при розточуванні залежить від геометрії інструмента, величини подачі та глибини різання. Розточна оправка низької жорсткості піддається пружним деформаціям при збудженні силами різання, що призводить до зміни площі зрізуваної стружки, і як наслідок – до зміни величини та напрямку сил різання. Як наслідок такий процес має закрити динамічну систему яка може бути стабільною або нестабільною залежно від параметрів процесу, таких як глибина різання та подача і структурна динаміка розточної оправки.

Якщо система є стабільною, то вона не піддається вібраціям, що є бажаним процесом розточування. Однак сили різання призводять до статичних деформації розточної оправки, які можуть бути більшими ніж допуски отвору, що обробляється. Якщо провести математичне моделювання процесу, виникає можливість вибрати необхідну геометрію інструмента, поперечний переріз розточної оправки, глибину різання та подачу, що не підвищують допуск обробленої поверхні через статичні деформації.

Якщо процес є не стабільним, відбувається збудження структурних мод розточної оправки, що призводить до виникнення автоколивань. Величина вібрацій зростає експоненціально до виходу інструменту із зони різання або його руйнування. Автоколивання призводять до погіршення якості обробленої поверхні та пошкодження ріжучого інструменту. Стійкість до автоколивань залежить від структурної динаміки розточної оправки, напрямку динамічних сил різання, що в свою чергу залежить від геометрії інструменту, твердості матеріалу заготовки, глибини різання, подачі та лінійної швидкості різання. Математичне моделювання процесу дає можливість уникати таких режимів різання, що призводять до автоколивань ще до початку процесу різання.

Значна кількість наукових праць присвячена загальній механіці та динаміці

різання, проте процес розточування отворів є менше вивченим ніж процес токарної обробки чи фрезерування.

Механіка процесу розточування пов'язана із прогнозування сил різання як функції геометрії інструмента, властивостей матеріалу заготовки, режимів різання. Динаміка процесу розточування включає моделювання взаємодії між структурною динамікою довгої розточної оправки та механіки процесу розточування. Визначення сил різання дозволяє прогнозувати похибки статичної деформації, крутного моменту та потужності, що необхідні на верстаті. Визначення динамічної стабільності процесу дозволяє прогнозувати прогнозувати режими різання, при яких не відбувається автоколивань.

У дисертації [19] визначено, що сили різання при розточуванні залежать від геометрії вершини інструменту, кута різання в плані, глибини різання, подачі та швидкості різання. Розподіл товщини стружки вздовж різальної кромки інструменту є складним. Стружка є тонкою при вершині інструменту і стає товстішою вздовж криволінійної поверхні ріжучої кромки. У роботі запропоновано моделювати сили різання як функцію площі зрізаної стружки та коефіцієнтів різання. Площа стружки розбита на декілька окремих геометричних областей, при цьому визначено центр кожної області. Також у кожній області проведено моделювання сил різання. Після цього усі сили сумувались з одержанням результуючої сили тертя та тангенціальної сили різання. Сили тертя проектувались на радіальний напрямок та напрямок подачі. Модель дозволяє визначати сили різання в усіх напрямках декартової системи координат. Також у моделі враховано вплив похибки встановлення багатолезової ріжучої оправки. Результати декількох експериментів порівнювались із прогнозуваннями, що ґрунтувались на запропонованій математичній моделі. Похибки прогнозування коливались в межах від 2% до 15%.

Також вивчено основи механізму виникнення автоколивань. Показано, що коефіцієнти різання, фактори напрямків залежать від режимів різання та геометрії інструментів. Якщо геометрія інструменту та швидкість різання

можуть підтримуватись постійними, то вібрації в процесі різання змінюють глибину різання, що призводить до утворення змінних у часі вхідних параметрів. Це є основою нелінійності процесу, що відрізняє його від процесу фрезерування. Значна нелінійність процесу розточування отворів обмежує застосування класичних законів лінійної стійкості автоколивань.

Багатолезові інструменти для розточування отворів поділяють за способом оброблення на три основних групи (рис. 1.2). До першої групи (рис. 1.2, а) відносяться інструменти, в яких ріжучі пластини зрізають різні припуски, до другої (рис. 1.2 б) - інструменти, в яких ріжучі пластини зрізають однакові припуски, до третьої (рис. 1.2 в) – поєднання першої і другої груп.

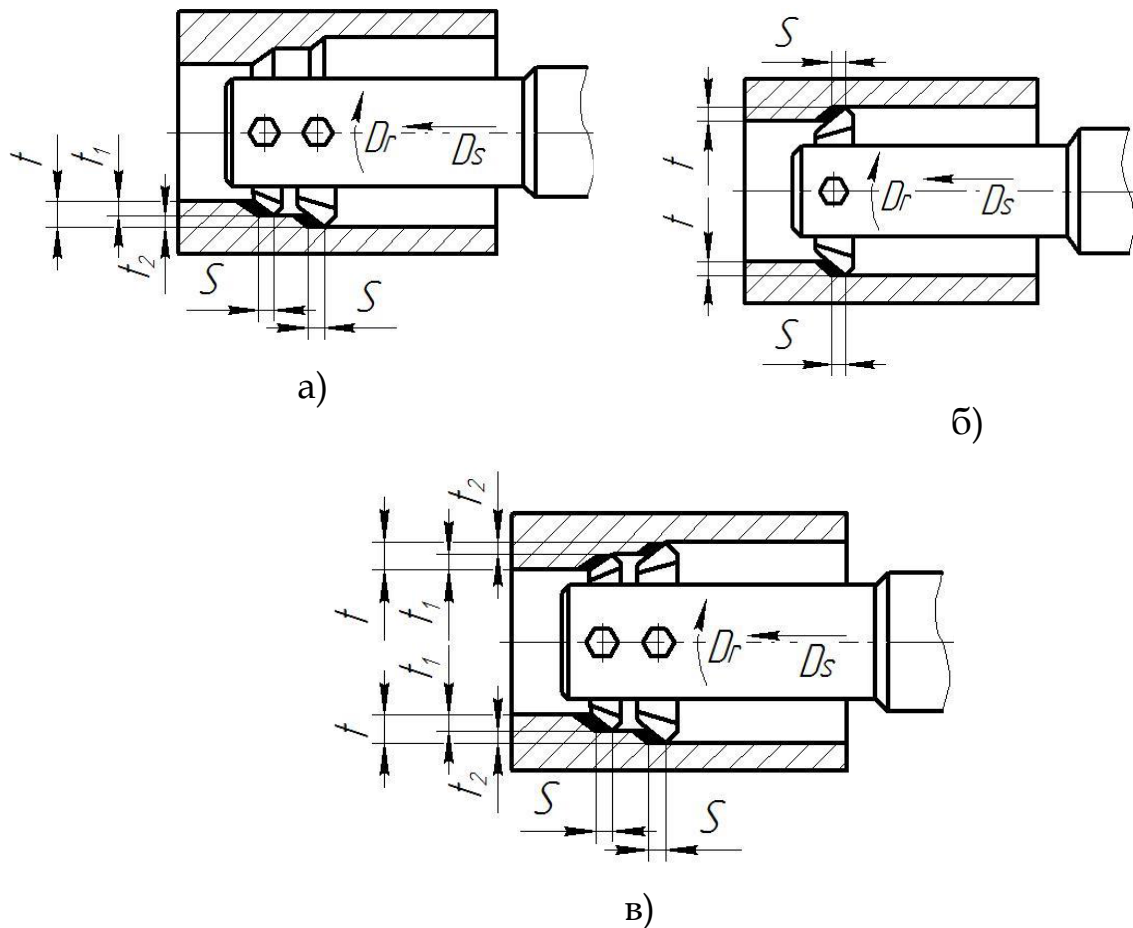


Рисунок 1.2 – Основні групи багатолезових інструментів для розточування отворів [22]

Досконала взаємодія усіх компонентів процесу механічної обробки

дозволяє досягнути найвищих показників економічної ефективності та збереження ресурсів. Тому при розробленні технологічного процесу особливо важливо мати знання про процеси різання і технології механічної обробки. Фірма MAPAL забезпечує базу для технологів із широким діапазоном інноваційних, високоефективних інструментів та широкою базою досвіду. Інструменти для розточування фірми MAPAL (рис. 1.3) є високоефективними завдяки комбінації інноваційної технології та абсолютної точності при виготовленні.



Рисунок 1.3 – Інструмент для розточування отворів фірми MAPAL [23]

Інструменти для чорнового розточування отворів TSW фірми MAPAL (рис. 1.4) встановлюють стандарти у співвідношенні стабільності та ефективності, особливо при підвищених припусках обробки. Застосування таких інструментів із поворотними твердосплавними пластинами, що мають шість ріжучих кромки знижує вібрації та автоколивання процесу розточування отворів. Підвищена продуктивність та стабільність забезпечується тангенціальним розміщенням ріжучих пластин на торцевій поверхні оправки.

Діапазон діаметрів обробки такими інструментами становить від 37 мм до 280 мм. При обробленні глухих отворів кут контакту становить 0° , а для наскрізних отворів - 10° . Максимальна глибина різання 10 мм. Максимальна довжина оброблюваного отвору 300 мм.



Рисунок 1.4 – Розточні інструменти TSW фірми MAPAL із стандартними ISO ріжучими пластинами [23]

На основі напрямку роботи ModulBore фірма MAPAL презентувала систему розточних інструментів (рис. 1.5) для чорнової та фінішної обробки з діапазоном діаметрів оброблюваних отворів від 6 мм до 1000 мм.



Рисунок 1.5 – Модульні розточні інструменти фірми MAPAL [23]

Така система є дуже гнучкою, може налаштовуватись для спеціальних

операцій механічної обробки завдяки своїй модульній структурі. Інструменти для чорнового розточування отворів із двома ріжучими лезами є стабільними та ефективними завдяки зубчастій торцевій поверхні, на якій встановлюються державки ріжучих пластин.

Спеціальні розточні інструменти (рис. 1.6) забезпечують найвищу якість обробки для одержання точних розмірів і форми поверхні а також низьку шорсткість поверхні. Для таких інструментів можлива реалізація складної геометрії різання із граничними значеннями кутів різання. Можуть використовуватись для обробки заготовок низької жорсткості або низької стабільності (наприклад, при розточуванні перервних поверхонь). Модульна структура забезпечує найвищу точність радіального биття обробленого отвору. Використання розточного інструменту із декількома ступенями забезпечує співвісність ступінчастих отворів та скорочує час обробки. Такі інструменти можна оптимізувати для мінімального використання мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ.

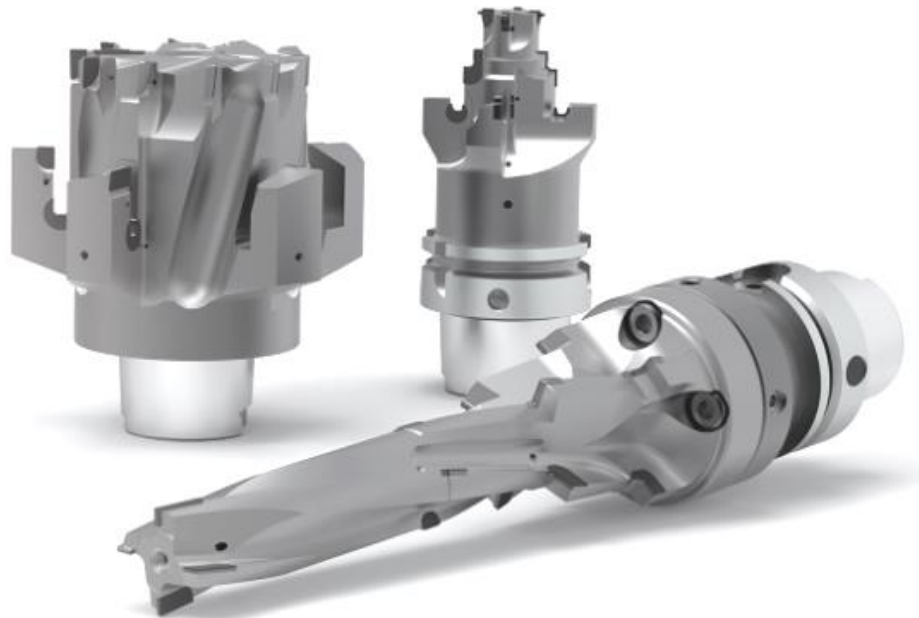


Рисунок 1.6 – Спеціальні розточні інструменти фірми MAPAL [23]

У дисертаційній роботі [22] представлено класифікацію розточних інструментів для оброблення отворів, яку зображено на рис. 1.7.

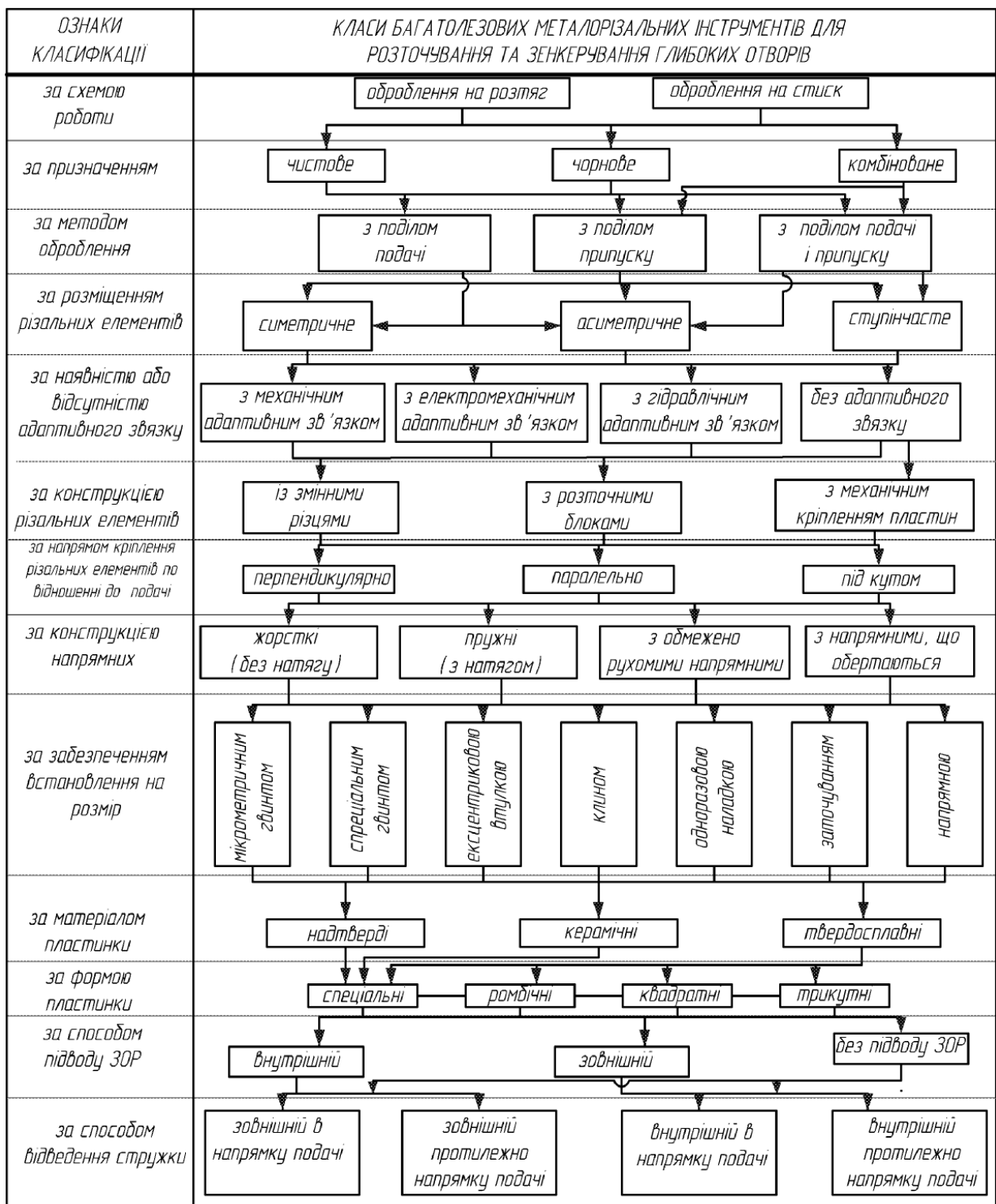


Рисунок 1.7 - Класифікація розточних інструментів для оброблення отворів

1.2. Висновки та постановка завдань

В результаті аналізу інформаційних джерел встановлено, що розточні оправки зазвичай мають низьку жорсткість через велике співвідношення між довжиною оправки та її діаметром. При цьому розточну оправку розглядають як консольну балку, до якої прикладені сили різання. Величина сил різання залежить від твердості матеріалу заготовки, та площі зрізуваної стружки. Напрямок вектора сил різання при розточуванні залежить від геометрії інструмента, величини подачі та глибини різання. Розточна оправка низької жорсткості піддається пружним деформаціям при збудженні силами різання, що призводить до площі зрізуваної стружки, і як наслідок – до зміни величини та напрямку сил різання. Як наслідок такий процес має закриту динамічну систему яка може бути стабільною або нестабільною залежно від параметрів процесу, таких як глибина різання та подача і структурна динаміка розточної оправки.

Механіка процесу розточування пов'язана із прогнозування сил різання як функції геометрії інструмента, властивостей матеріалу заготовки, режимів різання. Динаміка процесу розточування включає моделювання взаємодії між структурною динамікою довгої розточної оправки та механіки процесу розточування.

Досконала взаємодія усіх компонентів процесу механічної обробки дозволяє досягнути найвищих показників економічної ефективності та збереження ресурсів. Тому при розробленні технологічного процесу особливо важливо мати знання про процеси розточування отворів.

У кваліфікаційній роботі вирішуються такі завдання:

1. Провести дослідження величини деформації багатолезової оправки для розточування ступінчастого отвору.
2. Вивести диференціальне рівняння, що описує криву деформації середньої лінії оправки під час розточування. Рівняння розв'язати чисельним

методом Рунге-Кутта, використовуючи прикладне програмне забезпечення. Результати розв'язків представити у вигляді графіків.

3. Провести експериментальні дослідження величини максимальної деформації Δu розточної оправки залежно від: відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин, діаметра D поперечного перерізу оправки та зовнішнього навантаження P .

4. Побудувати поверхні відгуку та їх двомірні перерізи залежності величини максимальної деформації розточної оправки від конструктивних та силових параметрів.

5. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення кільця 714252.059.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження величини деформації багатолезової оправки для розточування ступінчастого отвору

Оскільки процес розточування отворів пов'язаний із попередніми процесами його формування, центри розточної оправки та отвору потребують суміщення для точного процесу різання. Коли центр розточної оправки має відхилення відносно центру отвору, змінюється глибина різання навколо осі обертання розточної оправки, при цьому змінюється площа зрізаної частини стружки та складові сили різання, що призводить до деформації розточної оправки. Також в процесі досліджень враховано, що пластини на розточній оправці мають радіальне та осьове биття, тому кількість металу, що зрізається кожною пластиною, є різною. Це призводить до виникнення дисбалансу сумарної сили різання, а отже і деформації розточної оправки. Збільшення довжини оброблюваного отвору та зменшення діаметра розточної оправки призводить до збільшення величини деформації розточної оправки.

Для дослідження величини деформації розточної оправки розроблено розрахункову схему розточування ступінчастого отвору, що зображена на рис. 2.1. Заготовка 1 із попередньо обробленим отвором закріплюється у затискному пристрої 2 (патроні). Ступінчаста оправка 3 закріплюється у шпинделі верстата з наданням їй обертового руху. На ступінчастій оправці по колу закріплено твердосплавні різальні пластини 4 (4 шт.) для розточування отвору діаметром D_1 і твердосплавні різальні пластини 5 (4 шт.) для розточування отвору діаметром D_2 .

В процесі розточування ступінчастого отвору на кожному із різальних пластин діють радіальні P_{r1i} , P_{r2i} , тангенціальні P_{t1i} , P_{t2i} та осьові P_{z1i} , P_{z2i} складові сил різання, де i – порядковий номер ріжучої пластини, що знаходиться в межах від 1 до N . При цьому N – кількість ріжучих пластин на оправці.

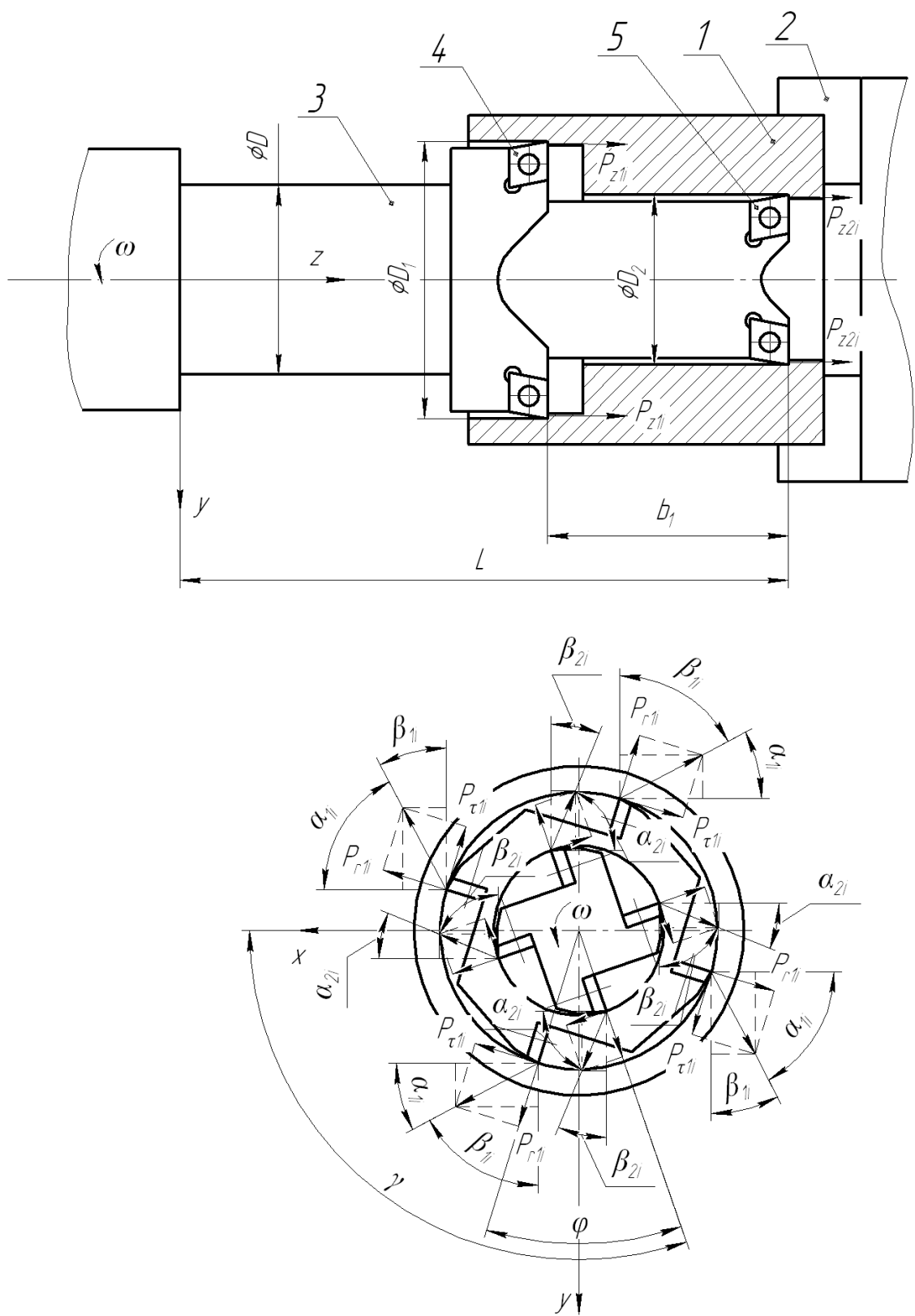


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема розточування ступінчастого отвору для дослідження величини деформації розточної оправки: 1 - заготовка із попередньо обробленим отвором; 2 - затискний пристрій; 3 – ступінчаста оправка; 4, 5 - твёрдосплавні різальні пластини

Радіальні P_{r1i} , P_{r2i} , тангенціальні $P_{\tau1i}$, $P_{\tau2i}$ та осьові P_{z1i} , P_{z2i} складові сил різання визначаються на сонові експериментальних досліджень, статистичної обробки результатів експериментів та виведенням емпіричних залежностей. Основними параметрами режимів різання, що визначають величину сил різання є швидкість різання V , подача ступінчастої розточної оправки S та глибина різання t .

При радіальному та осьовому битті ріжучих пластин а також при наявності ексцентриситету осі попередньо обробленого отвору та осі ступінчастої оправки глибина різання t може бути різною для кожної ріжучої пластини та змінювати своє значення за один розточної оправки. Залежність складових сили різання від режимів різання найточніше описують емпіричні степеневі рівняння:

$$P_{r1i} = V_1^{n_{1r}} S^{y_{1r}} t_i^{z_{1r}} K_t; \quad (2.1)$$

$$P_{r2i} = V_2^{n_{2r}} S^{y_{2r}} t_i^{z_{2r}} K_t; \quad (2.2)$$

$$P_{\tau1i} = V_1^{n_{1\tau}} S^{y_{1\tau}} t_i^{z_{1\tau}} K_t; \quad (2.3)$$

$$P_{\tau2i} = V_2^{n_{2\tau}} S^{y_{2\tau}} t_i^{z_{2\tau}} K_t; \quad (2.4)$$

$$P_{z1i} = V_1^{n_{1z}} S^{y_{1z}} t_i^{z_{1z}} K_t; \quad (2.5)$$

$$P_{z2i} = V_2^{n_{2z}} S^{y_{2z}} t_i^{z_{2z}} K_t, \quad (2.6)$$

де n_{1r} , n_{2r} , $n_{1\tau}$, $n_{2\tau}$, n_{1z} , n_{2z} – показники степені для швидкості різання при визначені радіальної, тангенціальної та осьової складових сили різання для першої та другої ступеней розточної оправки;

y_{1r} , y_{2r} , $y_{1\tau}$, $y_{2\tau}$, y_{1z} , y_{2z} – показники степені для подачі при визначені радіальної, тангенціальної та осьової складових сили різання для першої та другої ступеней розточної оправки;

z_{1r} , z_{2r} , $z_{1\tau}$, $z_{2\tau}$, z_{1z} , z_{2z} – показники степені для глибини різання при визначені радіальної, тангенціальної та осьової складових сили різання для першої та другої ступеней розточної оправки;

K_t - коефіцієнт, що визначає особливості геометрії ріжучих пластин.

Сумарні сили різання в площині, перпендикулярній осі обертання оправки:

$$P_{R1i} = \sqrt{P_{r1i}^2 + P_{\tau1i}^2}; \quad (2.7)$$

$$P_{R2i} = \sqrt{P_{r2i}^2 + P_{\tau2i}^2}. \quad (2.8)$$

Кут напрямку вектора сумарної сили різання в площині, перпендикулярній осі обертання оправки:

$$\xi_{1i} = \arctg \frac{P_{r1i}}{P_{\tau1i}}; \quad (2.9)$$

$$\xi_{2i} = \arctg \frac{P_{r2i}}{P_{\tau2i}}; \quad (2.10)$$

Кути проекції сумарної сили різання в площині, перпендикулярній осі обертання оправки:

$$\alpha_{11} = \alpha_{13} = \xi_{1i} - 90 + \gamma; \quad (2.11)$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{14} = \xi_{1i} + 90 - \gamma; \quad (2.12)$$

$$\alpha_{21} = \alpha_{23} = \xi_{2i} - 90 + \gamma + \varphi; \quad (2.13)$$

$$\alpha_{22} = \alpha_{24} = \xi_{2i} + 90 - \gamma - \varphi, \quad (2.14)$$

де γ - кут повороту ступінчастої розточної оправки;

φ - кут зміщення ріжучих пластин для оброблення отвору діаметром D_2 відносно ріжучих пластин для оброблення отвору діаметром D_1 .

Проекції сумарної сили різання в площині, перпендикулярній осі обертання оправки на вісь y :

$$P_{R1y} = P_{R11} \sin \alpha_{11} - P_{R12} \sin \alpha_{12} - P_{R13} \sin \alpha_{13} + P_{R14} \sin \alpha_{14}; \quad (2.15)$$

$$P_{R2y} = P_{R21} \sin \alpha_{21} - P_{R22} \sin \alpha_{22} - P_{R23} \sin \alpha_{23} + P_{R24} \sin \alpha_{24}. \quad (2.16)$$

Проекції сумарної сили різання в площині, перпендикулярній осі

обертання оправки на вісь x :

$$P_{R1x} = P_{R11} \cos \alpha_{11} + P_{R12} \cos \alpha_{12} - P_{R13} \cos \alpha_{13} - P_{R14} \cos \alpha_{14}; \quad (2.17)$$

$$P_{R2x} = P_{R21} \cos \alpha_{21} + P_{R22} \cos \alpha_{22} - P_{R23} \cos \alpha_{23} - P_{R24} \cos \alpha_{24}. \quad (2.18)$$

Диференціальне рівняння, що описує криву деформації середньої лінії оправки під час розточування одержано на основі відомого рівняння з опору матеріалів:

$$EI \frac{d^2 y}{dz^2} = M(z) - \left(\sum_{i=1}^N P_{z1i} + \sum_{i=1}^N P_{z2i} \right) \cdot y, \quad (2.19)$$

де E – модуль Юнга матеріалу розточної оправки;

I – момент інерції поперечного перерізу розточної оправки;

$M(z)$ – момент згину;

Визначаємо момент згину:

$$M(z) = \int_z^L P_{R2y} dz + \int_z^{L-b_1} P_{R2y} dz + M(0), \quad (2.20)$$

де L – відстань від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин для оброблення отвору діаметром D_2 ;

$M(0)=0$ – момент згину оправки в початковому перерізі;

b_1 – відстань від ріжучих пластин для оброблення отвору діаметром D_2 до ріжучих пластин для оброблення отвору діаметром D_1 .

Підставляючи рівняння (2.15), (2.16) у рівняння (2.20), одержано:

$$M(z) = \int_z^L (P_{R21} \sin \alpha_{21} - P_{R22} \sin \alpha_{22} - P_{R23} \sin \alpha_{23} + P_{R24} \sin \alpha_{24}) dz + \int_z^{L-b_1} (P_{R11} \sin \alpha_{11} - P_{R12} \sin \alpha_{12} - P_{R13} \sin \alpha_{13} + P_{R14} \sin \alpha_{14}) dz. \quad (2.21)$$

Підставляємо рівняння (2.21) в рівняння (2.19):

$$EI \frac{d^2 y}{dz^2} = \int_z^L (P_{R21} \sin \alpha_{21} - P_{R22} \sin \alpha_{22} - P_{R23} \sin \alpha_{23} + P_{R24} \sin \alpha_{24}) dz + \int_z^{L-b_1} (P_{R11} \sin \alpha_{11} - P_{R12} \sin \alpha_{12} - P_{R13} \sin \alpha_{13} + P_{R14} \sin \alpha_{14}) dz - \left(\sum_{i=1}^N P_{z1i} + \sum_{i=1}^N P_{z2i} \right) \cdot y, \quad (2.22)$$

Інтегрування рівняння (2.22):

$$EI \frac{d^2 y}{dz^2} = (P_{R21} \sin \alpha_{21} - P_{R22} \sin \alpha_{22} - P_{R23} \sin \alpha_{23} + P_{R24} \sin \alpha_{24})(L - z) + (P_{R11} \sin \alpha_{11} - P_{R12} \sin \alpha_{12} - P_{R13} \sin \alpha_{13} + P_{R14} \sin \alpha_{14})(L - b_1 - z) - \left(\sum_{i=1}^N P_{z1i} + \sum_{i=1}^N P_{z2i} \right) \cdot y. \quad (2.23)$$

Диференціальне рівняння (2.17) описує деформацію заготовки в напрямку осі y при статичних навантаженнях.

Диференціальне рівняння (2.23) описує криву деформації середньої лінії оправки під час розточування ступінчастого отвору в напрямку осі y при статичних навантаженнях.

Проводячи аналогічні перетворення знаходимо диференціальне рівняння, що описує криву деформації середньої лінії оправки під час розточування ступінчастого отвору в напрямку осі x :

$$EI \frac{d^2 x}{dz^2} = (P_{R21} \cos \alpha_{21} + P_{R22} \cos \alpha_{22} - P_{R23} \cos \alpha_{23} - P_{R24} \cos \alpha_{24})(L - z) + (P_{R21} \cos \alpha_{21} + P_{R22} \cos \alpha_{22} - P_{R23} \cos \alpha_{23} - P_{R24} \cos \alpha_{24})(L - b_1 - z) - \left(\sum_{i=1}^N P_{z1i} + \sum_{i=1}^N P_{z2i} \right) \cdot x. \quad (2.24)$$

Момент інерції поперечного перерізу розточної оправки круглої форми:

$$I = \frac{\pi D^4}{64}, \quad (2.25)$$

де D – діаметр поперечного перерізу оправки.

Диференціальні рівняння (2.23) та (2.24) можуть мати узагальнені розв'язки:

$$y = B_1 \sin(k_1 z) + B_2 \cos(k_1 z) + y^*, \quad (2.26)$$

$$x = B_3 \sin(k_2 z) + B_4 \cos(k_2 z) + x^*, \quad (2.27)$$

де B_1, B_2, B_3, B_4 – коефіцієнти, що залежать від граничних умов;

y^*, x^* – часткові розв'язки рівнянь;

k_1, k_2 – частотні характеристики.

Початкові умови для рівнянь (2.23) та (2.24):

$$\text{при } z=0: y=0, \frac{dy}{dz} = 0, x=0, \frac{dx}{dz} = 0.$$

Відхилення від круглості розточеного отвору:

$$\Delta r = y - x. \quad (2.28)$$

Загальна деформація розточної оправки:

$$u = \sqrt{y^2 + x^2}. \quad (2.29)$$

Розв'язки диференціальних рівнянь (2.23) та (2.24) аналітичним методом є складними та громіздкими, тому такі рівняння розв'язано чисельним методом Рунге-Кутта, використовуючи прикладне програмне забезпечення. Результати розв'язків представлено у вигляді графіків на рис. 2.2 та 2.3.

На графіку рисунка 2.2 представлено вигляд середньої лінії деформованої розточної оправки при розточуванні ступінчастого отвору при різних значеннях відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин для оброблення отвору діаметром D_2 . При збільшенні значення відстані L від 200 мм (крива 3) до 300 мм (крива 1) для однакових сил різання відбувається деформація розточної оправки у напрямку осі y від 0,014 мм до 0,044 мм і загальний прогин становить 0,03 мм. Тому використання розточної оправки із більшою відстанню L від місця закріплення розточної оправки у

шпинделі до ріжучих пластин для оброблення отвору діаметром D_2 знижує точність оброблення отвору.

На графіку рисунка 2.3 представлено вигляд середньої лінії деформованої розточної оправки при розточуванні ступінчастого отвору при різних значеннях діаметра D поперечного перерізу оправки.

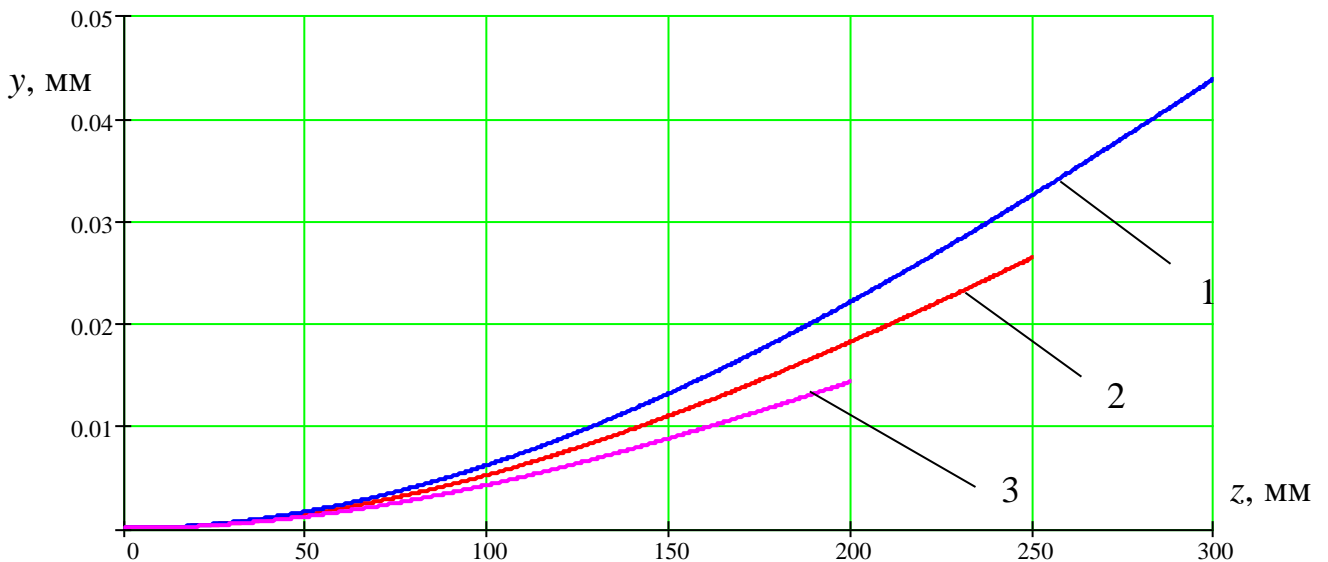


Рисунок 2.2 – Графіки середньої лінії деформації розточної оправки при розточуванні ступінчастого отвору 1) $L=300$ мм; 2) $L=250$ мм; 3) $L=200$ мм

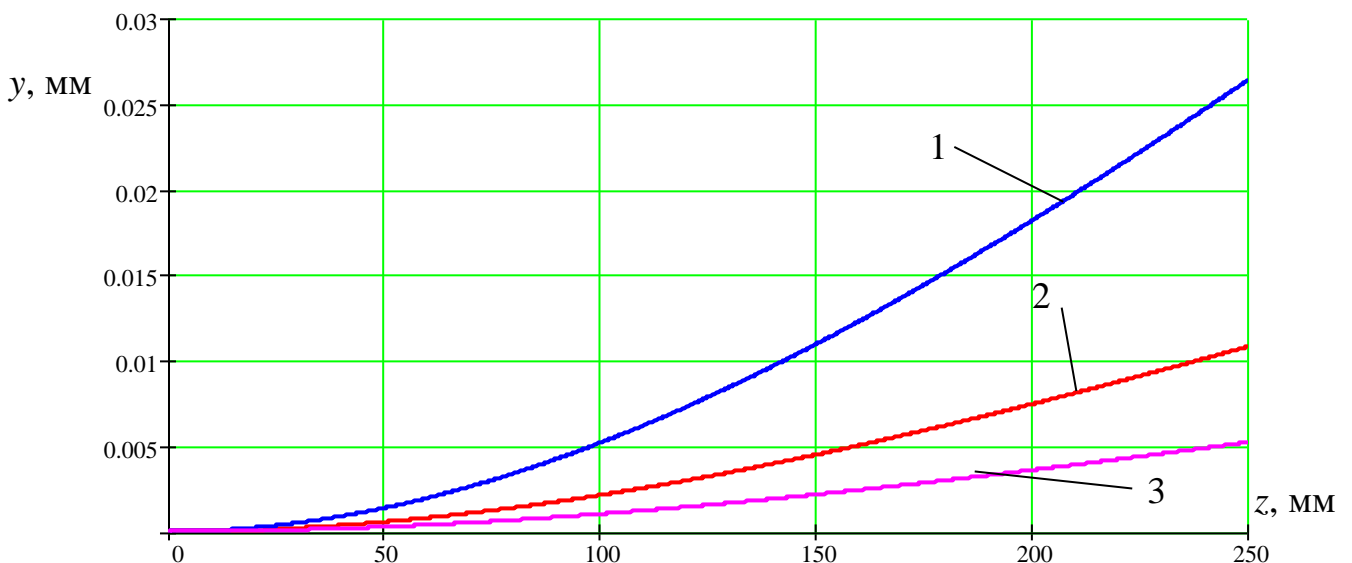


Рисунок 2.3 – Графіки середньої лінії деформації розточної оправки при розточуванні ступінчастого отвору 1) $D=40$ мм; 2) $D=50$ мм; 3) $D=60$ мм

При збільшенні значення діаметра D поперечного перерізу оправки від 40 мм (крива 1) до 60 мм (крива 3) для однакових силх різання відбувається деформація розточної оправки у напрямку осі y від 0,0252 мм до 0,005 мм і загальний прогин становить 0,0202 мм. Тому використання розточної оправки із більшим діаметром D поперечного перерізу оправки підвищує точність оброблення отвору.

Реальне значення величин деформації ступінчастої оправки в процесі розточування ступінчастого утвору визначаються динамічними навантаженнями. Тому результати розрахунків при статичних навантаженнях перемножуються на коефіцієнт динамічності, а при інженерних розрахунках додатково використовується коефіцієнт запасу.

2.2. Результати експериментальних досліджень твердості зміцненої різьбової поверхні

Для перевірки адекватності диференціального рівняння (2.23) та його розв'язку чисельним методом проведено експериментальні дослідження величини максимальної деформації Δu розточної оправки, представленої на рис. 2.1, при дії зовнішнього навантаження. Навантаження на розточну оправку здійснювалось за допомогою мірних вантажів. Вимірювання деформації Δu виконувалось за допомогою індикатора годинникового типу. Під час експериментів здійснювалось варіювання трьох основних факторів: відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до різучих пластин, діаметра D поперечного перерізу оправки та зовнішнього навантаження P .

Для проведення досліджень виготовлено три розточні оправки із сталі 45, що закріплювались у шпинделі токарного верстата із різною величиною вильоту.

Для визначення взаємозв'язку основних змінних конструктивних і силових факторів (незалежних факторів x_i) та величини максимальної деформації розточної оправки (параметр оптимізації Δu) проведено серію

експериментальних досліджень.

Фактори змінювались на нижньому, верхньому та нульовому рівнях. На основі попередніх досліджень і можливостей фіксації деформації оправки встановлено, що основними змінними факторами, які впливають на величини максимальної деформації розточної оправки ϵ : відстань L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин, діаметр D поперечного перерізу оправки та зовнішнє навантаження P тобто $\Delta y = f(L, D, P)$.

Функцію $\Delta y = f(L, D, P)$ апроксимовано у вигляді полінома другого порядку після обробки даних експериментів методами статистики з визначенням дисперсій та коефіцієнтів рівняння регресії. Границі варіювання основних факторів експерименту представлено у таблиці 2.1, де:

- L - відстань від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин, яку кодували індексом x_1 ;
- D - діаметр поперечного перерізу оправки, який кодували індексом x_2 ;
- зовнішнє навантаження P , яке кодували індексом x_3 .

Таблиця 2.1 - Границі варіювання основних факторів експерименту при дослідженні величини максимальної деформації розточної оправки

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Відстань від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин	L , мм	x_1	50	300 (+1)	250 (0)	200 (-1)
Діаметр поперечного перерізу оправки	D , мм	x_2	5	50 (+1)	45 (0)	40 (-1)
Зовнішнє навантаження	P , Н	x_3	100	600 (+1)	500 (0)	400 (-1)

Коефіцієнти рівняння регресії подано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коеф.	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Сталь 45	0,033	0,028	-0,036	0,025	-0,02	0,015	-0,018	0,0044	0,015	0,00094

Загальний вигляд рівняння регресії величини максимальної деформації розточної оправки залежно від зміни: відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин, діаметра D поперечного перерізу оправки та зовнішнього навантаження P , тобто $\Delta y_{(x_1, x_2, x_3)} = f(L, D, P)$ за результатами експериментів у кодованих величинах дорівнює:

$$\Delta y_{(x_1, x_2, x_3)} = 0,033 + 0,028x_1 - 0,036x_2 + 0,025x_3 - 0,02x_1x_2 + 0,015x_1x_3 - (2.30) \\ - 0,018x_2x_3 + 0,0044x_1^2 + 0,015x_2^2 + 0,00094x_3^2,$$

де x_1 - кодоване значення відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин; x_2 - кодоване значення діаметра D поперечного перерізу оправки; x_3 - кодоване значення зовнішнього навантаження P .

Усі коефіцієнти рівняння регресії із таблиці 2.2 є значущими.

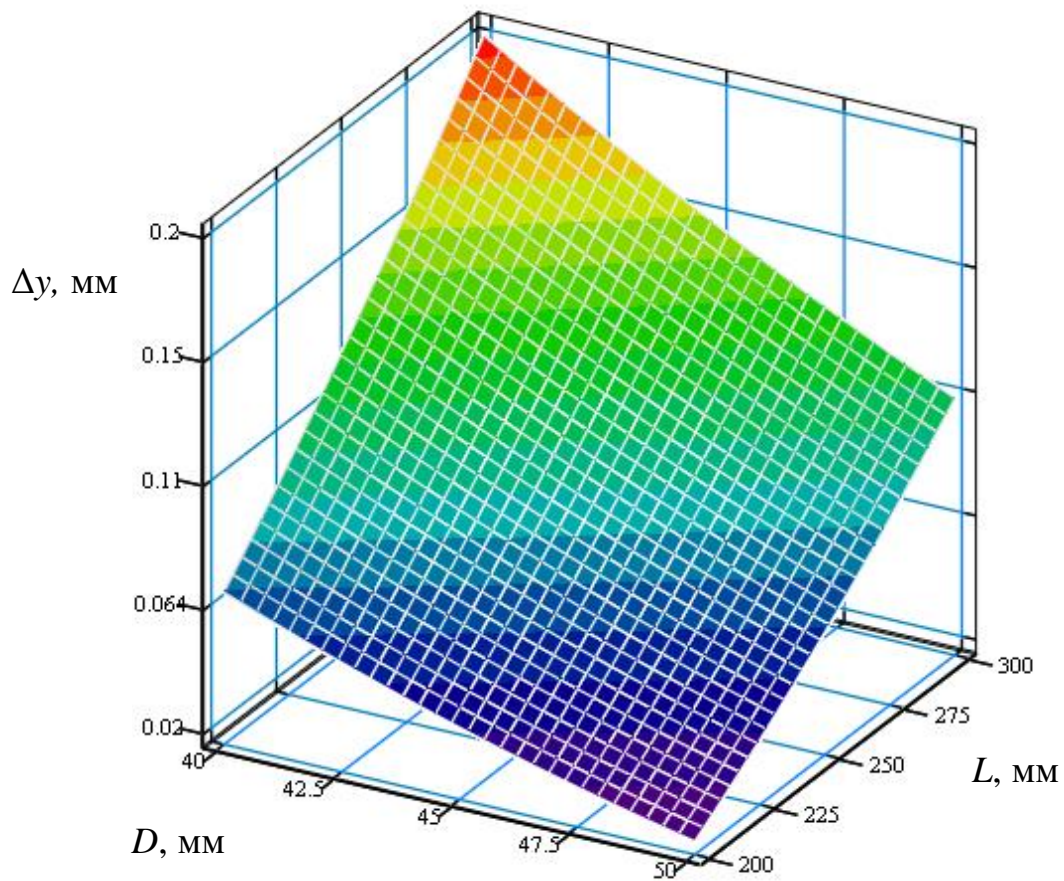
Кодоване рівняння регресії (2.30) представлено у натуральних величинах:

$$\Delta y_{(L, D, P)} = 0,18 + 0,001L - 0,005D + 0,00018P - 4 \cdot 10^{-5}LD + (2.31) \\ + 1,5 \cdot 10^{-6}LP - 9 \cdot 10^{-6}DP + 1,76 \cdot 10^{-6}L^2 + 1,5 \cdot 10^{-4}D^2 + 2,38 \cdot 10^{-8}P^2.$$

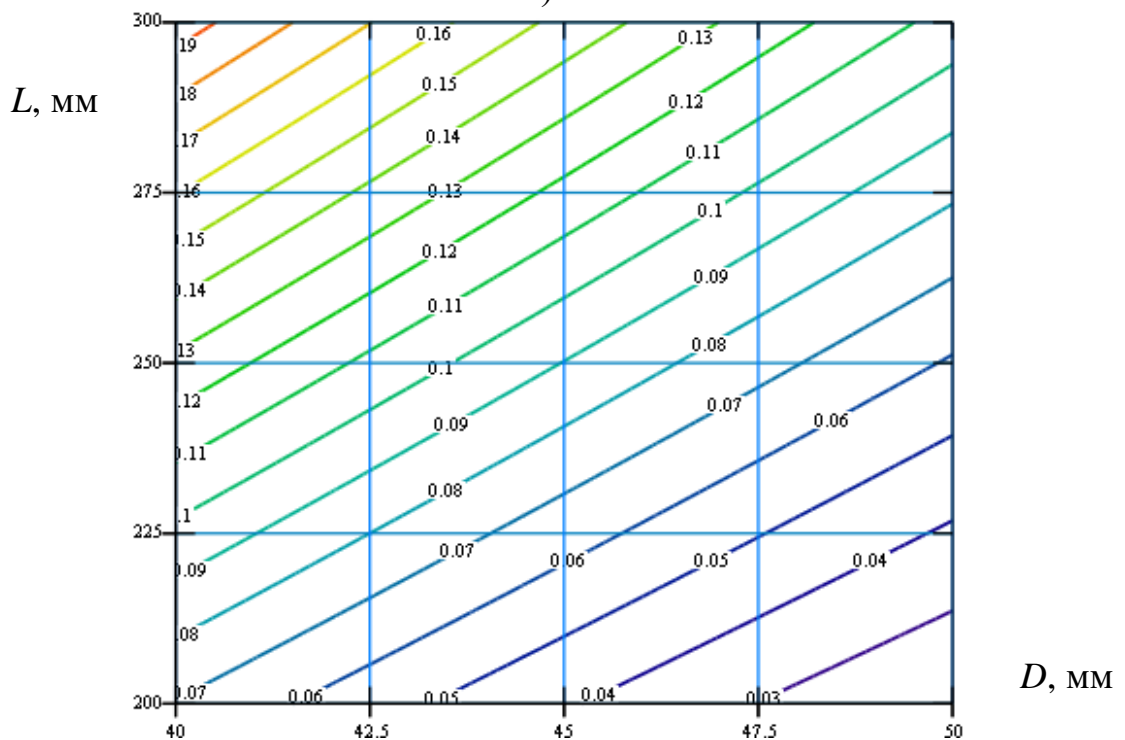
Одержані рівняння регресії (2.18) і (2.19) у кодованих та натуральних величинах адекватно визначають величину деформації розточної оправки у таких граничних значеннях:

$$200 \leq L \leq 300 \text{ (мм)}; 20 \leq D \leq 60 \text{ (мм)}; 40 \leq P \leq 80 \text{ (Н)}.$$

На основі рівняння (2.31) побудовано поверхні відгуку та їх двомірні перерізи залежності величини максимальної деформації розточної оправки, що представлені на рисунках 2.4 – 2.9.



a)



б)

Рисунок 2.4 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини максимальної деформації розточної оправки від відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин та діаметра D поперечного перерізу оправки ($P=600\text{H}$)

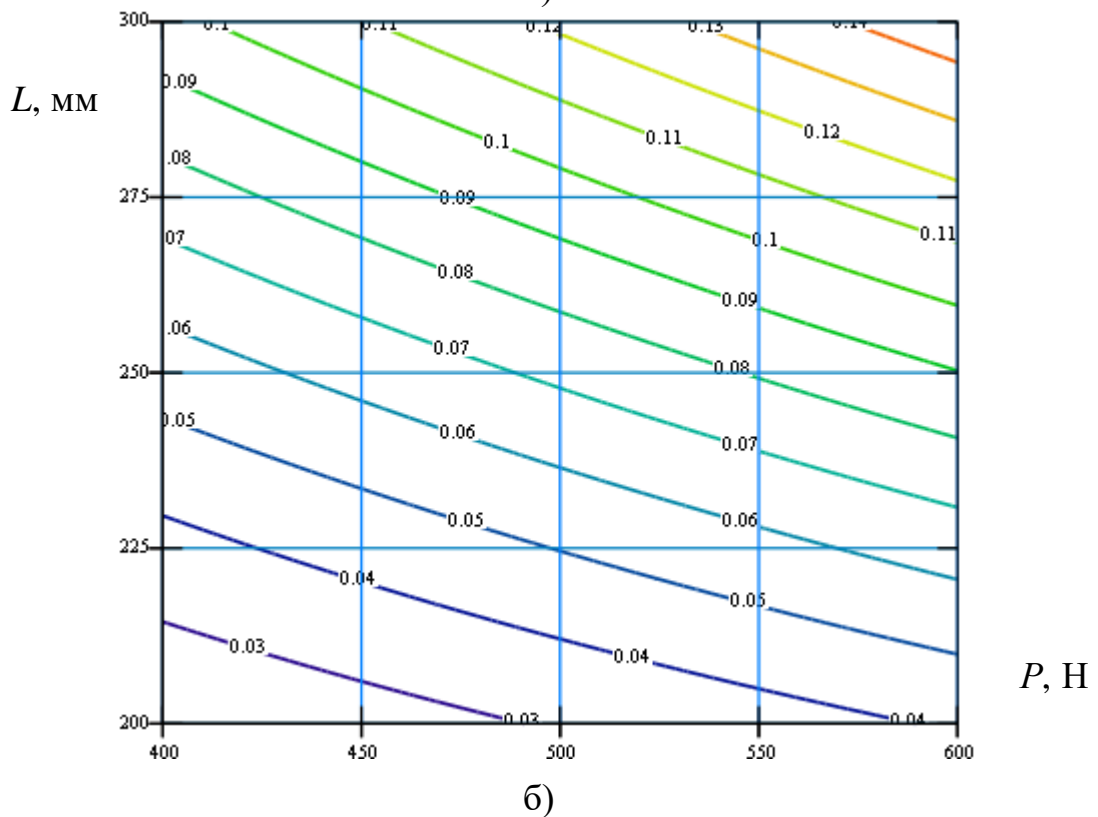
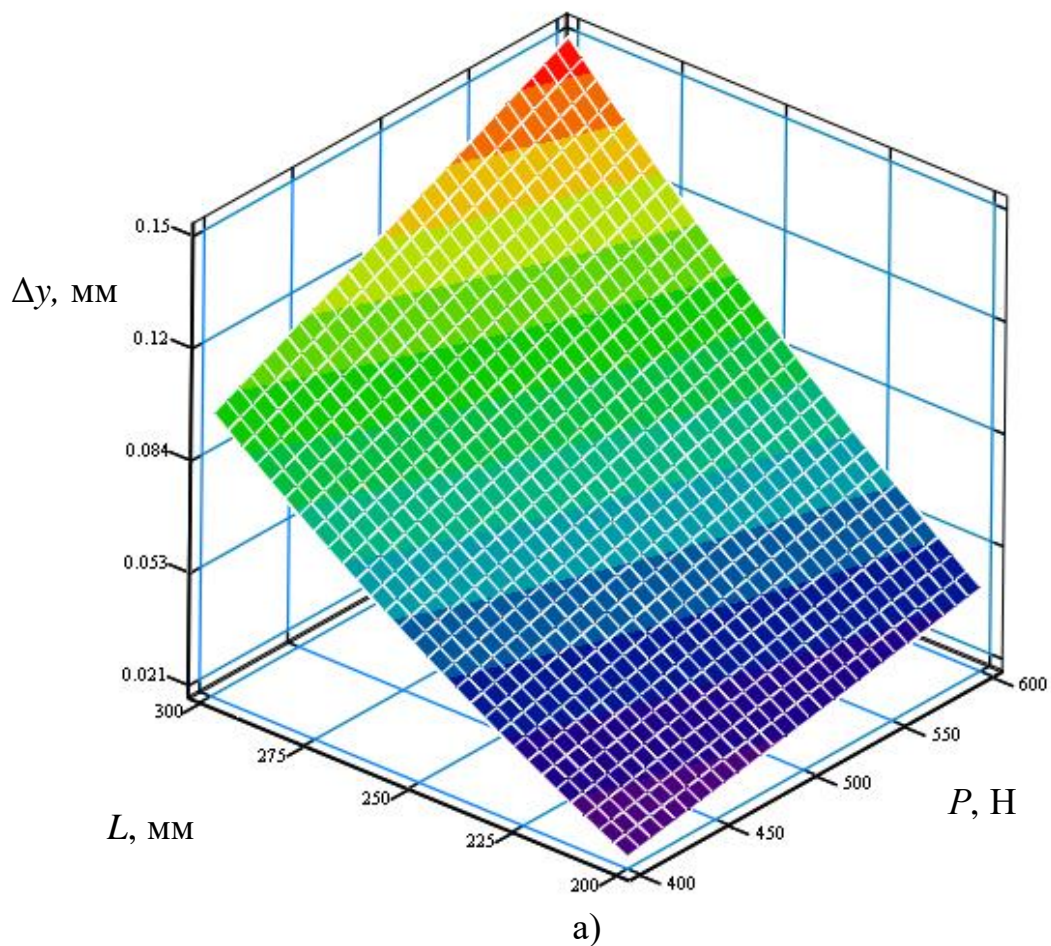
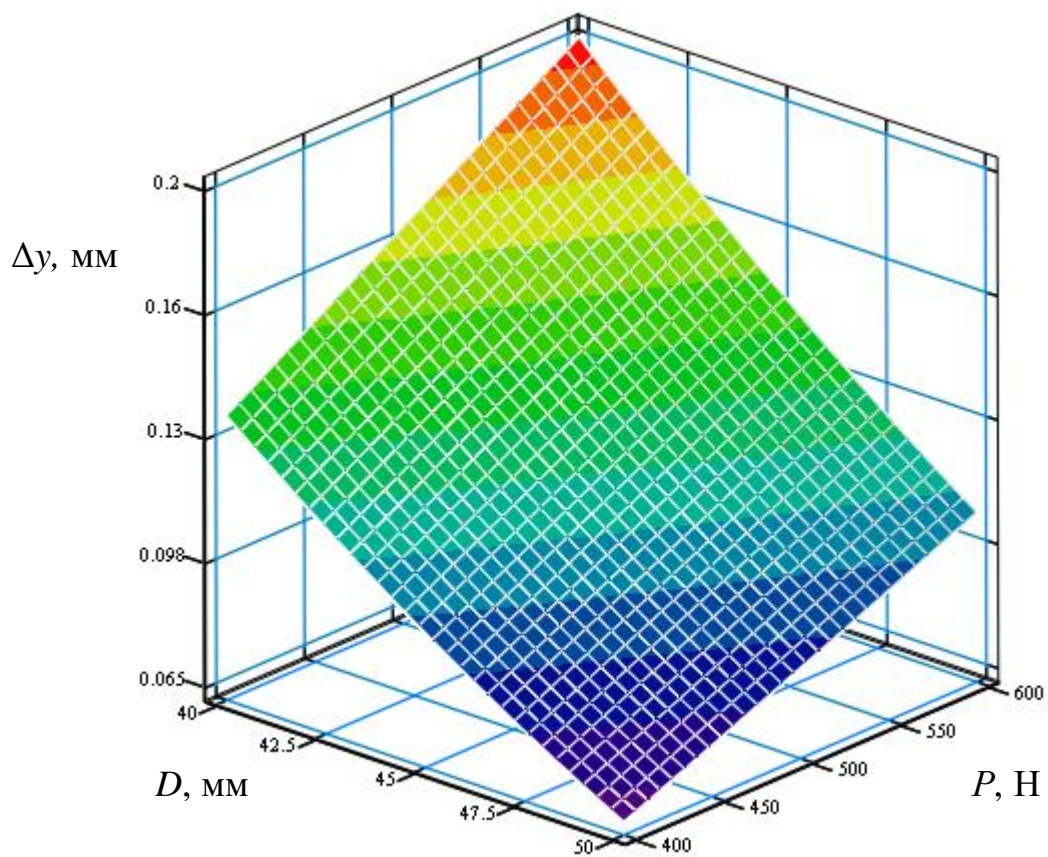
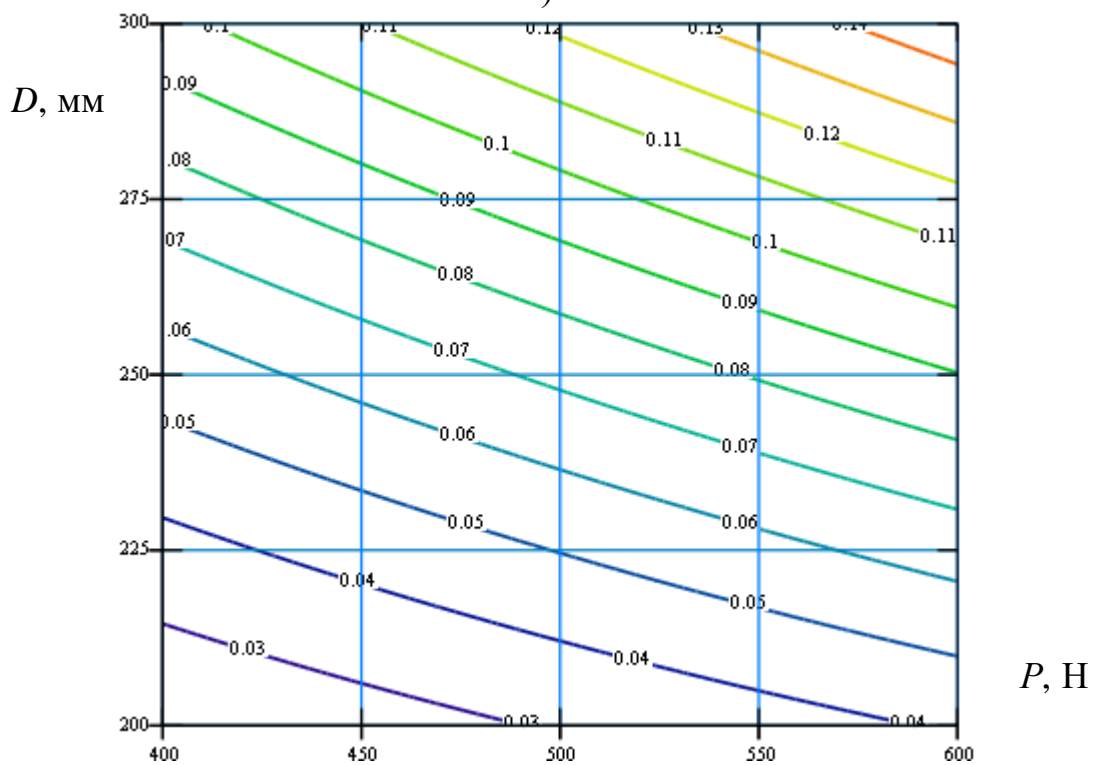


Рисунок 2.5 - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини максимальної деформації розточної оправки від відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин та зовнішнього навантаження P ($D=45\text{мм}$)



а)



б)

Рисунок 2.6 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини максимальної деформації розточної оправки від діаметра D поперечного перерізу оправки та зовнішнього навантаження P ($L=300\text{мм}$)

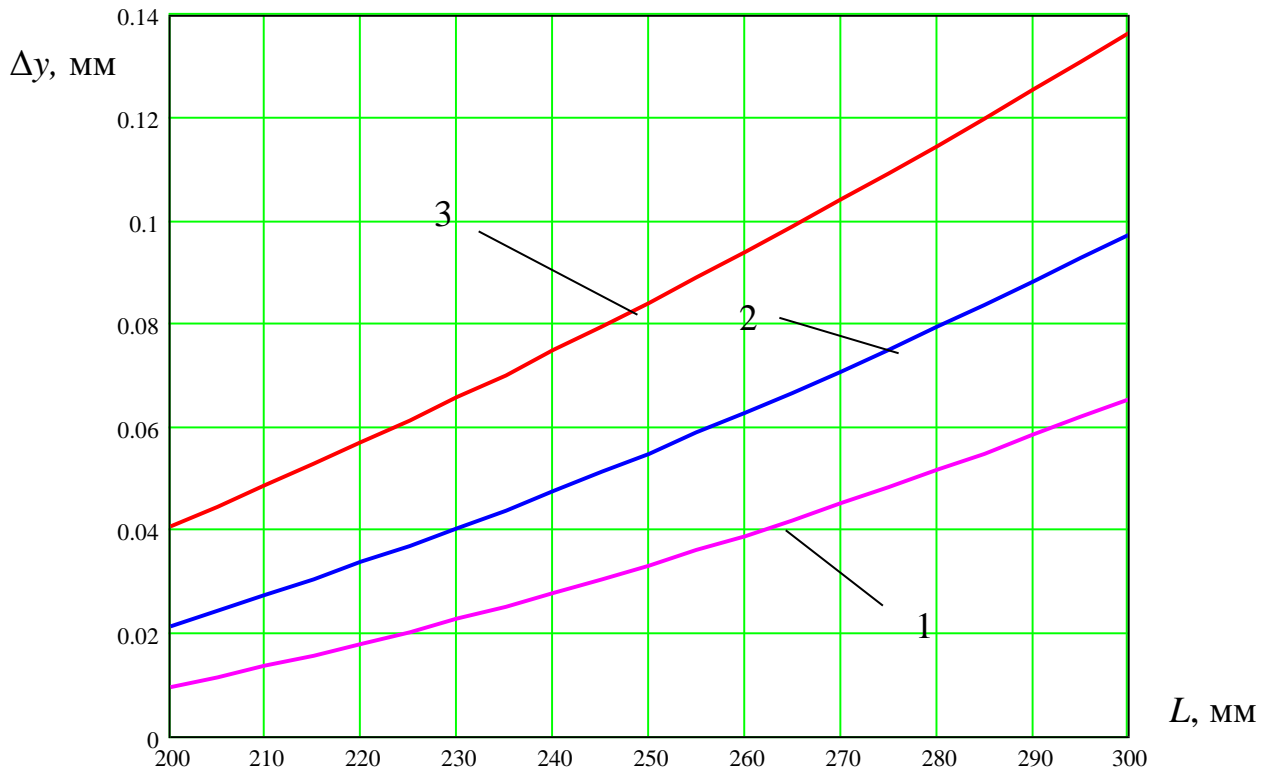


Рисунок 2.7 – Графіки залежності величини максимальної деформації розточної оправки від відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин: $P=400\text{Н}$: 1) $D = 40$ мм; 2) $D = 45$ мм; 3) $D = 50$ мм

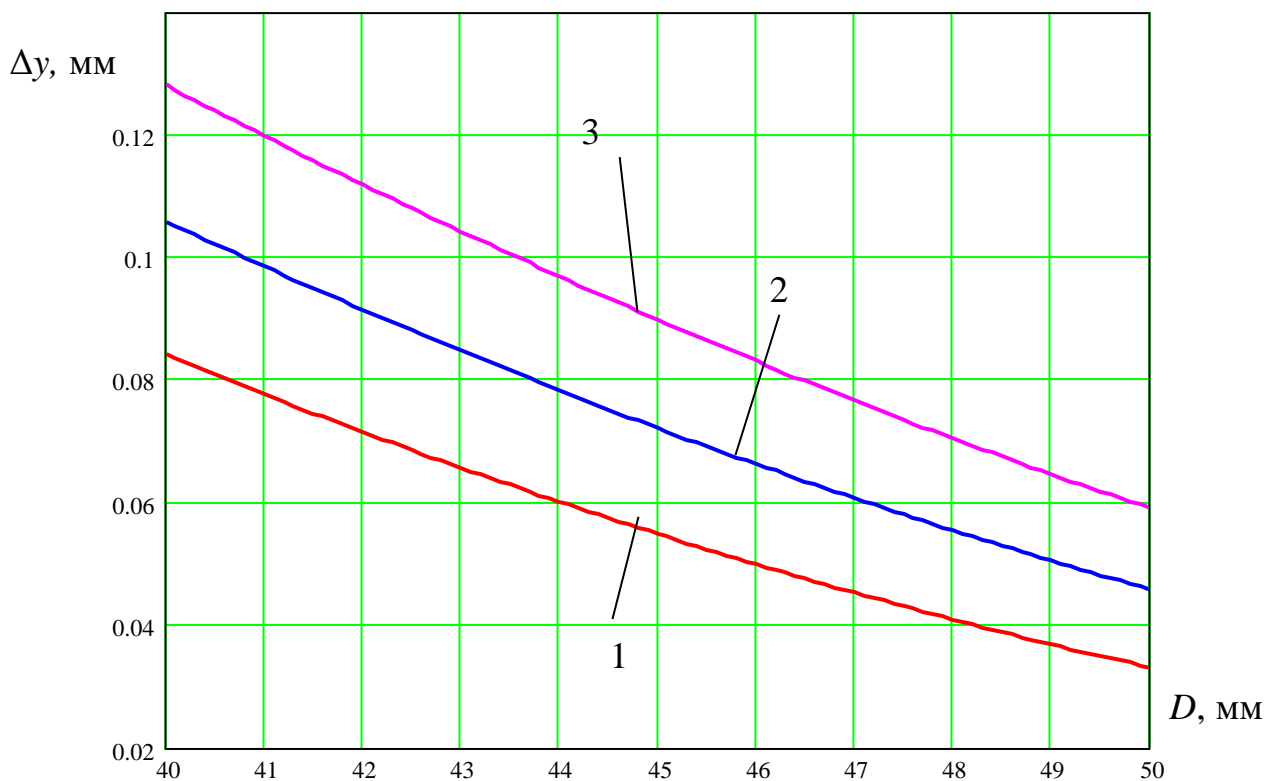


Рисунок 2.8 – Графіки залежності величини максимальної деформації розточної оправки від діаметра D поперечного перерізу оправки: $L=250\text{мм}$: 1) $P=400\text{Н}$; 2) $P=500\text{Н}$; 3) $P=600\text{Н}$

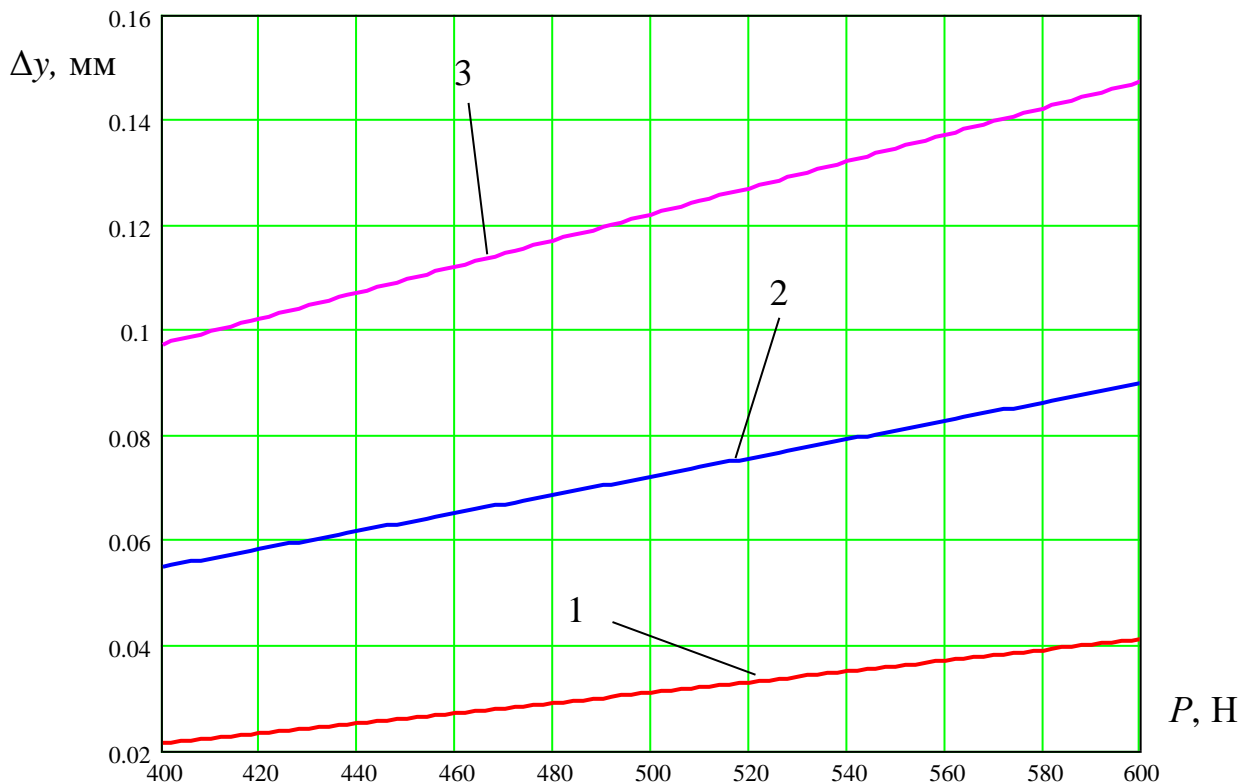


Рисунок 2.9 – Графіки залежності величини максимальної деформації розточної оправки від зовнішнього навантаження P : $D=45$ мм:
 1) $L=200$ мм; 2) $L=250$ мм; 3) $L=300$ мм

На основі рівнянь регресії (2.30), (2.31) та графіків рисунків 2.4-2.9 визначено, що найбільший вплив на величину максимальної деформації розточної оправки має діаметр D поперечного перерізу оправки, а найменший вплив має зовнішнє навантаження P . При збільшенні відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин, зовнішнього навантаження P максимальна деформація розточної оправки зростає, а при збільшенні діаметра D поперечного перерізу оправки – спадає.

Максимальне значення деформації розточної оправки становить 0,19 мм, а мінімальне – 0,01 мм. Збільшення відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин від 200 мм до 300 мм призводить до зростання деформації розточної оправки на 80%. Збільшення діаметра D поперечного перерізу оправки від 40 мм до 50 мм призводить до зменшення деформації розточної оправки на 62%, а збільшення зовнішнього

навантаження P від 400 Н до 600 Н призводить до зростання деформації розточної оправки на 33%.

2.3. Висновки

У розділі проведено дослідження величини деформації багатолезової оправки для розточування ступінчастого отвору. Виведено диференціальне рівняння, що описує криву деформації середньої лінії оправки під час розточування. Рівняння розв'язано чисельним методом Рунге-Кутта, використовуючи прикладне програмне забезпечення. Результати розв'язків представлено у вигляді графіків.

При збільшенні значення відстані L від 200 мм до 300 мм для однакових силах різання відбувається деформація розточної оправки у напрямку осі y від 0,014 мм до 0,044 мм і загальний прогин становить 0,03 мм. Тому використання розточної оправки із більшою відстанню L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин для оброблення отвору діаметром D_2 знижує точність оброблення отвору.

При збільшенні значення діаметра D поперечного перерізу оправки від 40 мм до 60 мм при однакових силах різання відбувається деформація розточної оправки у напрямку осі y від 0,0252 мм до 0,005 мм і загальний прогин становить 0,0202 мм. Тому використання розточної оправки із більшим діаметром D поперечного перерізу оправки підвищує точність оброблення отвору.

Реальне значення величин деформації ступінчастої оправки в процесі розточування ступінчастого отвору визначаються динамічними навантаженнями.

Проведено експериментальні дослідження величини максимальної деформації Δu розточної оправки залежно від: відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин, діаметра D поперечного перерізу оправки та зовнішнього навантаження P .

Визначено, що найбільший вплив на величину максимальної деформації розточної оправки має діаметр D поперечного перерізу оправки, а найменший вплив має зовнішнє навантаження P . При збільшенні відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин, зовнішнього навантаження P максимальна деформація розточної оправки зростає, а при збільшенні діаметра D поперечного перерізу оправки – спадає.

Максимальне значення деформації розточної оправки становить 0,19 мм, а мінімальне – 0,01 мм. Збільшення відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин від 200 мм до 300 мм призводить до зростання деформації розточної оправки на 80%. Збільшення діаметра D поперечного перерізу оправки від 40 мм до 50 мм призводить до зменшення деформації розточної оправки на 62%, а збільшення зовнішнього навантаження P від 400 Н до 600 Н призводить до зростання деформації розточної оправки на 33%.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Кільце” 714252.059 входить до складу прожектора, призначеного для освітлення стадіонів.

Основними поверхнями деталі є: внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 236H9^{(+0,115)}$; Ra2,5 – призначена для встановлення алюмінієвого відбивача; два отвори $\varnothing 8H7^{(+0,015)}$, Ra0,8 є посадочною поверхнею (встановлення вісі); чотири різеві отвори M4-7H; $6\pm 0,3$; $24\pm 0,2$; Ra 6,3 – кріплення двох замків, які з'єднують кільце з кришкою прожектора; два різеві отвори M12-7H; $30\pm 0,1$; 28; Ra 6,3 – кріплення ліри; чотири різеві отвори M4-7H; $20\pm 0,2$; $268\pm 0,6$; Ra 6,3 – для кріплення планки; два різеві отвори M4-7H; $44,5\pm 0,2$; 8min; Ra 6,3 – для кріплення клемної колодки; отвір $\varnothing 20,5H14^{(+0,52)}$, Ra25 – встановлення сальника з ізоляційною трубкою, всередині якої проведені струмопровідні проводи; два різеві отвори M8-7H; 18; Ra 6,3 – для кріплення оптичного пристрою, який призначений для точного наведення прожектора в розрахункову точку.

Аналіз технічних вимог представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз технічних вимог

Номер поверхні	Назва поверхні	Квалітет	Шорсткість
1	2	3	4
1	Торцева поверхня 60	Отримується литтям і не підлягає мех. обробці	Rz50
2	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 236H9^{(+0,115)}$	9	Ra2,5
3	Фаска внутрішня $3\times 30^\circ$	14	Ra12,5

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
4	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 270$	Отримується литтям і не підлягає мех. обробці	Rz50
5, 6	Отвір глухий $\varnothing 3,3^{+0,12}$ під різь М4-7Н; $l=12^{+1,0}$; $44,5\pm 0,2$	12	Ra6,3
7, 8, 12, 18,19,20, 21,30,31, 32,33	Фаска внутрішня $0,5\times 45^\circ$	14	Ra12,5
9,10	Різовий глухий отвір М4-7Н; 8min; $44,5\pm 0,2$	12	Ra6,3
11	Отвір глухий $\varnothing 3,3^{+0,12}$ під різь М4-7Н; $l=12^{+1,0}$; $18\pm 0,1$; $15\pm 0,1$	12	Ra6,3
13	Різовий глухий отвір М4-7Н; 8min; $18\pm 0,1$; $15\pm 0,1$	12	Ra6,3
14,15,16, 17	Отвір глухий $\varnothing 3,3^{+0,12}$ під різь М4-7Н; $l=14^{+1,1}$; $268\pm 0,6$; $20\pm 0,2$	12	Ra6,3
22,23,24, 25	Різовий глухий отвір М4-7Н; 10min; $268\pm 0,6$; $20\pm 0,2$	12	Ra6,3
26,27,28, 29	Отвір глухий $\varnothing 3,3^{+0,12}$ під різь М4-7Н; $l=14^{+1,1}$; $154\pm 0,3$; $136\pm 0,5$; $6\pm 0,3$	12	Ra6,3
34,35,36, 37	Різовий глухий отвір М4-7Н; 10min; $154\pm 0,3$; $136\pm 0,5$; $6\pm 0,3$	12	Ra6,3
38,39	Отвір глухий $\varnothing 6,75^{+0,26}$; $l=14^{+1,1}$ під різь М8-7Н $18\pm 0,2$	13	Ra12,5
40,41	Фаска внутрішня $1\times 45^\circ$	14	Ra12,5
42,43	Різовий глухий отвір М8-7Н; 10min; $18\pm 0,2$	13	Ra6,3
44,45	Отвір наскрізний $\varnothing 10,25^{+0,36}$ під різь М12-7Н; $30\pm 1,0$	14	Ra12,5
46,47	Фаска внутрішня $1,5\times 45^\circ$	14	Ra12,5
48,49	Різовий наскрізний отвір М12-7Н; $30\pm 1,0$	13	Ra6,3
50,51	Отвір наскрізний $\varnothing 8^{+0,015}$; $120^{+0,5}$; $157\pm 0,2$	7	Ra0,8
52	Отвір наскрізний $\varnothing 20^{+0,52}$; $18,5\pm 0,26$; $38,5\pm 0,31$.	14	Ra25

3.2. Вибір способу одержання заготовки

Для формування технології виготовлення кільця 714252.059 із алюмінієвого сплаву АК12, провели порівняння двох способів виготовлення заготовки:

1) лиття у піщані форми;

2) лиття під тиском.

Для розрахунку коефіцієнтів використання матеріалів заготовок спочатку визначали їх масу за формулою:

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

$q = 1,37$ кг - маса деталі;

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

Для розрахунків маси припусків використано дані із таблиці 3.2.

Об'єми припусків:

- лиття у піщані форми

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (236^2 - 222^2) \cdot 9}{4} = 48070,3 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot 3,3^2 \cdot 12}{4} \cdot 3 = 307,8 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot 3,3^2 \cdot 14}{4} \cdot 8 = 957,5 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot 10,25^2 \cdot 27,5}{4} \cdot 2 = 4536,1 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр5}} = \frac{\pi \cdot 8^2 \cdot 10}{4} \cdot 2 = 1004,8 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр6}} = \frac{\pi \cdot 20^2 \cdot 2,5}{4} = 785 \text{ мм}^3.$$

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

$$V_{\text{пр1}} = 48070,3 + 307,8 + 957,5 + 4536,1 + 1004,8 + 85 = 54961,5 \text{ мм}^3 = 55 \text{ см}^3.$$

Таблиця 3.2 – Припуски кільця 714252.059

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5
1) лиття в піщані форми				
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 236\text{H9}^{(+0,115)}$	Ra12,5	7,0	$7,0 \times 2 = 14,0$	$\varnothing 222 \pm 3,5$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 296$	Rz200	8,0	–	$\varnothing 296 \pm 4,0$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 270$	Rz200	8,0	–	$\varnothing 270 \pm 4,0$
Зовнішня радіусна поверхня R140	Rz200	6,4	–	$R140 \pm 3,4$
Торцева поверхня 45	Rz200	5,0	–	$45 \pm 2,5$
Торцева поверхня 41	Rz200	5,0	–	$41 \pm 2,5$
Торцева поверхня 70	Rz200	5,6	–	$70 \pm 2,8$
Три отвори глухі $\varnothing 3,3^{+0,12}$ під різь М4-7Н; $l = 12^{+1,0}$	Ra6,3	–	–	Суцільний матеріал
Вісім отворів глухих $\varnothing 3,3^{+0,12}$ під різь М4-7Н; $l = 14^{+1,1}$	Ra6,3	–	–	Суцільний матеріал
Два отвори глухі $\varnothing 6,75^{+0,26}$; $l = 14^{+1,1}$ під різь М8-7Н	Ra12,5	–	–	Суцільний матеріал
Два отвори наскрізні $\varnothing 10,25^{+0,36}$ під різь М8-7Н	Ra12,5	–	–	Суцільний матеріал
Два отвори наскрізні $\varnothing 8^{+0,015}$; $l = 10$	Ra0,8	–	–	Суцільний матеріал
Отвір наскрізний $\varnothing 20^{+0,52}$; $l = 2,5$	Ra25	–	–	Суцільний матеріал
Торцева поверхня 37	Rz200	4,4	–	$37 \pm 2,2$

Закінчення таблиці 3.2

1	2	3	4	5
Внутрішня пазова поверхня 15	Rz200	3,6	–	15±1,8
Торцева поверхня 125	Rz200	6,4	–	125±3,2
Торцева поверхня 99,5	Rz200	5,6	–	99,5±2,8
Торцева поверхня 360	Rz200	8,0	–	360±4,0
2) лиття під тиском				
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 236H9^{(+0,115)}$	Ra12,5	1,4	$1,6 \times 2 = 3,2$	$\varnothing 232,8 \pm 0,7$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 296$	Rz50	1,6	–	$\varnothing 296 \pm 0,8$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 270$	Rz50	1,6	–	$\varnothing 270 \pm 0,8$
Зовнішня радіусна поверхня R140	Rz50	1,2	–	$R140 \pm 0,6$
Торцева поверхня 45	Rz50	1,0	–	45±0,5
Торцева поверхня 41	Rz50	1,0	–	41±0,5
Торцева поверхня 70	Rz50	1,1	–	70±0,55
Три отвори глухі $\varnothing 3,3^{+0,12}$ під різь М4-7Н; $l = 12^{+1,0}$	Ra6,3	–	–	Суцільний матеріал
Вісім отворів глухих $\varnothing 3,3^{+0,12}$ під різь М4-7Н; $l = 14^{+1,1}$	Ra6,3	–	–	Суцільний матеріал
Два отвори глухі $\varnothing 6,75^{+0,26}$; $l = 14^{+1,1}$ під різь М8-7Н	Ra12,5	–	–	Суцільний матеріал
Два отвори наскрізні $\varnothing 10,25^{+0,36}$ під різь М8-7Н	Ra12,5	–	–	Суцільний матеріал
Два отвори наскрізні $\varnothing 8^{+0,015}$; $l = 10$	Ra0,8	–	–	Суцільний матеріал
Отвір наскрізний $\varnothing 20^{+0,52}$; $l = 2,5$	Ra25	–	–	Суцільний матеріал
Торцева поверхня 37	Rz50	0,9	–	37±0,45
Внутрішня пазова поверхня 15	Rz50	0,7	–	15±0,35
Торцева поверхня 125	Rz50	1,2	–	125±0,6
Торцева поверхня 99,5	Rz50	1,1	–	99,5±0,55
Торцева поверхня 360	Rz50	1,6	–	360±0,8

- ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ:

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (236^2 - 232,8^2) \cdot 9}{4} = 10743,3 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot 3,3^2 \cdot 12}{4} \cdot 3 = 307,8 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot 3,3^2 \cdot 14}{4} \cdot 8 = 957,5 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot 10,25^2 \cdot 27,5}{4} \cdot 2 = 4536,1 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр5}} = \frac{\pi \cdot 8^2 \cdot 10}{4} \cdot 2 = 1004,8 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр6}} = \frac{\pi \cdot 20^2 \cdot 2,5}{4} = 785 \text{ мм}^3.$$

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

$$V_{\text{пр2}} = 10743,3 + 307,8 + 957,5 + 4536,1 + 1004,8 + 85 = 17634,5 \text{ мм}^3 = 17,6 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

– лиття у піщані форми:

$$m_{\text{пр1}} = 55 \cdot 2,6 = 143 \text{ г} = 0,143 \text{ кг}.$$

– лиття під тиском:

$$m_{\text{пр2}} = 17,6 \cdot 2,6 = 45,76 \text{ г} = 0,05 \text{ кг}.$$

Визначаємо маси заготовок:

– лиття у піщані форми:

$$Q_1 = 1,37 + 0,143 = 1,513 \text{ кг}.$$

– лиття під тиском:

$$Q_2 = 1,37 + 0,05 = 1,42 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

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

– лиття у піщані форми:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{1,37}{1,513} = 0,9.$$

– лиття під тиском:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{1,37}{1,42} = 0,95.$$

Для литва під тиском коефіцієнт використання матеріалу є вищим ніж при литві у піщані форми, при цьому забезпечується краща якість поверхні, тому для розроблення технологічного процесу вибрано спосіб литва під тиском.

3.3. Формування технологічного процесу

Варіанти маршрутів виготовлення кільця 714252.059 представлено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Варіанти маршрутів виготовлення кільця 714252.059

№ пов.	Вид поверхні, позначення	Вихідні параметри деталі		Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь	
		Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	1	2
1	2	3	4	5	6
1	Торцева поверхня 60	7 ступінь точності вилівка	Rz50	Отримується литтям і не підлягає мех. обробці	–
2	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 236\text{H9}^{(+0,115)}$	9	Ra2,5	Розточування напівчистове Розточування чистове	–

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
3	Фаска внутрішня 3×30°	14	Ra12,5	Розточування напівчистове	–
4	Зовнішня циліндрична поверхня Ø270	7 ступінь точності виливка	Rz50	Отримується литтям і не підлягає мех. обробці	–
5, 6	Отвір глухий Ø3,3 ^{+0,12} під різь М4-7Н; l=12 ^{+1,0} ; 44,5±0,2	12	Ra6,3	Центрування Свердління на верстаті з ЧПК	Свердління по кондуктору
7, 8, 12, 18, 19, 20, 21, 30, 31, 32, 33	Фаска внутрішня 0,5×45°	14	Ra12,5	Зенкування	Отримується комбінованим інструментом – свердлом-зенківкою
9,10	Різовий глухий отвір М4-7Н; 8min; 44,5±0,2	12	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	–
11	Отвір глухий Ø3,3 ^{+0,12} під різь М4-7Н; l=12 ^{+1,0} ; 18±0,1; 15±0,1	12	Ra6,3	Центрування Свердління на верстаті з ЧПК	Свердління по кондуктору
13	Різовий глухий отвір М4-7Н; 8min; 18±0,1; 15±0,1	12	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	–
14, 15, 16, 17	Отвір глухий Ø3,3 ^{+0,12} під різь М4-7Н; l=14 ^{+1,1} ; 268±0,6; 20±0,2	12	Ra6,3	Центрування Свердління на верстаті з ЧПК	Свердління по кондуктору
22, 23, 24, 25	Різовий глухий отвір М4-7Н; 10min; 268±0,6; 20±0,2	12	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	–
26, 27, 28, 29	Отвір глухий Ø3,3 ^{+0,12} під різь М4-7Н; l=14 ^{+1,1} ; 154±0,3; 136±0,5; 6±0,3	12	Ra6,3	Центрування Свердління на верстаті з ЧПК	Свердління по кондуктору
34, 35, 36, 37	Різовий глухий отвір М4-7Н; 10min; 154±0,3; 136±0,5; 6±0,3	12	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	–

Закінчення таблиці 3.4

38, 39	Отвір глухий $\varnothing 6,75^{+0,26}$; $l=14^{+1,1}$ під різь М8-7Н $18\pm 0,2$	13	Ra12,5	Центрування Свердління на верстаті з ЧПК	Свердління по кондуктору
40, 41	Фаска внутрішня $1\times 45^\circ$	14	Ra12,5	Зенкування	Отримується комбінованим інструментом – свердлом- зенківкою
42,43	Різовий глухий отвір М8-7Н; 10min; $18\pm 0,2$	13	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	–
44, 45	Отвір наскрізний $\varnothing 10,25^{+0,36}$ під різь М12-7Н; $30\pm 1,0$	14	Ra12,5	Центрування Свердління на верстаті з ЧПК	Свердління по кондуктору
46, 47	Фаска внутрішня $1,5\times 45^\circ$	14	Ra12,5	Зенкування	Отримується комбінованим інструментом – свердлом- зенківкою
48, 49	Різовий наскрізний отвір М12-7Н; $30\pm 1,0$	13	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	–
50, 51	Отвір наскрізний $\varnothing 8^{+0,015}$; $120^{+0,5}$; $157\pm 0,2$	7	Ra0,8	Центрування Свердління Розвертання чорнове Розвертання чистове на верстаті з ЧПК	Свердління по кондуктору Розвертання чорнове Розвертання чистове на верстаті з ЧПК
52	Отвір наскрізний $\varnothing 20^{+0,52}$; $18,5\pm 0,26$; $38,5\pm 0,31$.	14	Ra25	Центрування Свердління на верстаті з ЧПК	Свердління по кондуктору

В результаті аналізу таблиці 3.4 одержано маршрут обробки кільця 714252.059.

005 Токарно-револьверна

1. Розточити попередньо отвір 2, витримуючи розмір $\varnothing 235,4^{+0,29}$.
2. Розточити остаточно внутрішню фаску 3, витримуючи розмір $3\times 30^\circ$.
3. Розточити остаточно отвір 2, витримуючи розмір $\varnothing 236^{+0,115}$.

010 Свердлильна з ЧПК

2. Центрувати дев'ять отворів 5, 6, 11, 14, 15, 16, 17, 38, 39, витримуючи розміри $\varnothing 1,6^{+0,25}$; $\varnothing 3,35^{+0,3}$; $3,52 \pm 0,1$; $44,5 \pm 0,2$; $18 \pm 0,1$; $15 \pm 0,1$; $268 \pm 0,6$; $20 \pm 0,2$; $18 \pm 0,2$.

3. Свердлити три отвори 5, 6, 11 з утворенням трьох фасок 7, 8, 12, витримуючи розміри $\varnothing 3,3^{+0,12}$; $0,5 \times 45^\circ$; $l = 12^{+1,0}$; $44,5 \pm 0,2$; $18 \pm 0,1$; $15 \pm 0,1$; $18 \pm 0,2$ під різь М4-7Н.

4. Свердлити чотири отвори 14, 15, 16, 17 з утворенням чотирьох фасок 18, 19, 20, 21, витримуючи розміри $\varnothing 3,3^{+0,12}$; $0,5 \times 45^\circ$; $l = 14^{+1,1}$; $268 \pm 0,6$; $20 \pm 0,2$ під різь М4-7Н.

5. Свердлити два отвори 38, 39 з утворенням двох фасок 40, 41, витримуючи розміри $\varnothing 6,75^{+0,26}$; $l = 14^{+1,1}$; $1 \times 45^\circ$; $18 \pm 0,2$ під різь М8-7Н.

6. Нарізати різь в семи отворах 9, 10, 13, 22, 23, 24, 25, витримуючи розміри М4-7Н; 8min; 10min.

7. Нарізати різь в двох отворах 42, 43, витримуючи розміри М8-7Н; 10min.

9. Перевірити розміри: М4-7Н; М8-7Н; 8min; 10min; $12^{+1,0}$; $14^{+1,1}$; $44,5 \pm 0,2$; $18 \pm 0,1$; $15 \pm 0,1$; $268 \pm 0,6$; $20 \pm 0,2$; $0,5 \times 45^\circ$; $1 \times 45^\circ$.

015 Свердлильна з ЧПК

1. Центрувати чотири отвори 26, 27, 28, 29, витримуючи розміри $\varnothing 1,6^{+0,25}$; $\varnothing 3,35^{+0,3}$; $3,52 \pm 0,1$; $154 \pm 0,3$; $136 \pm 0,5$; $6 \pm 0,3$.

2. Свердлити чотири отвори 26, 27, 28, 29 з утворенням чотирьох фасок 30, 31, 32, 33, витримуючи розміри $\varnothing 3,3^{+0,12}$; $0,5 \times 45^\circ$; $l = 14^{+1,1}$; $154 \pm 0,3$; $136 \pm 0,5$; $6 \pm 0,3$ під різь М4-7Н.

3. Нарізати різь в чотирьох отворах 34, 35, 36, 37, витримуючи розміри М4-7Н; 10min; $154 \pm 0,3$; $136 \pm 0,5$; $6 \pm 0,3$.

020 Свердлильна з ЧПК

1. Центрувати два отвори 52, 44, витримуючи розміри $\varnothing 2,5^{+0,10}$; $\varnothing 5,3^{+0,12}$; $2,42^{+0,12}$; $3,1^{+0,3}$; $30 \pm 1,0$; $18,5 \pm 0,26$; $38,5 \pm 0,31$.

2. Свердлити отвір 52, витримуючи розміри $\varnothing 20^{+0,52}$; $18,5 \pm 0,26$; $38,5 \pm 0,31$.

3. Свердлити отвір 44 з формуванням фаски 46, витримуючи розміри

$\varnothing 10,25^{+0,36}$; $30 \pm 1,0$; $1,5 \times 45^\circ$ під різь М12-7Н.

4. Нарізати різь 48, витримуючи розміри М12-7Н; $30 \pm 1,0$.

025 Свердлильна з ЧПК

1. Центрувати три отвори 45, 50, 51, витримуючи розміри $\varnothing 2,5^{+0,10}$; $\varnothing 5,3^{+0,12}$; $2,42^{+0,12}$; $3,1^{+0,3}$; $30 \pm 1,0$; $157 \pm 0,2$.

2. Свердлити отвір 45 з формуванням фаски 47, витримуючи розміри $\varnothing 10,25^{+0,36}$; $30 \pm 1,0$; $1,5 \times 45^\circ$ під різь М12-7Н.

3. Свердлити два отвори 50, 51, витримуючи розміри $\varnothing 7,5^{+0,15}$; $120^{+0,5}$; $157 \pm 0,2$.

4. Розвернути попередньо два отвори 50, 51, витримуючи розміри $\varnothing 7,845^{+0,036}$; $120^{+0,5}$; $157 \pm 0,2$.

5. Розвернути остаточно два отвори 50, 51, витримуючи розміри $\varnothing 8^{+0,015}$; $120^{+0,5}$; $157 \pm 0,2$.

6. Нарізати різь 49, витримуючи розміри М12-7Н; $30 \pm 1,0$.

030 Контроль.

3.4. Визначення припусків на оброблення

Результати оформлено у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахункові припуски кільця 714252.059

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 циліндрична поверхня $\varnothing 236H9^{(+0,115)}$					
Розточування чистове	9	Ra2,5	0,115	$0,3 \times 2 = 0,6$	$\varnothing 236^{+0,115}$
Розточування напівчистове	11	Rz80	0,29	$1,3 \times 2 = 2,6$	$\varnothing 235,4^{+0,29}$
Заготовка	7-мий кл.	Rz50	1,4	$1,6 \times 2 = 3,2$	$\varnothing 232,8 \pm 0,7$

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Нарізати різь в чотирьох отворах 34, 35, 36, 37, витримуючи розміри М4-7Н; 10min; 154±0,3; 136±0,5; 6±0,3	0,606	23	4	11	0,72	718	8,91	498	0,186	0,04
020 Свердлильна з ЧПК										
Перехід 2 Центрувати два отвори 52, 44, витримуючи розміри $\varnothing 2,5^{+0,10}$; $\varnothing 5,3^{+0,12}$; 2,42 ^{+0,12} ; 3,1 ^{+0,3}	1,25	8,52	2	16	0,116	1901	31,7	222,4	0,081	0,17
Перехід 3 Свердлити отвір 52, витримуючи розміри $\varnothing 20^{+0,52}$; 18,5±0,26; 38,5±0,31	10	13	1	44	0,51	1002	62,7	502	0,027	1,6
Перехід 4										
Свердлити отвір 44 з формуванням фаски 46, витримуючи розміри $\varnothing 10,25^{+0,36}$; 30±1,0; 1,5×45° під різь М12-7Н	5,1	35	1	22	0,47	1002	33	451	0,07	1,4
Перехід 5 Нарізати різь 48, витримуючи розміри М12-7Н; 30±1,0	1,52	62	1	21	1,76	251	9,5	437,7	0,15	0,4
025 Свердлильна з ЧПК										
Перехід 2 Центрувати три отвори 45, 50, 51, витримуючи розміри $\varnothing 2,5^{+0,10}$; $\varnothing 5,3^{+0,12}$; 2,42 ^{+0,12} ; 3,1 ^{+0,3} ; 30±1,0; 157±0,2	1,25	8,52	3	16	0,118	1901	31,5	222,4	0,116	0,18
Перехід 3 Свердлити отвір 45 з формуванням фаски 47, витримуючи розміри $\varnothing 10,25^{+0,36}$; 30±1,0; 1,5×45° під різь М12-7Н	5,1	35	1	20	0,46	1002	34	451	0,087	1,4

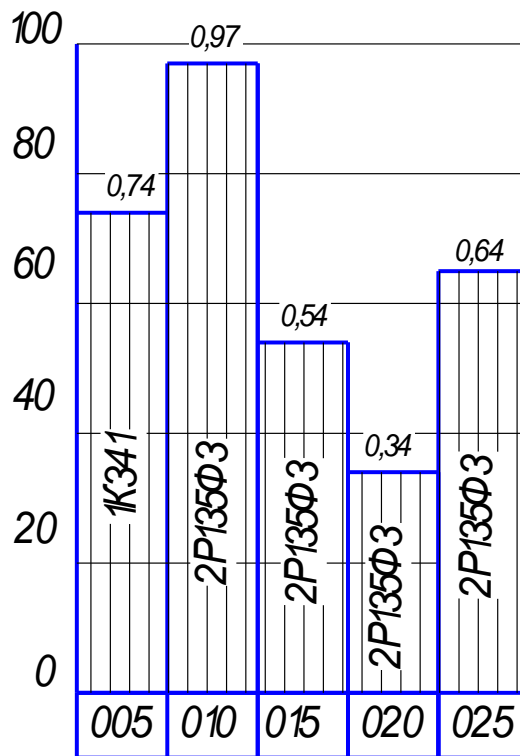


Рисунок 3.1 – Графік завантаження обладнання

3.6. Розрахунок пристосування

Пристосування спроектоване для закріплення деталі “Кільце” 714252.059 під час обробки на 010 свердлильній з ЧПК операції на свердлильному верстаті з ЧПК.

Кільце 714252.059 базується в пристосуванні по внутрішній циліндричній поверхні $\varnothing 236\text{мм}$, по торцю 60мм з орієнтацією по виступах із розміром 120мм на базу поз. 19 та допоміжні бази 15 та 16. Затиск деталі здійснюється по внутрішній торцевій поверхні.

Найбільший крутний момент на 010 операції свердлильній з ЧПК виникає при свердлінні отвору $\varnothing 6,75^{+0,26}$ під різьбу М8-7Н. Затиск заготовки здійснюється двома прихватами із силами $P_{\text{зат}}$, що притискають деталь до базової плити, тому крутному моменту різання $M_{\text{різ}}$ протидіють моменти тертя між заготовкою і базовою плитою та заготовкою і прихватами.

Визначаємо необхідну силу для затиску деталі відповідно до розрахункової схеми рис. 3.4 [24]:

$$P_{\text{зат1}} \cdot f_1 \cdot R + P_{\text{зат2}} \cdot f_1 \cdot R + \frac{2P_{\text{зат}} f_2 \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{3(R_2^2 - R_1^2)} = K \cdot M_{\text{різ}} , \quad (3.4)$$

де $f_1=0,2$;

$R= 121$ мм;

$f_2 =0,2$;

$R_1=124$ мм;

$R_2=131,5$ мм;

Крутний момент різання [20]:

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (3.5)$$

де $D = 6,75$ мм;

$S = 0,24$ мм/об;

$K_p = 1,0$ для алюмінієвого сплаву АК12 [20];

$C_M = 0,005$; $y = 0,8$; $q = 2,0$ [6];

Одержуємо числові значення моменту різання:

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot 0,005 \cdot 6,75^{2,0} \cdot 0,24^{0,8} \cdot 1,0 = 0,73 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$K = 3,7$ - коефіцієнт запасу [20].

$P_{\text{зат1}} = P_{\text{зат2}}$.

Із формули (3.4) маємо:

$$P_{\text{зат}} = \frac{K \cdot M_{\text{різ}}}{2 \cdot f_1 \cdot R + 2f_2 \cdot \frac{R_2^3 - R_1^3}{3(R_2^2 - R_1^2)}}, \quad (3.6)$$

$$P_{\text{зат}} = \frac{3,7 \cdot 730}{2 \cdot 0,2 \cdot 121 + 2 \cdot 0,2 \cdot \frac{131,5^3 - 124^3}{3(131,5^2 - 124^2)}} = 36,5 \text{ Н}.$$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Аналіз потенційних небезпек проектованого верстату, установки.

Заходи для їх зниження

В умовах діяльності людини значна кількість аварій і травм виникає внаслідок конструктивних недоліків машин, механізмів, обладнання, інструменту, захисних та запобіжних пристроїв, а також через недосконалість технологічних процесів засобів захисту людей.

Час існування машини визначається такими стадіями: науково-дослідницькі роботи; дослідно-конструкторські роботи; технологічні роботи; виробництво (виготовлення) машини; постачання замовнику (продаж) – експлуатація.

На кожній з цих стадій повною мірою повинні враховуватись вимоги безпеки до конструкції машини чи технічного виробу. Якщо на стадії науково-дослідницьких розробок формуються технічні вимоги до виконання дослідно-конструкторських робіт, то на стадії останніх створюється конструкція машини. При цьому вже повинні бути враховані правила безпеки при експлуатації машини відповідно до різних можливих аварійних, катастрофічних і травмонебезпечних ситуацій. За таких умов конструктори можуть передбачати виникнення таких явищ і вносити відповідні зміни у конструкцію машини, що проектується.

Реалізація конструкторських рішень, закладених у машину, забезпечується розробкою технологічних процесів, технічною підготовкою виробництва і виробничими процесами виготовлення. Технічні рішення щодо запобігання можливих аварійних та інших ситуаціях мають паралельно втілюватись у процеси виготовлення та доводки конструкції машини.

Подальші стадії циклу існування машини – постачання споживачу і експлуатація – повинні забезпечити збереження всіх властивостей, закладених конструкторами і технологами при проектуванні, підготовці до виробництва виготовленні виробу в машинобудівному виробництві.

Непродуманість конструкторами і технологами упаковки виробів (що забезпечило б збереження на стадії постачання та продажу), технології навантажування, транспортування та розвантажування, складування, зберігання і передпродажного обслуговування, а також недотримання існуючих правил виконання цих процесів, як правило, призводять до погіршення конструкції виробів. У свою чергу, порушення правил експлуатації машин викликає їх передчасне спрацювання, руйнування та старіння, що є причиною різних небезпечних ситуацій. В процесі експлуатації техніки визначаються такі основні конструкторсько-технологічні недосконалості:

- недотримання вимог до конструкцій машин щодо безпеки і гігієни праці, єдиних і загальних вимог до конструкцій автомобілів, тракторів, сільськогосподарських машин, вимог до робочого місця оператора машини, нормативних рівнів вібрацій і шуму на робочих місцях, вимог до електроустановок і посудин, що працюють під тиском, до будови пневмопроводів, зовнішніх освітлювальних приладів самохідних машин, попереджувальних написів на огорожах, фарбування огорожень, захисту машин від виникнення на них електричного струму, забезпечення ручних електрифікованих машин живленням від джерела струму напругою не вище 36 В і обладнання їх заземлення, забезпечення електричних нагрівників води запобіжними пристроями;

- підвищені рівні шуму та вібрацій на робочих місцях;
- невідповідність фарбового покриття машини та її складових частин залежно від їх функціонального призначення (фарбування нерухомих і обертових деталей однакове замість відмінного);

- відсутність пристроїв для захисту обслуговуючого персоналу від дії рухомих деталей;

- відсутність попереджувальних написів;
- неякісна конструкція упаковки, що спричиняє поломку опорних складових частин, деформацію корпусів приводів ланцюгових та інших передач і їх поломку, потрапляння пилу та інших забруднень у гідросистему через незахищені отвори трубок, що призводить до підвищеного спрацювання, заклинювання деталей гідросистем і само опускання начіпних машин і знарядь.

Виробниче і побутове обладнання має задовольняти вимоги безпеки при

монтажі, експлуатації, ремонті, транспортуванні й зберіганні, при використанні окремо або у складі комплексів і технологічних систем. У процесі експлуатації воно не повинно забруднювати викидами шкідливих речовин навколишнє середовище (повітря, ґрунт, водойми) понад норми, регламентовані стандартами.

Безпека виробничого і побутового обладнання має гарантуватися:

- вибором принципів дії, конструктивних схем, безпечних елементів конструкції тощо;

- застосуванням у конструкції засобів механізації, автоматизації, дистанційного керування і засобів захисту;

- дотриманням ергономічних вимог;

- включенням вимог безпеки у технічну документацію з монтажу, експлуатації, ремонту, транспортування і зберігання;

- застосуванням у конструкції відповідних матеріалів. Виробниче та побутове обладнання повинно бути пожежо- та вибухобезпечним. При експлуатації не створювати небезпеки внаслідок дії вологи, сонячної радіації, механічних коливань, високих та низьких тисків і температур, агресивних речовин, вітрових навантажень, обледеніння, мікроорганізмів, грибів, комах тощо. Протягом усього терміну експлуатації воно має відповідати вимогам безпеки.

Відповідно до загальних вимог необхідно дотримуватися таких правил розробки основних елементів конструкцій: матеріали, що використовуються в конструкції виробничого та побутового обладнання, повинні бути безпечними і нешкідливими. Не допускається використовувати нові речовини і матеріали, які не пройшли гігієнічну перевірку, а також перевірку на пожежобезпеку в установленому порядку.

4.2. Аварії та ліквідації аварійних ситуацій на підприємстві

Аварія - небезпечна подія техногенного характеру, що спричинила загибель людей або створює на об'єкті чи окремій території загрозу життю та здоров'ю людей і призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи завдає шкоди довкіллю.

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

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

Причинами виникнення аварій є:

- недоліки проектування підприємств, недотримання техніки безпеки, а також відсутність постійного контролю за станом виробництва і особливо при використанні легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин;
- виникнення аварій на сусідніх підприємствах чи на енергетичних і газових мережах;
- стихійні лиха, які викликають аварії;
- виникнення аварій внаслідок невідомих науці явищ, які проявляються на підприємствах, які використовують різні хімічні речовини.

Аварії мають різні наслідки, які залежать від характеру виробництва. Найбільш типовими проявами аварій можуть бути:

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

Ліквідація надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру - проведення комплексу заходів, які включають аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи, що здійснюються у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру і спрямовані на припинення дії

небезпечних факторів, рятування життя та збереження здоров'я людей, а також на локалізацію зон надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

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

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

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

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

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

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

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження величини деформації багатолезової оправки для розточування ступінчастого отвору. Виведено диференціальне рівняння, що описує криву деформації середньої лінії оправки під час розточування. Рівняння розв'язано чисельним методом Рунге-Кутта, використовуючи прикладне програмне забезпечення. Результати розв'язків представлено у вигляді графіків.

При збільшенні значення відстані L від 200 мм до 300 мм для однакових силах різання відбувається деформація розточної оправки у напрямку осі y від 0,014 мм до 0,044 мм і загальний прогин становить 0,03 мм. Тому використання розточної оправки із більшою відстанню L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин для оброблення отвору діаметром D_2 знижує точність оброблення отвору.

При збільшенні значення діаметра D поперечного перерізу оправки від 40 мм до 60 мм при однакових силах різання відбувається деформація розточної оправки у напрямку осі y від 0,0252 мм до 0,005 мм і загальний прогин становить 0,0202 мм. Тому використання розточної оправки із більшим діаметром D поперечного перерізу оправки підвищує точність оброблення отвору.

Реальне значення величин деформації ступінчастої оправки в процесі розточування ступінчастого отвору визначаються динамічними навантаженнями.

Проведено експериментальні дослідження величини максимальної деформації Δu розточної оправки залежно від: відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин, діаметра D поперечного перерізу оправки та зовнішнього навантаження P .

Визначено, що найбільший вплив на величину максимальної деформації розточної оправки має діаметр D поперечного перерізу оправки, а найменший вплив має зовнішнє навантаження P . При збільшенні відстані L від місця

закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин, зовнішнього навантаження P максимальна деформація розточної оправки зростає, а при збільшенні діаметра D поперечного перерізу оправки – спадає.

Максимальне значення деформації розточної оправки становить 0,19 мм, а мінімальне – 0,01 мм. Збільшення відстані L від місця закріплення розточної оправки у шпинделі до ріжучих пластин від 200 мм до 300 мм призводить до зростання деформації розточної оправки на 80%. Збільшення діаметра D поперечного перерізу оправки від 40 мм до 50 мм призводить до зменшення деформації розточної оправки на 62%, а збільшення зовнішнього навантаження P від 400 Н до 600 Н призводить до зростання деформації розточної оправки на 33%.

Розроблено технологічний процес виготовлення кільця 714252.059.

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. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. – 148 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. 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.

16. <https://www.youtube.com/watch?v=i1bhiX1ldnE>.

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. Fluat Atabey. Modeling of mechanics and dynamics of boring. A thesis master of applied science, The University of British Columbia, 2001, 182 p.

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. Експериментальні дослідження крутного моменту різання кінцевою фрезою / І.В. Головатий, А.М. Хічій, А.К. Шманін // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій": 7-8 грудня 2022 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. С. 21.

22. Крупа В.В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів : дис... к-та техн. наук: 05.03.01. Тернопіль., 2015, 272 с.

23. <https://mapal.com/en-int/products-and-solutions/drilling-boring-countersinking/boring>

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

25. Petro Yasniy, Ihor Okipnyi, Oleksandr Dyvdyk, Anna Rudawska, Viktor Senchyshyn. Residual lifetime of the plates with preexisting crack near cold expanded hole. Procedia Structural Integrity, 2022, 36, pp. 197-202.

26. Lyashuk, O., Okipnyi, I., Mykulyk, P., Nevko, R., Lutsiv, I., Pastukh, O., &

Vovk, Y. (2022). The Dynamics of Impulse Strengthening Process of Screw Crest. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering, 46(4), pp. 839-850.

27. P.O. Maruschak, I.B. Okipnyi, L. Ya. Poberezhnyi, E.V. Maruschak (2013). Study of heat-resistant steel strain hardening by indentation. Metallurgist, 56(11), pp. 946-951.

28. P.V. Yasni, V.B. Glad'o, I.B. Okipnyi (2007). Relationship between rupture stress and microstructure parameters of plastically deformed heat-resistant steel. Strength of materials, 39(4), pp. 349-357.