

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 фланця 974.284.008 з
дослідженням параметрів багаторізцевого токарного оброблення

Виконав: студент II курсу, групи МПм-61

спеціальності 131 “Прикладна механіка”

(шифр і назва спеціальності)

Кузь Р.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Комар Р.В.

(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
2025

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення фланця 974.284.008 з дослідженням параметрів багаторізевого токарного оброблення”.

У кваліфікаційній роботі для токарного оброблення зовнішньої гвинтової поверхні на циліндричній деталі розроблено спеціальний багаторіцевий інструмент. Проведено дослідження динаміки багаторіцевого токарного оброблення зовнішньої гвинтової поверхні на основі сформованої динамічної моделі, що включає приведену систему основних конструктивних елементів процесу різання, відкидаючи другорядні фактори. Визначено кут повороту корпусу, при якому здійснюється однократне різання заготовки різцем.

На основі рівняння Лагранжа другого роду виведено систему диференціальних рівнянь, що описують коливання елементів механічної системи. Систему диференціальних рівнянь з нульовими початковими умовами розв’язано чисельним методом Рунге-Кутта із використанням прикладного програмного забезпечення із виведенням графічних залежностей деформацій елементів приведеної системи багаторіцевого нарізання зовнішньої гвинтової поверхні.

Представлено результати експериментальних досліджень сили різання при багаторіцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь. Виведено рівняння регресії сили різання при багаторіцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь залежно від зміни: частоти обертання циліндричної заготовки, частоти обертання корпусу із різцями та зовнішнього радіуса циліндричної заготовки.

Вдосконалено технологічний процес виготовлення фланця 974.284.008.

ЗМІСТ

Вступ	
1 Аналітична частина	
1.1. Аналіз стану питання.....	
1.2. Висновки та постановка завдань.....	
2 Науково-дослідна частина	
2.1. Дослідження параметрів багаторізевого токарного оброблення.....	
2.2. Результати експериментальних досліджень сили різання при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь.....	
2.3. Висновки.....	
3 Технологічно-конструкторська частина	
3.1. Службове призначення деталі.....	
3.2. Вибір способу одержання заготовки.....	
3.3. Формування технологічного процесу	
3.4. Визначення припусків на оброблення.....	
3.5. Визначення режимів різання.....	
3.6. Розрахунок пристосування.....	
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

ВСТУП

Багаторізцеве токарне оброблення дає змогу суттєво підвищити продуктивність зрізання матеріалу порівняно із точінням одним різцем і широко застосовується для високоефективного та точного виготовлення циліндричних, конічних, профільних деталей та різьбових поверхонь. Перевагами багаторізцевого токарного оброблення є значне зростання продуктивності оброблення за рахунок одночасного оброблення декількох поверхонь заготовки та скорочення основного часу обробки, оскільки декілька різців працюють одночасно; забезпечується висока точність обробки, зокрема за рахунок зменшення автоколивань інструментів, що покращує якість обробленої поверхні; поєднання декількох операцій, наприклад, чорнового та чистового точіння в одній установці зменшує час переналагодження та допоміжні витрати часу.

Динамічна стабільність є важливим параметром багаторізцевого токарного оброблення. Для керування вібраціями необхідне коректне налаштування параметрів системи або використання різців з різними характеристиками.

Тому дослідження параметрів багаторізцевого токарного оброблення є актуальним завданням.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення фланця 974.284.008.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз стану питання

Багаторіздеве токарне оброблення - це процес механічного оброблення, при якому одночасно використовують декілька різальних інструментів для зрізування матеріалу із заготовки, що має обертовий рух у шпинделі верстата. Такий метод обробки дає змогу суттєво підвищити продуктивність зрізання матеріалу порівняно із точінням одним різцем і широко застосовується для високоефективного та високоточного виготовлення циліндричних, конічних профільних деталей та різьбових поверхонь.

Під час багаторіздевого токарне оброблення декілька різців встановлюють на спільній базі, зокрема. на багаторіздевій токарній головці та одночасно використовують для виконання процесу зняття припуску із заготовки. Різці зазвичай розташовують по колу або паралельно відносно заготовки, що дає змогу виконувати поєднання декількох переходів або операцій, наприклад, чорнове та чистове точіння, або забезпечувати збільшену ефективну глибину різання за один прохід. Завдяки високій продуктивності різання матеріалу процес доцільно використовувати для середньосерійного, великосерійного та масового виробництва.

Використання на різцях багатофункціональних ріжучих пластин, зокрема Tungaloy AddMultiTurn, дають змогу за одну установку виконувати токарне оброблення зовнішнього діаметра, торцеве та профільне точіння заготовки. Такий процес використовується для механічної обробки різноманітних матеріалів, зокрема сталі, алюмінію та полімерних матеріалів; у деяких системах глибина різання може досягати 5 мм.

Розміщення двох протилежно розташованих ріжучих крайок різців у системах типу Wagner MSD забезпечує зрівноважування сил різання, що особливо важливо під час оброблення тонкостінних заготовок і довгомірних деталей для зменшення їх деформацій та вібрацій.

Перевагами багаторізевого токарного оброблення є значне зростання продуктивності оброблення за рахунок одночасного оброблення декількох поверхонь заготовки та скорочення основного часу обробки, оскільки декілька різців працюють одночасно; забезпечується висока точність обробки, зокрема за рахунок зменшення автоколиваний інструментів, що покращує якість обробленої поверхні; поєднання декількох операцій, наприклад, чорнового та чистового точіння в одній установці зменшує час переналагодження та допоміжні витрати часу.

Динамічна стабільність є важливим параметром багаторізевого токарного оброблення. Для керування вібраціями необхідне коректне налаштування параметрів системи або використання різців з різними характеристиками. Попри підвищення ефективності, початкові інвестиційні витрати на багаторізевої токарні системи або спеціалізовані верстати, зокрема багатofункціональні токарні верстати з ЧПК, можуть бути вищими порівняно із системами, що застосовують один різець на один перехід при обробленні.

У статті [12] проведено дослідження із вивченням властивостей стійкості багаторізових процесів точіння. Застосування динамічно не зв'язаних між собою різців з однаковими динамічними характеристиками не призводить до підвищення стійкості системи. Натомість використання різців із різними модальними параметрами із визначенням оптимального співвідношення жорсткостей різних різців, задіяних у процесі різання, дає змогу розширити стійку область на діаграмах стійкості, забезпечуючи більшу гнучкість і ширший діапазон доступних стійких режимів оброблення для оператора верстата.

Показано, що властивості стійкості багаторізової системи точіння з динамічно не зв'язаними різцями є еквівалентними властивостям стійкості системи з одним різцем, що має багато ступенів вільності.

Окрім підвищення точності та продуктивності процесу токарного оброблення існує важлива властивість процесів різання, яку не можна погіршувати і яка, відповідно, потребує обов'язкового врахування - це стійкість

процесу. Дослідження, присвячені стійкості процесів точіння з одним та декількома токарними різцями, виконуються вже тривалий час [15, 18].

Діаграми стійкості подають у вигляді так званих лопатевих (пелюсткових) діаграм у площині параметрів ширини різання w та кутової швидкості обертання шпинделя із заготовкою Ω , де параметричний простір поділяється на стійкі та нестійкі області граничною лінією, утвореною побудованими пелюстковими кривими. Оскільки вібрації самозбудженого характеру негативно впливають на стан поверхні заготовки, нестійкі області параметрів необхідно уникати під час процесу різання.

Вплив коефіцієнта демпфування ζ на межу стійкості розглянуто у роботі [19]. Загальною метою цього дослідження є усунення автоколивань і, таким чином, забезпечення максимального використання можливостей, що визначаються заданими динамічними умовами. У науковій літературі різання двома токарними різцями позначають терміном паралельне точіння [20]. Дослідження для двох різців і різних глибин різання наведено в [21], а динаміку процесу точіння з двома багаторізцевими рядами різців проаналізовано в [22].

Процеси токарного оброблення із одночасним використанням двох різців характеризуються особливою динамікою. Взаємодія між декількома різцями впливає на властивості стійкості процесу різання, оскільки зв'язок між ними реалізується або через запізнення, або через конструкцію верстат–інструмент. Можна спостерігати різні типи взаємного зв'язку між інструментами. Якщо різці обробляють одну й ту саму поверхню, то, з одного боку, вони пов'язані між собою через регенеративний ефект, а з іншого — можуть бути зв'язані через динаміку системи верстат–різцетримач. В останньому випадку відбувається зв'язування окремих мод коливань. Проте такий тип зв'язку зазвичай не враховується у дослідженнях [20, 21].

У роботі [12] дослідження розглядається перший тип зв'язку, реалізований через регенеративний ефект, за умови незв'язаних мод коливань. Прийнято модель процесу різання, в якій одна й та сама поверхня обробляється n різцями з однаковою шириною різання для всіх інструментів. Показано, що навіть у

такому ідеалізованому випадку межі стійкості можуть зміщуватися в область більших значень ширини різання, що свідчить про потенційне підвищення стійкості процесу.

Механічну модель багаторізцевої системи токарного оброблення (рис. 1.1) виведено з моделі із одним різцем з одним ступенем вільності для ортогонального різання [22]. Для такого випадку точіння товщина стружки h дорівнює подачі інструмента, а ширина різання w дорівнює глибині різання.

Жорсткість та демпфування різців можуть бути змодельовані у вигляді пружних елементів приєднаних до нерухомого різцетримача з коефіцієнтами жорсткості $k_1, k_2, \dots, k_n$ та демпфуючих елементів, що визначаються коефіцієнтами демпфування $c_1, c_2, \dots, c_n$. Динаміка різців є незалежно змінною, а зв'язок між ними реалізується лише через заготовку. Заготовку прийнято значно більшої жорсткості ніж у інструментів, тому її динаміка у моделі не врахована.

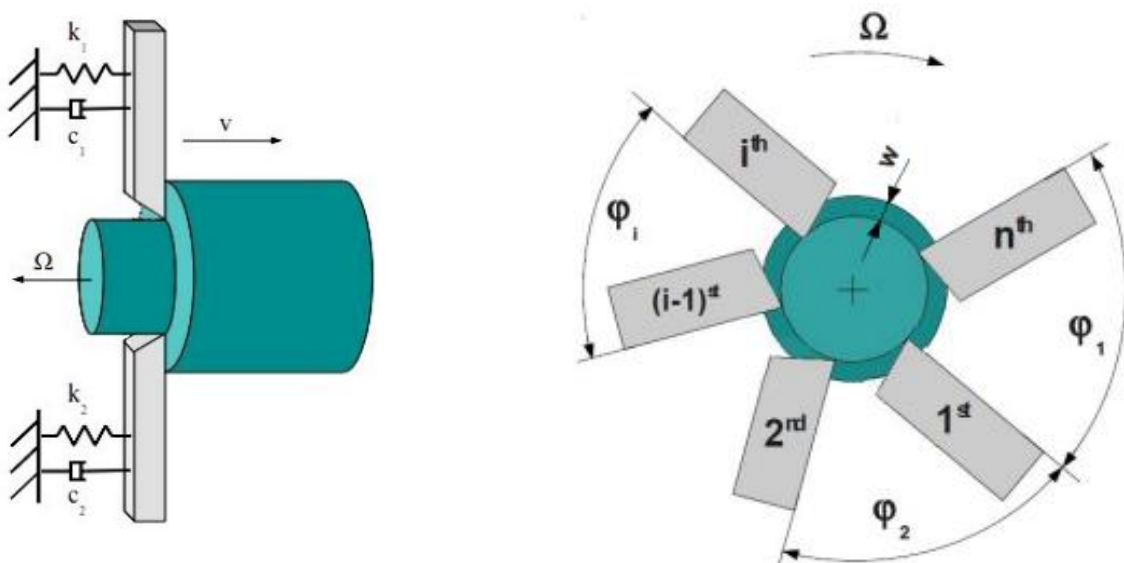


Рисунок 1.1 – Механічна модель багаторізцевої системи токарного оброблення [12]

Регенеративний ефект в процесі токарного оброблення описує явище, при якому товщина стружки в процесі різання змінюється динамічно. Це означає, що моментальне значення товщини стружки визначається попереднім положенням різця $x_{i-1}(t-\tau_i)$, який обробляв поверхню τ_i часу тому, а також миттєвим зміщенням різця $x_i(t)$ (рис. 1.2).

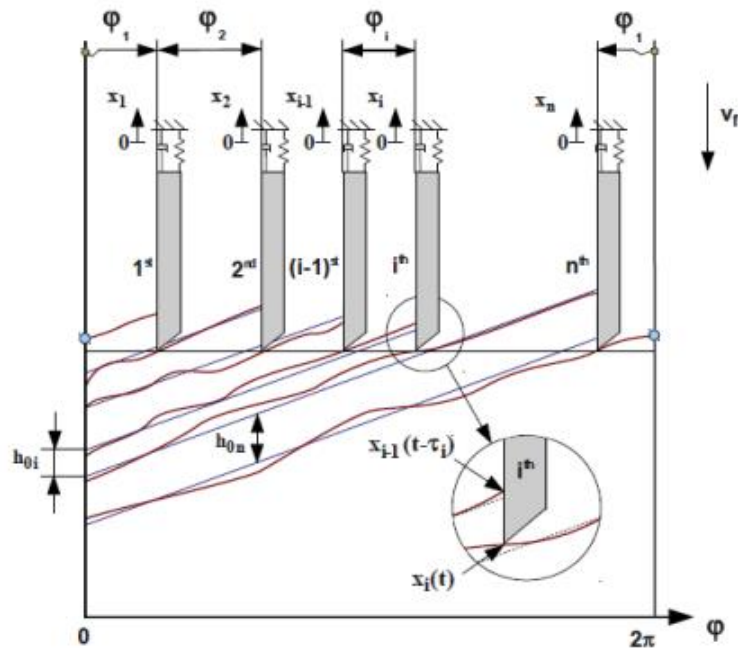


Рисунок 1.2 – Схема регенеративного ефекту в процесі багаторізевого токарного оброблення [12]

Для перевірки теоретичних моделей у роботі [23] спроектовано і виготовлено дослідну установку із двома різцями (рис. 1.3). Основною метою досліджень було порівняти характеристики стійкості симетричної системи, де різці мають однакові динамічні характеристики, та асиметричної конструкції, у якій жорсткість одного з різців може бути регульована змінною. Попередні розрахунки показали, що кут між різцями в установці не має суттєвого впливу на стійкість у випадку динамічно не зв'язаних інструментів [12].

Для збереження симетрії розташування різців кут між ними встановлено 180° . Крім того, модель, що використовувалась для розрахунків стійкості, була побудована для ортогонального точіння, тому різці були розташовані відповідно до умов ортогонального токарного оброблення.

Для знаходження причини автоколивань що виникають через регенеративний ефект забезпечено можливість оброблення двома різцями однієї поверхні протягом одного оберту заготовки. Дві гілки представленої системи були динамічно не зв'язаними, тобто рухались незалежно одна від одної.

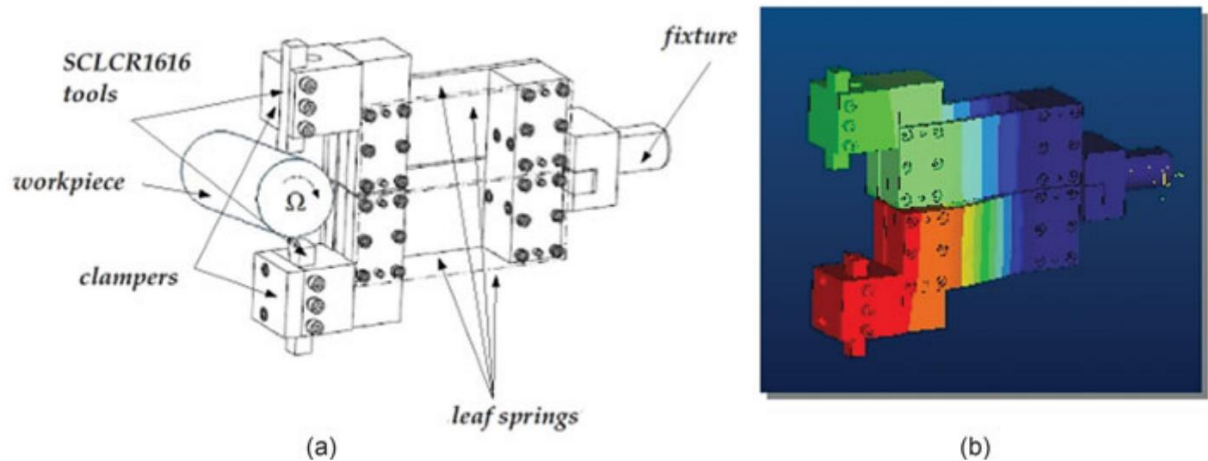


Рисунок 1.3 – Схема дослідної установки із двома різцями а) та її дослідження методом кінцевих елементів б) [23]

Відповідно, у дослідній установці забезпечено незалежні гілкоподібні частини для закріплення різців. Крім того, для врахування симетрії дотримано вимоги, щоб власні частоти окремих гілок системи затиску були однаковими. Вимірювання показали наступні власні частоти для верхньої гілки: $f_1 = 182,72$ Гц, і для нижньої гілки $f_2 = 182,71$ Гц.

Теоретичні розрахунки стійкості для регульованої багаторізевої системи токарного оброблення передбачали підвищення стійкості в 4 рази. У конструкції забезпечено щонайменше на порядок меншу жорсткість в напрямку подачі, ніж у радіальному або дотичному напрямках відносно заготовки, при цьому відповідні власні частоти першої моди забезпечено невеликими.

Для регулювання жорсткості системи однієї з гілок використовувались плоскі пластини різної товщини, що діяли як плоскі пружини. Під час проектування висувались додаткові вимоги щодо простоти та економічності конструкції з метою простого моделювання конструкції за допомогою методу кінцевих елементів та можливості оцінювання її модальних параметрів аналітично за допомогою базових рівнянь міцності матеріалів та теорії коливань. Ще однією із вимог була мінімізація демпфування, що виникає через тертя між внутрішніми елементами системи, з метою обмежити демпфування лише

конструктивними елементами системи. Завдяки використанню великої кількості гвинтів із високим моментом затягування та додаткових штифтів вдалося забезпечити бажане фіксоване положення та реалізувати достатньо жорстке з'єднання між різними частинами установки.

Багаторіцева токарна головка WAGNER [24] (рис. 1.4) застосовується для точної токарної обробки зовнішніх діаметрів циліндричних заготовок. Цей інструмент оснащений чотирма жорсткими різцями з твердосплавними ріжучими пластинами, які здатні обробляти заготовки глибиною до 6 мм за один прохід. Заготовки можуть бути круглої, квадратної або шестигранної форми у поперечному перерізі.

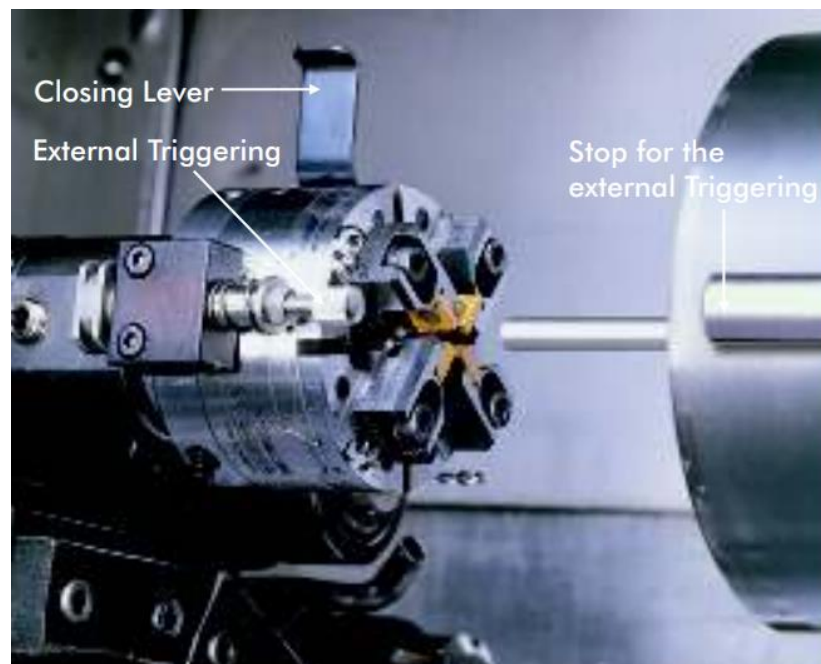


Рисунок 1.4 – Багаторіцева токарна головка WAGNER [24]

Багаторіцева токарна головка WAGNER успішно використовується при обробленні довгих заготовок, із витримуванням малих допусків наприклад, для подальшого нарізання різьби, шліфування та для зменшення часу обробки.

Чотири різці багаторіцевої токарної головки WAGNER забезпечують поділ припуску обробки на чотири рівні частини. Глибина різання однієї ріжучої кромки становить лише четверту частину від загальної подачі, що дозволяє

збільшувати подачу різання цього інструмента у 3–6 разів більшу, ніж для звичайних різців з однією ріжучою кромкою.

Дві з чотирьох ріжучих пласти розташовані точно протилежно одна одній, що дозволяє зрівноважувати радикальні сили різання, що виникають під час обробки заготовки. Це забезпечує точність токарної обробки до 0,01–0,02 мм.

1.2. Висновки та постановка завдань

В результаті аналізу інформаційних джерел встановлено, що багаторіздцеве токарне оброблення дає змогу суттєво підвищити продуктивність зрізання матеріалу порівняно із точінням одним різцем і широко застосовується для високоефективного та точного виготовлення циліндричних, конічних профільних деталей та різьбових поверхонь. Перевагами багаторіздцевого токарного оброблення є значне зростання продуктивності оброблення за рахунок одночасного оброблення декількох поверхонь заготовки та скорочення основного часу обробки, оскільки декілька різців працюють одночасно; забезпечується висока точність обробки, зокрема за рахунок зменшення автоколивань інструментів, що покращує якість обробленої поверхні; поєднання декількох операцій, наприклад, чорнового та чистового точіння в одній установці зменшує час переналагодження та допоміжні витрати часу.

Динамічна стабільність є важливим параметром багаторіздцевого токарного оброблення. Для керування вібраціями необхідне коректне налаштування параметрів системи або використання різців з різними характеристиками.

У кваліфікаційній роботі потрібно вирішити такі завдання:

1. Провести дослідження токарного оброблення зовнішньої гвинтової поверхні на циліндричній деталі спеціальним багаторіздцевим інструментом.

2. Проведено дослідження динаміки багаторіздцевого токарного оброблення зовнішньої гвинтової поверхні на основі сформованої динамічної моделі.

3. Вивести та розв'язати систему диференціальних рівнянь, що описують коливання елементів механічної системи.

4. Провести експериментальні дослідження сили різання при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь.

5. Вивести рівняння регресії величини сили різання при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь залежно від зміни: частоти обертання циліндричної заготовки, частоти обертання корпусу із різцями та зовнішнього радіуса циліндричної заготовки.

6. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення фланця 974.284.008.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження параметрів багаторізевого токарного оброблення

З метою виконання завдань кваліфікаційної роботи для токарного оброблення зовнішньої гвинтової поверхні на циліндричній деталі розроблено спеціальний багаторіцевий інструмент, що зображений на рисунку 2.1. До складу цього інструменту входить циліндричний корпус 1 із центральним отвором. На корпусі рівномірно по колу по дотичній розміщено чотири різці 2 із твердосплавними різальними пластинами, що нарізають гвинтову поверхню на циліндричній заготовці 3. Заготовка 3 обертається із частотою ω_1 від 5 до 20 об/хв, при цьому корпус 1 обертається в тому ж напрямку із частотою ω_2 від 700 до 2500 об/хв. Кут γ нахилу корпусу 1 дорівнює куту підйому гвинтової лінії поверхні, що нарізається. Також центр корпусу 1 зміщено відносно центра заготовки 3 на величину ексцентриситету e . Під час нарізання подача S корпусу 3 із різцями 2 дорівнює кроку гвинтової поверхні, що нарізається.

При нарізанні зовнішньої гвинтової поверхні спеціальним багаторіцевим інструментом відбувається силова взаємодія між різцями та заготовкою, утворення стружки та формування гвинтової поверхні. При цьому періодично виникають складові сили різання P_z , P_y та сили удару P_u . Тому така особливість визначає необхідність у дослідженні динаміки багаторіцевого токарного оброблення зовнішньої гвинтової поверхні. Таке дослідження здійснено на основі сформованої динамічної моделі, що включає приведену систему основних конструктивних елементів процесу різання, відкидаючи другорядні фактори. До складу приведеної системи включено корпус, механізм приводу обертання корпусу, ротор двигуна, що використовується для обертання корпусу, заготовка, на якій здійснюється нарізання зовнішньої гвинтової поверхні, шпиндель верстата, ротор двигуна головного руху верстата, чотири різці.

Багаторіцеве нарізання зовнішньої гвинтової поверхні спеціальним інструментом розглянуто як перехідний динамічний процес.

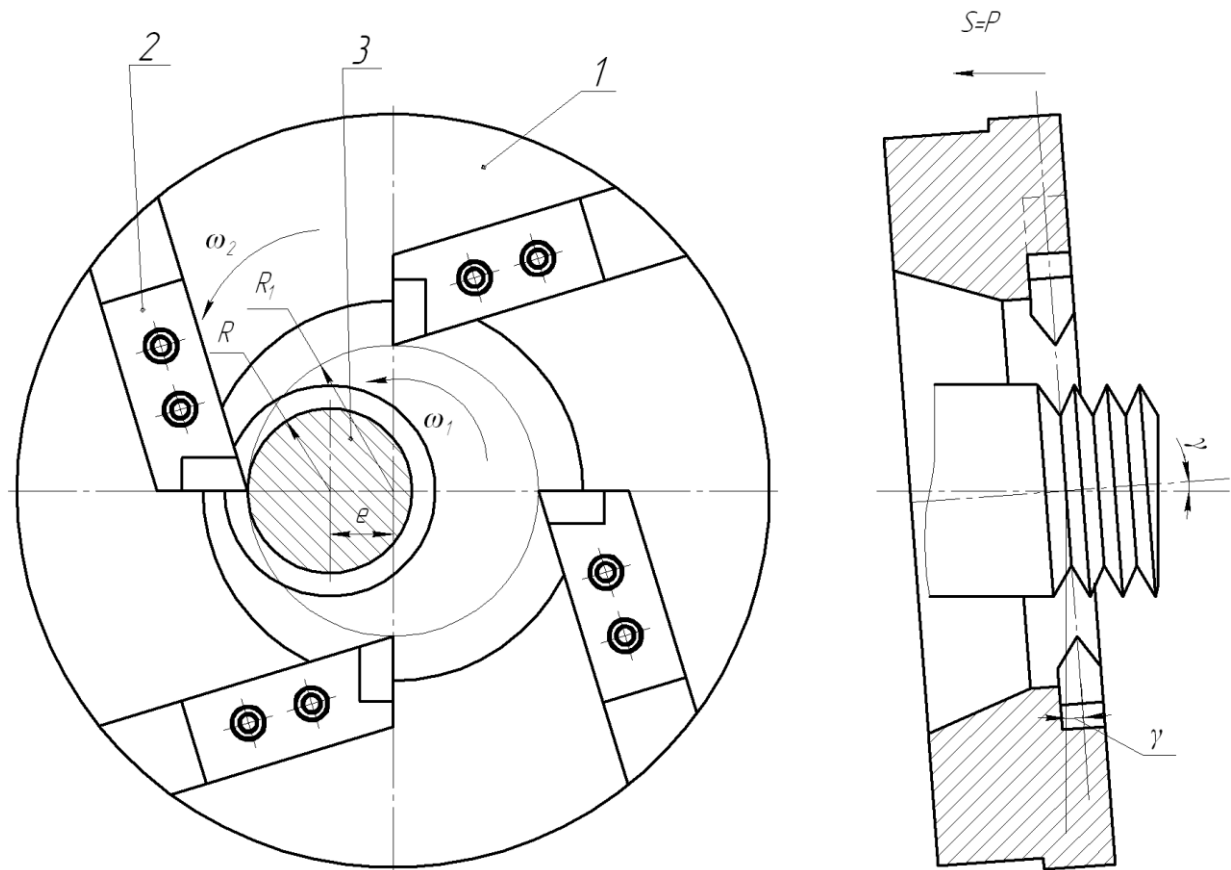


Рисунок 2.1 – Конструкція спеціального багаторізевого інструменту для нарізання зовнішньої гвинтової поверхні: 1 – корпус, 2 – різець, 3 - заготовка

На рис. 2.2 представлено ідеалізовану механічну модель багаторізевого нарізання зовнішньої гвинтової поверхні спеціальним інструментом. Усі елементи представлено у вигляді зосереджених мас із пружними зв'язками. При цьому зв'язки прийнято невагомими та з незмінними коефіцієнтами жорсткості та демпфування.

На рисунку 2 представлено зосереджені маси із пружними зв'язками для дослідження динаміки вихрового нарізання зовнішньої різьби спеціальним інструментом: I_1 – приведений момент інерції корпуса із різцями; I_2 – приведений момент інерції механізму приводу обертання корпуса; I_3 – момент інерції ротора двигуна, що використовується для обертання корпуса, I_4 – момент інерції заготовки, на якій здійснюється нарізання гвинтової поверхні;



Рисунок 2.2 -- Приведена схема ідеалізованої механічної моделі для дослідження динаміки багаторіцевого нарізання зовнішньої гвинтової поверхні спеціальним інструментом

На рис. 2.2 I_5 – момент інерції шпинделя верстата; I_6 – момент інерції ротора двигуна головного руху верстата; m_7 – маса різця.

Також на рисунку 2.2 представлено приведені коефіцієнти жорсткості: C_{12} – приведена жорсткість з'єднання між корпусом та механізмом приводу обертання корпуса, C_{23} – приведена жорсткість з'єднання між механізмом приводу обертання корпуса та ротором двигуна, що використовується для обертання корпуса; C_{45} – приведена жорсткість з'єднання між заготовкою, на якій здійснюється нарізання зовнішньої гвинтової поверхні та шпинделем верстата; C_{56} – приведена жорсткість з'єднання між шпинделем верстата та ротором двигуна головного руху верстата; k_{71z} , k_{71y} – лінійні жорсткості різця для нарізання гвинтової поверхні у напрямках осей z та y відповідно.

Також на рисунку 2.2 представлено приведені коефіцієнти демпфування: $\beta_{12\phi}$ – коефіцієнт демпфування з'єднання між корпусом та механізмом приводу обертання корпуса, $\beta_{23\phi}$ – коефіцієнт демпфування з'єднання між механізмом приводу обертання корпуса та ротором двигуна, що використовується для обертання корпуса; $\beta_{45\phi}$ – коефіцієнт демпфування з'єднання між заготовкою, на якій здійснюється нарізання зовнішньої гвинтової поверхні та шпинделем верстата; $\beta_{56\phi}$ – коефіцієнт демпфування з'єднання між шпинделем верстата та ротором двигуна головного руху верстата; β_{71z} , β_{71y} – коефіцієнти демпфування коливань різця для нарізання гвинтової поверхні у напрямках осей z та y відповідно.

На циліндричну заготовку з моментом інерції I_4 та різець із масою m_7 діють змінні у часі складові сили різання $P_z(\tau)$, $P_y(\tau)$ та сила удару P_u .

Під час багаторізцевого нарізання зовнішньої гвинтової поверхні виділено такі основні етапи:

1. Ударна взаємодія різця із поверхнею заготовки із лінійною швидкістю V_k , що прямопропорційна частоті обертання корпуса із різцями та радіуса розміщення вершин різців.

2. Здійснення процесу різання із зростанням максимального значення та спаданням до нуля складових сили різання $P_z(\tau)$, $P_y(\tau)$.

3. Вихід різця із зони різання з наступним затухаючим коливанням різця та заготовки.

Величини складових сили різання $P_z(\tau)$, $P_y(\tau)$ залежать від товщини шару металу, що зрізається за один контакт різця із заготовкою, що в свою чергу залежить від радіуса гвинтової поверхні, що нарізається, частоти обертання заготовки n_1 , частоти обертання корпусу з різцями n_2 .

На основі відомої залежності визначаємо силу удару між різцем та заготовкою [34]:

$$P_u = K_B \cdot \frac{m_7 \cdot V_k}{\tau_k}, \quad (2.1)$$

де K_B - коефіцієнт відновлення;

V_k - лінійна швидкість руху вершини різця;

τ_k - тривалість удару між різцем та заготовкою.

Лінійна швидкість руху вершини різця:

$$V_k = R_1 \omega_2. \quad (2.2)$$

де R_1 - радіус розташування вершини різця відносно центра обертання корпусу.

Час однократного різання заготовки визначаємо за формулою:

$$t_K = \frac{\beta}{\omega_2}, \quad (2.3)$$

де β - кут повороту корпусу, при якому здійснюється однократне різання заготовки різцем.

Кут повороту корпусу, при якому здійснюється однократне різання заготовки різцем визначаємо на основі розрахункової схеми рисунка 2.3 за формулою, виведеної з теореми косинусів:

$$R^2 = e^2 + R_1^2 - 2eR_1 \cos \beta, \quad (2.4)$$

$$\beta = \arccos \left(\frac{e^2 + R_1^2 - R^2}{2eR_1} \right), \quad (2.5)$$

де e - зміщення центру обертання корпусу відносно центру обертання заготовки;
 R – внутрішній радіус гвинтової поверхні.

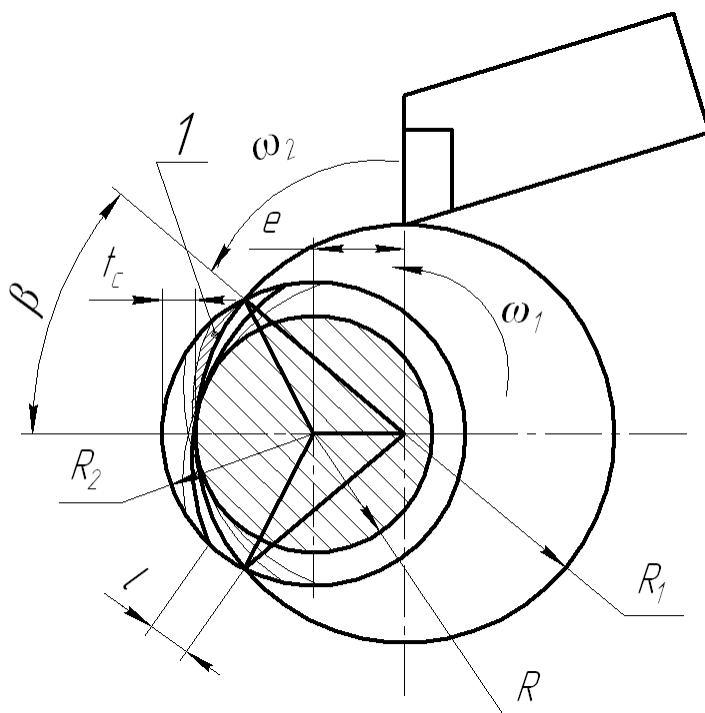


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема для визначення кута повороту корпусу, при якому здійснюється однократне різання заготовки різцем: 1 – шар металу, що зрізається одним різцем при одному оберті корпусу

На основі рівнянь (2.3) та (2.5) одержано час однократного різання заготовки:

$$t_K = \frac{\arccos \left(\frac{R_1^2 + e^2 - R^2}{2R_1 e} \right)}{\omega_2}. \quad (2.6)$$

Час між послідовними врізаннями різців у заготовку:

$$t_1 = \frac{2\pi}{z\omega_2}. \quad (2.7)$$

де z – кількість різців, що рівномірно розміщені на корпусі.

Як узагальнені координати прийнято кути повороту $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6$ елементів розрахункової схеми з відповідними моментами інерції та лінійні переміщення різця y_7, z_7 .

Кінетична енергія механічної системи рисунка 2.2:

$$T = \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{I_3 \cdot \dot{\varphi}_3^2}{2} + \frac{I_4 \cdot \dot{\varphi}_4^2}{2} + \frac{I_5 \cdot \dot{\varphi}_5^2}{2} + \frac{I_6 \cdot \dot{\varphi}_6^2}{2} + \frac{m_7 \cdot \dot{z}_7^2}{2} + \frac{m_7 \cdot \dot{y}_7^2}{2}. \quad (2.8)$$

Потенціальна енергія механічної системи рисунка 2.2:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)^2}{2} + \frac{C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2)^2}{2} + \frac{C_{45} \cdot (\varphi_5 - \varphi_4)^2}{2} + \frac{C_{56} \cdot (\varphi_6 - \varphi_5)^2}{2} + \\ & + \frac{k_{71z} \cdot (R_v \varphi_1 - z_7)^2}{2} + \frac{k_{71y} \cdot y_7^2}{2}. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Функція розсіювання механічної системи рисунка 2.2:

$$\begin{aligned} \Phi = & \frac{\beta_{12\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{23\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2)^2}{2} + \frac{\beta_{45\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_5 - \dot{\varphi}_4)^2}{2} + \frac{\beta_{56\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_6 - \dot{\varphi}_5)^2}{2} + \\ & + \frac{\beta_{71z} \cdot (R_v \dot{\varphi}_1 - \dot{z}_7)^2}{2} + \frac{\beta_{71y} \cdot \dot{y}_7^2}{2}. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Для визначення переміщень елементів механічної системи рисунка 2.2 використано рівняння Лагранжа другого роду. Зокрема, для крутих коливань:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_n} = M(\tau). \quad (2.11)$$

Для лінійних:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{z}_n} = P_u + P_z(\tau), \quad (2.12)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial y_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{y}_n} = P_u + P_y(\tau). \quad (2.13)$$

Використовуюючи рівняння (2.11) – (2.13), виведено систему диференціальних рівнянь, що описують коливання елементів механічної системи рисунка 2.2:

$$\left. \begin{aligned} & I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{12\varphi} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + k_{71z} (R_1 \varphi_1 - z_7) R_1 + \\ & + \beta_{71z} (R_1 \dot{\varphi}_1 - \dot{z}_7) R_1 = (P_z(\tau) + P_u) R_1; \\ & I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + \beta_{12\varphi} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) + C_{23} \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) + \beta_{23\varphi} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) = 0; \\ & I_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 + C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2) + \beta_{23\varphi} (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2) = M_{d2}; \\ & I_4 \cdot \ddot{\varphi}_4 + C_{45} \cdot (\varphi_4 - \varphi_5) + \beta_{45\varphi} (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_5) = (P_z(\tau) + P_u) R_1; \\ & I_5 \cdot \ddot{\varphi}_5 + C_{45} \cdot (\varphi_5 - \varphi_4) + \beta_{45\varphi} (\dot{\varphi}_5 - \dot{\varphi}_4) + C_{56} \cdot (\varphi_5 - \varphi_6) + \beta_{56\varphi} (\dot{\varphi}_5 - \dot{\varphi}_6) = 0; \\ & I_6 \cdot \ddot{\varphi}_6 + C_{56} \cdot (\varphi_6 - \varphi_5) + \beta_{56\varphi} (\dot{\varphi}_6 - \dot{\varphi}_5) = M_{d1}; \\ & m_7 \cdot \ddot{z}_7 - k_{71z} (R_1 \varphi_1 - z_7) - \beta_{71z} (R_1 \dot{\varphi}_1 - \dot{z}_7) = P_u + P_z(\tau); \\ & m_7 \cdot \ddot{y}_7 + k_{71y} y_7 + \beta_{71y} \dot{y}_7 = P_u + P_y(\tau). \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

де M_{d2} – крутний момент на роторі двигуна, що приводить в рух корпус;

M_{d1} – крутний момент на роторі двигуна головного руху верстата.

Співвідношення між крутними моментами:

$$M_{d2} = \frac{R_1}{R} M_{d1}. \quad (2.15)$$

Для розв’язку системи диференціальних рівнянь (2.14) використано нульові початкові умови, при цьому для часу $\tau = 0$ прийнято:

$$\varphi_1(0) = 0, \varphi_2(0) = 0, \varphi_3(0) = 0, \varphi_4(0) = 0, \varphi_5(0) = 0, \varphi_6(0) = 0, z_7(0) = 0,$$

$$y_7(0) = 0, \dot{\phi}_1(0) = 0, \dot{\phi}_2(0) = 0, \dot{\phi}_3(0) = 0, \dot{\phi}_4(0) = 0, \dot{\phi}_5(0) = 0, \dot{\phi}_6(0) = 0, \\ \dot{z}_7(0) = 0, \dot{y}_7(0) = 0. \quad (2.16)$$

Величини складових сили різання P_z, P_y можна визначити за емпіричними залежностями:

$$P_z = C_{Pz} t^x S^y V^n; \quad (2.17)$$

$$P_y = C_{Py} t^x S^y V^n, \quad (2.18)$$

де вказано показники степені, коефіцієнти та режими різання, що одержують на основі статистичної обробки результатів експериментальних досліджень.

Систему диференціальних рівнянь (2.14) з нульовими початковими умовами розв'язано чисельним методом Рунге-Кутта із використанням прикладного програмного забезпечення із виведенням графічних залежностей деформацій елементів приведеної системи багаторізевого нарізання зовнішньої гвинтової поверхні. Зокрема, графічні залежності зміни кута деформації заготовки в часі представлено на рисунку 2.4, зміни величини лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі - на рисунку 2.5, зміни швидкості деформації заготовки в часі - на рисунку 2.6, зміни швидкості лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі - на рисунку 2.7.

Приведені коефіцієнти жорсткості та демпфування а також моменти інерції складових елементів системи диференціальних рівнянь (2.14) визначались на основі даних експериментальних досліджень та аналітичних методів.

Із графіків рисунків 2.4, 2.5 при двох послідовних врізаннях різця встановлено, що найбільші деформації заготовки та різця в процесі різання виникають в момент удару цих елементів та врізання різця у заготовку, оскільки при цьому виникають найбільші сили різання, які поступово знижуються до нуля. Після завершення різання відбувається затухання коливань заготовки та різця. При наступному врізанні різця початкові координати визначаються координатами заготовки та різця в момент врізання.

Найбільший кут деформації заготовки складає 0,0045 рад. Найбільший величина лінійної деформації різця в напрямку осі z складає 0,003 мм.

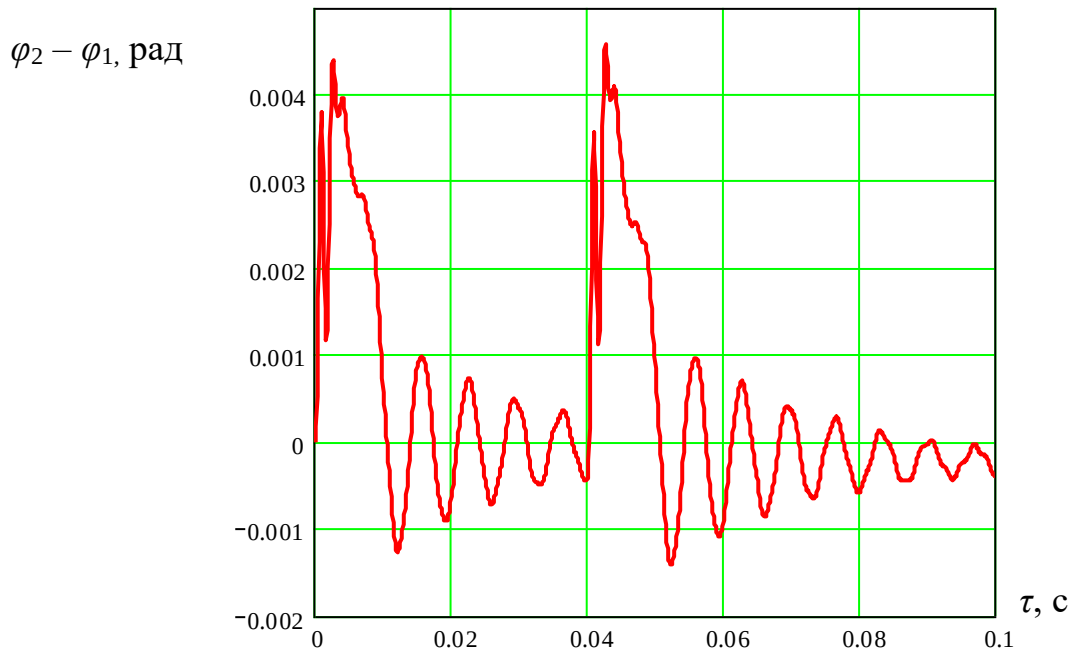


Рисунок 2.4 - Графік залежності зміни кута деформації заготовки в часі

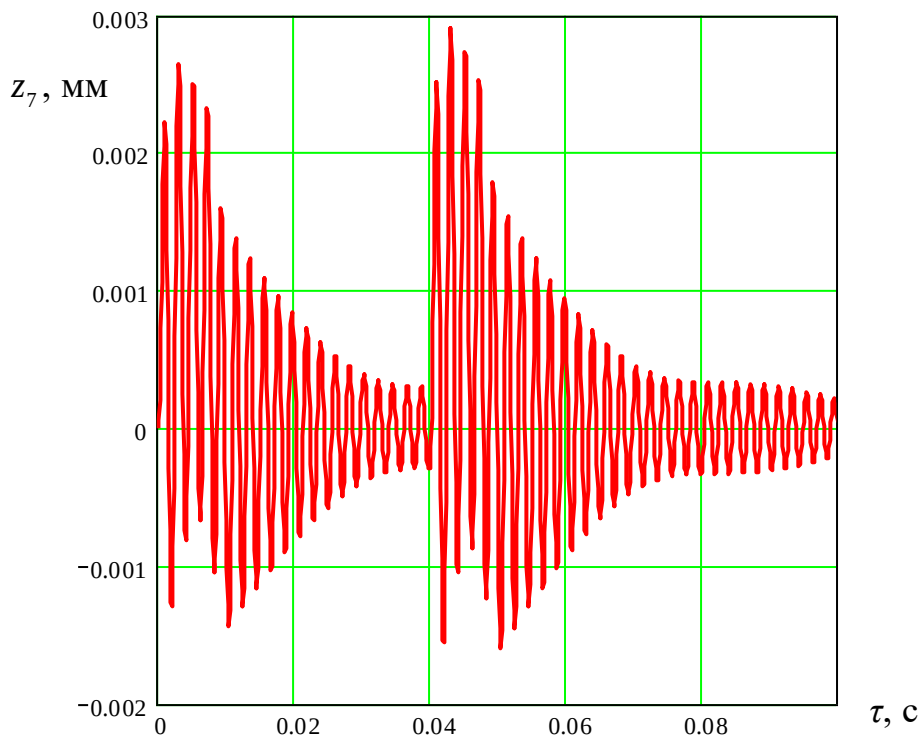


Рисунок 2.5 - Графік залежності величини лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі

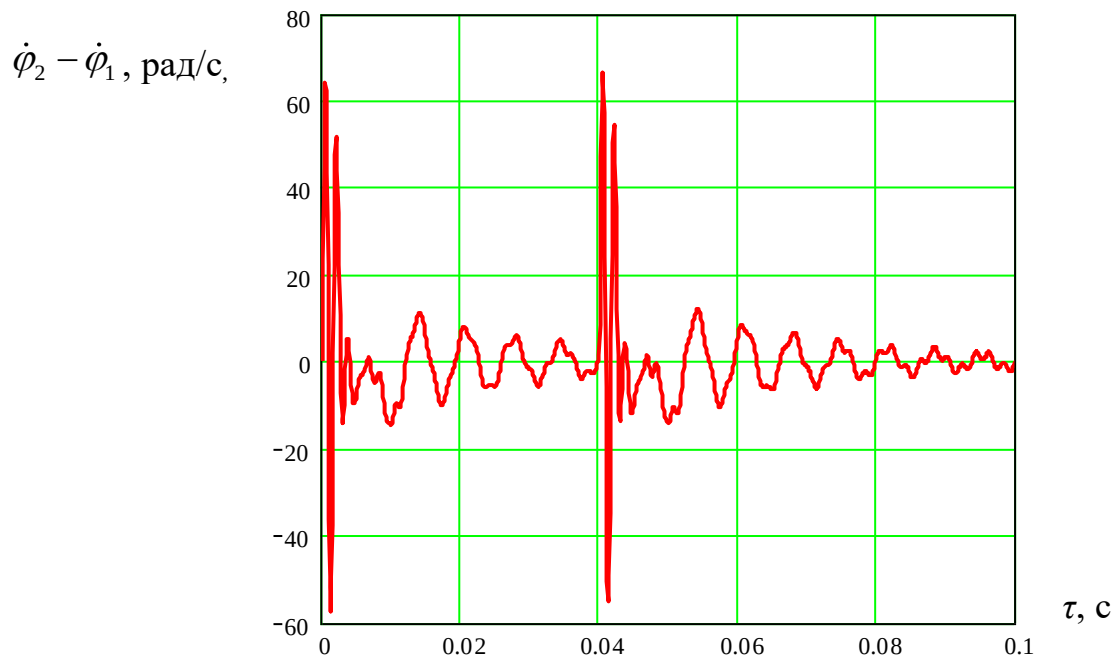


Рисунок 2.6 - Графік залежності зміни швидкості деформації заготовки в часі

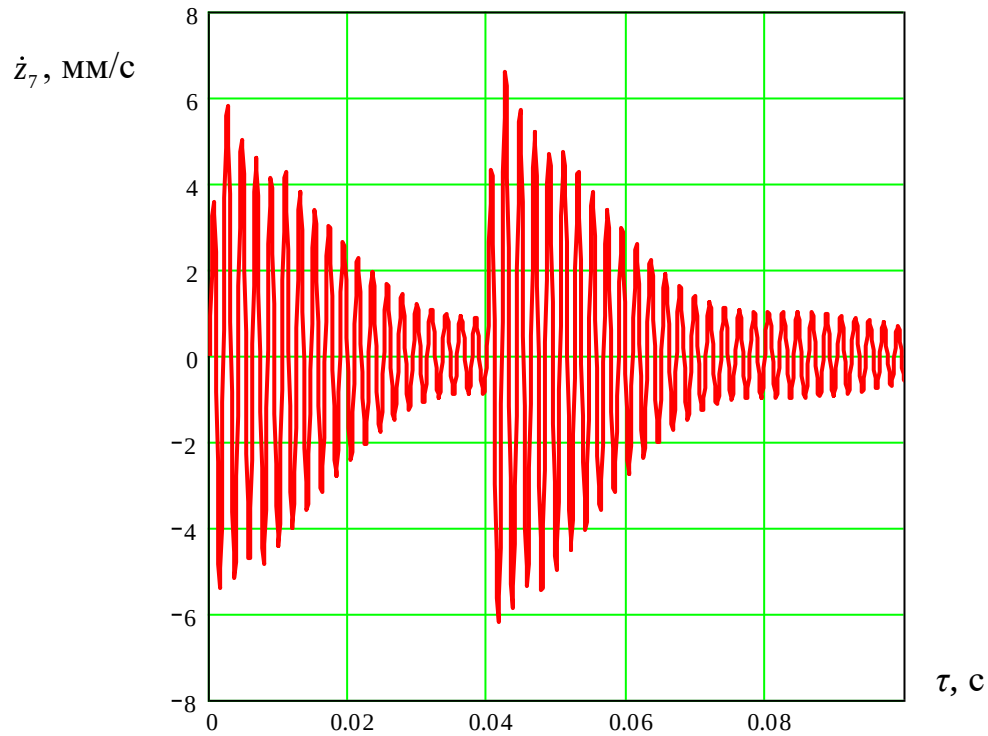


Рисунок 2.7 - Графік залежності величини швидкості деформації різця в напрямку осі z в часі

2.2. Результати експериментальних досліджень сили різання при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь

На основі реалізованої технології експерименту, використовуючи схему багаторізцевого токарного оброблення гвинтових поверхонь (рис. 2.1), проведено експериментальні дослідження величини сили різання P_z . Вимірювання сили різання виконувалось за допомогою частотного перетворювача, що був приєднаний до двигуна приводу обертання корпусу із різцями. Частотний перетворювач, приєднувався до персонального комп'ютера із відповідним програмним забезпеченням, що дозволяє виконувати збір інформації про крутний момент на двигуні приводу обертання корпусу із різцями. Отримане значення крутного моменту ділили на радіус розташування вершини різців у корпусі для одержання значення сили різання.

Для планування та реалізації експериментальних досліджень використано план-матрицю факторного експерименту, що включала три незалежні змінні вхідні фактори, зміна яких виконувалась на трьох рівнях. На основі попереднього комп'ютерного моделювання, аналізу інформаційних джерел встановлено, що основними факторами, які впливають на величину сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь є: частота обертання циліндричної заготовки n_1 , частота обертання корпусу із різцями n_2 та зовнішній радіус циліндричної заготовки R_2 .

Величину сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь в результаті оброблення статистичних даних експерименту представлено у вигляді функції $P_z = f(n_1, n_2, R_2)$.

Для кожного із факторів встановлено межі варіювання:

- частота обертання циліндричної заготовки $n_1 = 12 - 28$ об/хв;
- частота обертання корпусу із різцями $n_2 = 900 - 1500$ об/хв;
- радіус циліндричної заготовки $R_2 = 12 - 18$ мм.

Визначено нульові рівні кожного із факторів:

- для частоти обертання циліндричної заготовки n_1 :

$$X_{01} = \frac{12 + 28}{2} = 20 \text{ (об/хв)}; \quad (2.19)$$

- для частоти обертання корпусу із різцями n_2 :

$$X_{02} = \frac{900 + 1500}{2} = 1200 \text{ (об/хв)}; \quad (2.20)$$

- для радіуса циліндричної заготовки R_2 :

$$X_{03} = \frac{12 + 18}{2} = 15 \text{ (мм)}. \quad (2.21)$$

Інтервали варіювання факторів та їх кодовані значення:

$$\Delta X_1 = \frac{28 - 12}{2} = 8 \text{ (об/хв)}; \quad x_1 = \frac{n_1 - 20}{8}; \quad (2.22)$$

$$\Delta X_2 = \frac{1500 - 900}{2} = 300 \text{ (об/хв)}; \quad x_2 = \frac{n_2 - 1200}{300}; \quad (2.23)$$

$$\Delta X_3 = \frac{18 - 12}{2} = 3 \text{ (мм)}; \quad x_3 = \frac{R_2 - 15}{3}. \quad (2.24)$$

Результати аналізу змінних факторів, які визначають величину сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь та рівні їх варіювання представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Фактори, які визначають величину сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Частота обертання циліндричної заготовки	n_1 , об/хв	x_1	8	28 (+1)	20 (0)	12 (-1)
Довжина заготовки	L , мм	x_2	300	1500 (+1)	1200 (0)	900 (-1)
Діаметр заготовки	D , мм	x_3	3	18 (+1)	15 (0)	12 (-1)

Для моделювання впливу змінних факторів на величину сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь використано рівняння регресії другої степені. Значущість коефіцієнтів одержаного рівняння регресії визначали за критерієм Стюдента. Значення коефіцієнтів одержаного рівняння регресії представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коеф.	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Сталь 45	91,94	42,24	-31,46	-18,04	-14,58	-4,68	4,125	-0,144	14,16	-13,34

Рівняння регресії величини сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь залежно від зміни: частоти обертання циліндричної заготовки n_1 , частоти обертання корпусу із різцями n_2 та зовнішнього радіуса циліндричної заготовки R_2 тобто $P_{z(x_1, x_2, x_3)} = f(n_1, n_2, R_2)$ за результатами експериментів у кодованих величинах:

$$P_{z(x_1, x_2, x_3)} = 91,94 + 42,24x_1 - 31,46x_2 - 18,04x_3 - 14,58x_1x_2 - 4,68x_1x_3 + 4,125x_2x_3 - 0,144x_1^2 + 14,16x_2^2 - 13,34x_3^2, \quad (2.25)$$

де x_1 - кодоване значення частоти обертання циліндричної заготовки n_1 ; x_2 - кодоване значення частоти обертання корпусу із різцями n_2 ; x_3 - кодоване значення радіуса циліндричної заготовки R_2 .

Усі коефіцієнти рівняння регресії (2.25) є значущими.

У натуральних величинах рівняння регресії сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь має вигляд:

$$P_{z(n_1, n_2, R_2)} = 60,3 + 9,695n_1 - 0,23n_2 + 12R_2 - 3,65 \cdot 10^{-3}n_1n_2 - 0,0936n_1R_2 + 2,062 \cdot 10^{-3}n_2R_2 - 1,44 \cdot 10^{-3}n_1^2 + 8,85 \cdot 10^{-5}n_2^2 - 0,534R_2^2. \quad (2.26)$$

Використовуючи рівняння регресії (2.26) побудовано графіки, поверхні відгуку та їх двомірні перерізи залежності величини сили різання P_z при

багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь залежно від зміни: частоти обертання циліндричної заготовки n_1 , частоти обертання корпусу із різцями n_2 та зовнішнього радіуса циліндричної заготовки R_2 (рис. 2.8 – 2.14).

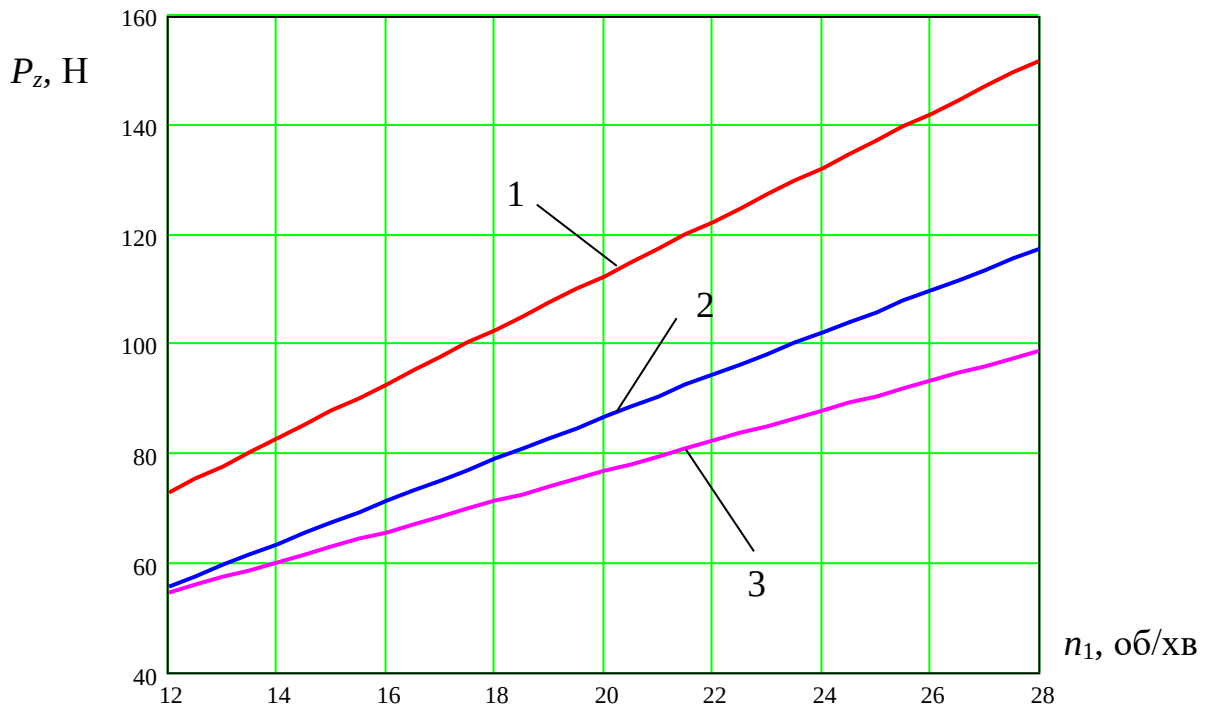


Рисунок 2.8 – Графіки залежності сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь від зміни частоти обертання циліндричної заготовки n_1 , $R_2 = 15$ мм:

1) $n_2 = 900$ об/хв; 2) $n_2 = 1200$ об/хв; 3) $n_2 = 1500$ об/хв

Рівняння регресії у кодованих (2.25) та натуральних (2.26) величинах дозволяють прогнозувати величину сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь при таких параметрах:

$$12 \leq n_1 \leq 28 \text{ (об/хв)}; 900 \leq n_2 \leq 1500 \text{ (об/хв)}; 12 \leq R_2 \leq 18 \text{ (мм)}.$$

В результаті проведено аналізу графіків встановлено, що найбільший вплив на величину сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь має частота обертання циліндричної заготовки n_1 . Менший вплив має частота обертання корпусу із різцями n_2 і найменший - радіус циліндричної заготовки R_2 .

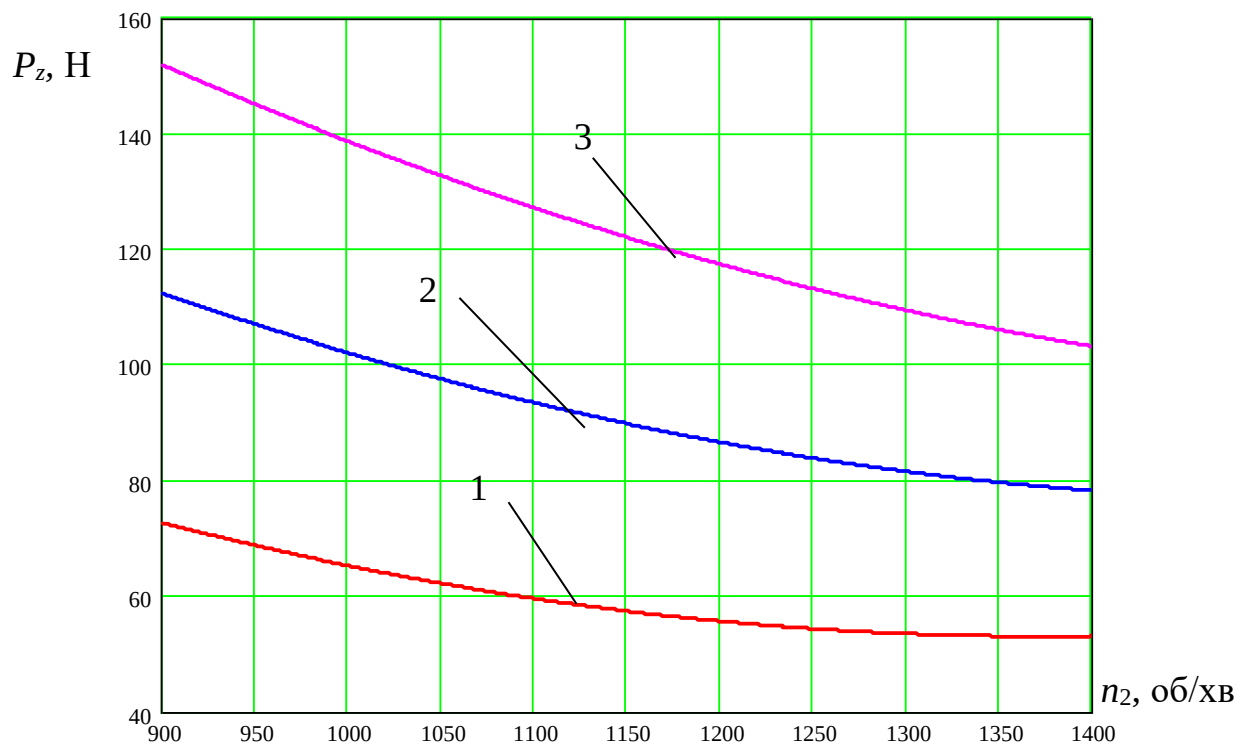


Рисунок 2.9 – Графіки залежності сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь від зміни частоти обертання корпуса із різцями n_2 , $R_2 = 15$ мм: 1) $n_1 = 12$ об/хв; 2) $n_1 = 20$ об/хв; 3) $n_1 = 28$ об/хв

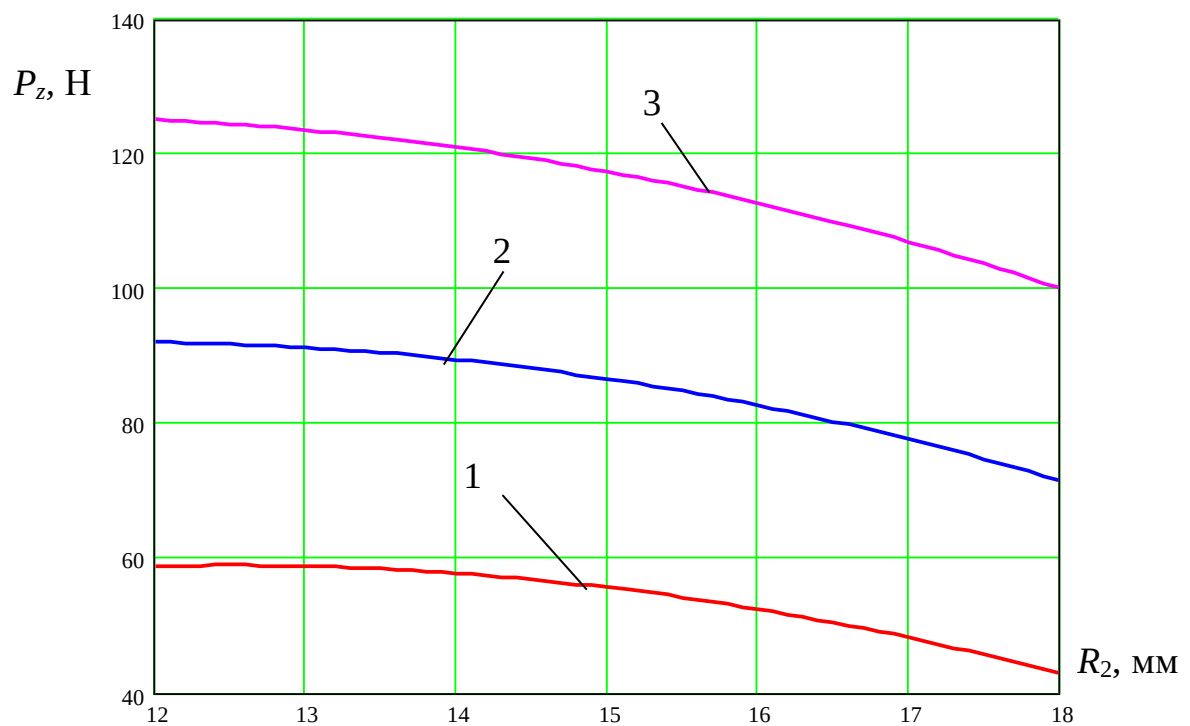
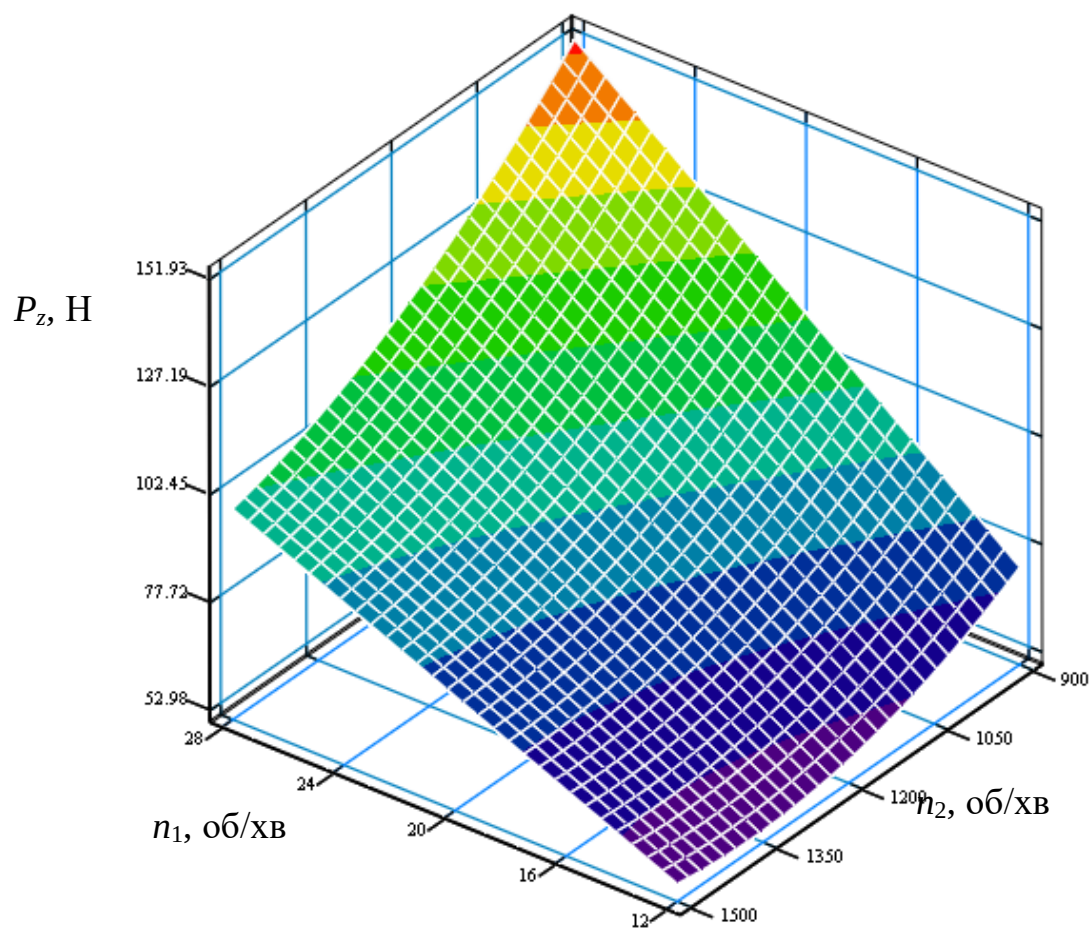
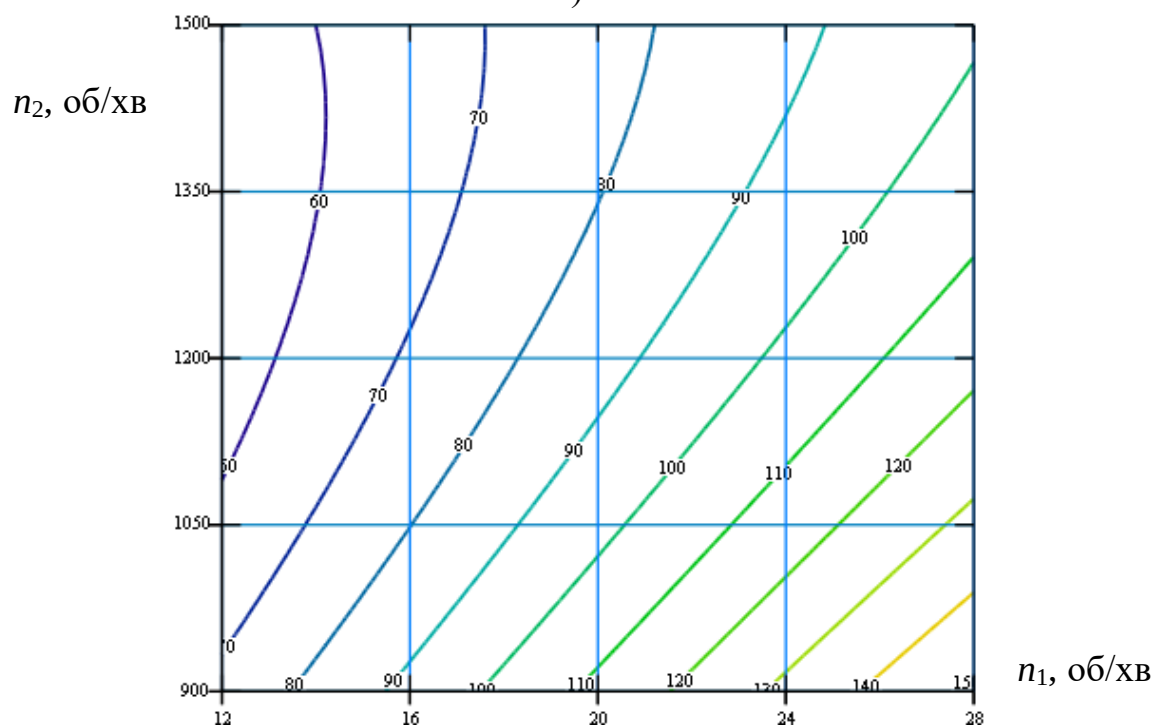


Рисунок 2.10 – Графіки залежності сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь від зміни радіуса циліндричної заготовки R_2 , $n_2 = 1200$ об/хв: 1) $n_1 = 12$ об/хв; 2) $n_1 = 20$ об/хв; 3) $n_1 = 28$ об/хв

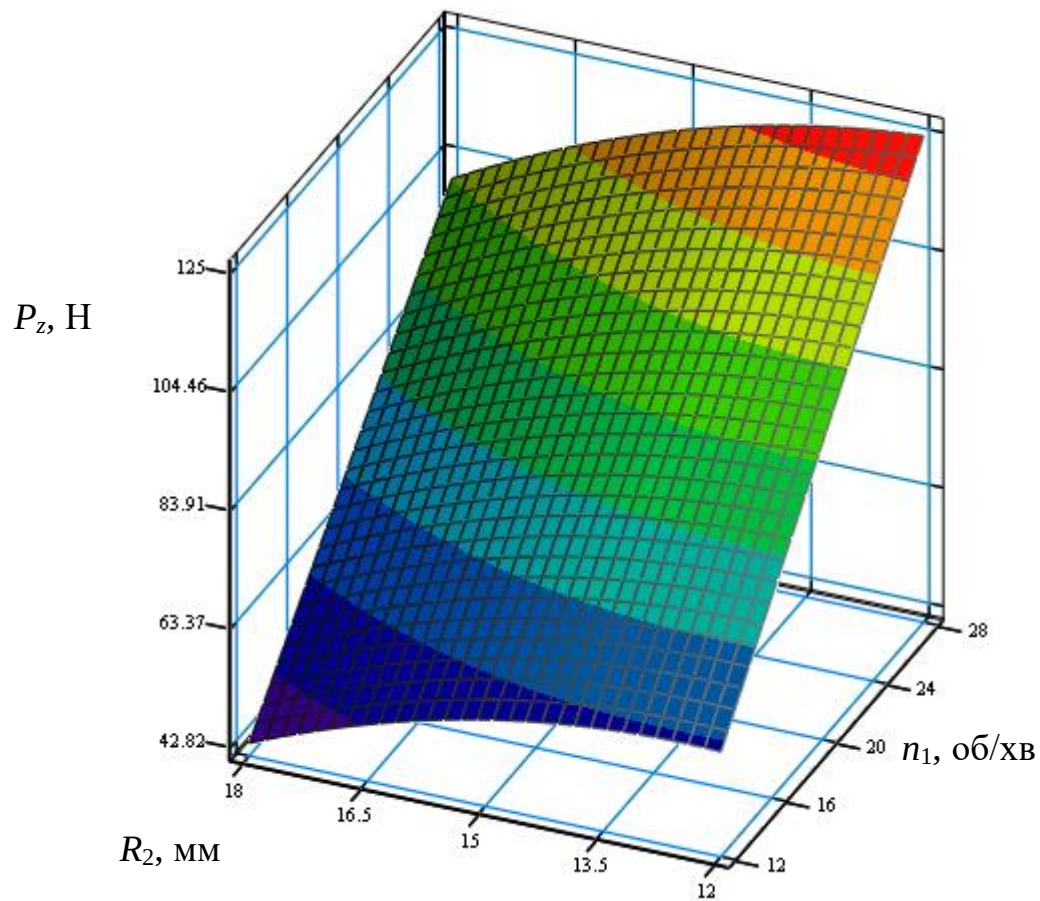


а)

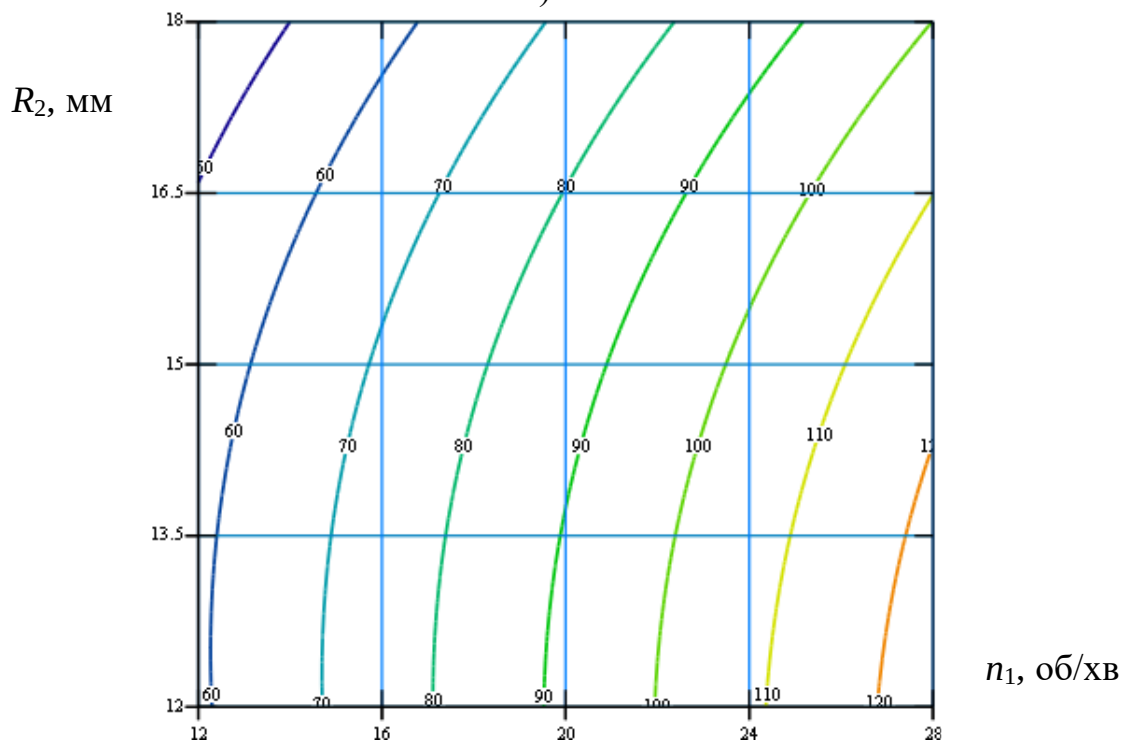


б)

Рисунок 2.11 - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності сили різання P_z при багаторіздевому токарному обробленні гвинтових поверхонь від зміни частоти обертання циліндричної заготовки n_1 та частоти обертання корпуса із різцями n_2 ($R_2 = 15$ мм)

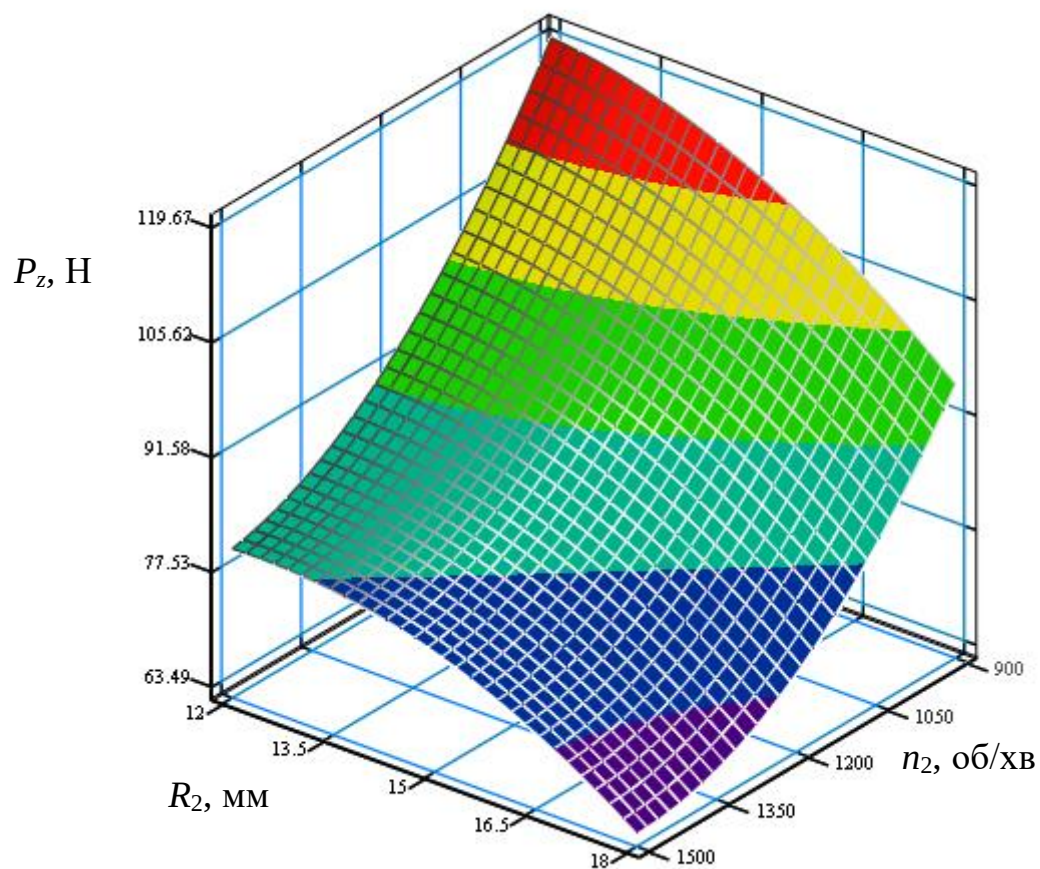


а)

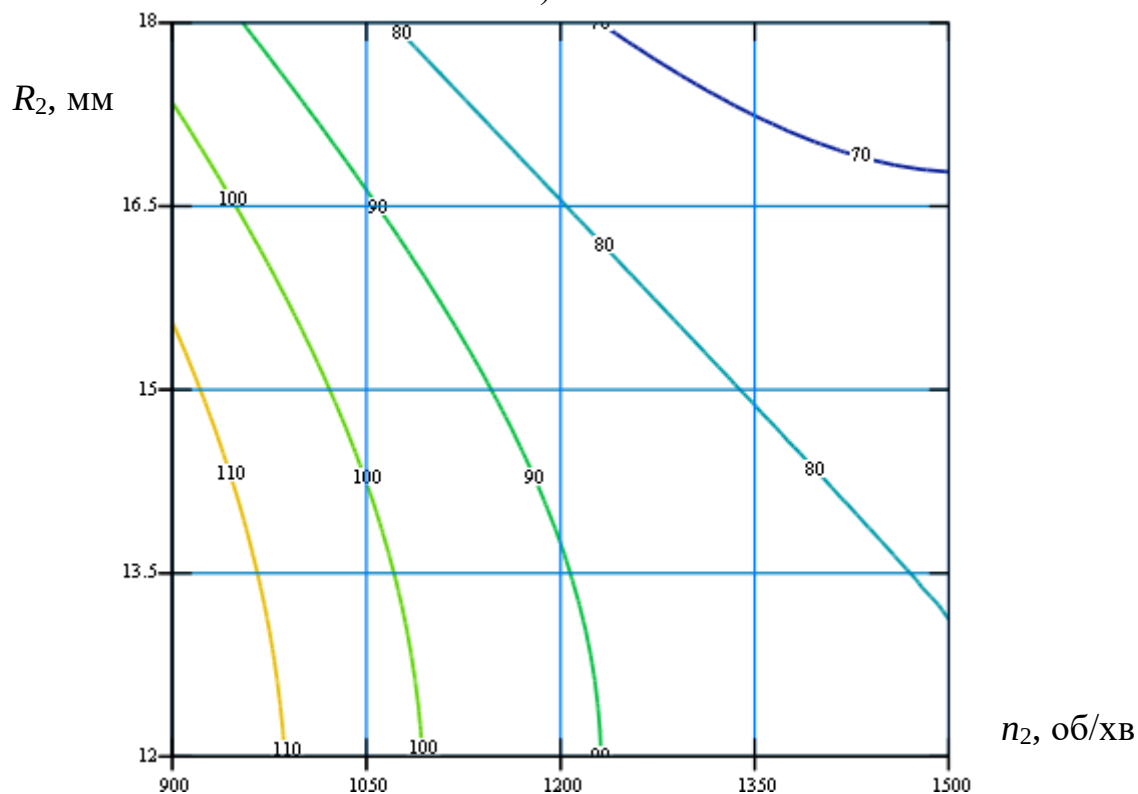


б)

Рисунок 2.12 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь від зміни частоти обертання циліндричної заготовки n_1 та радіуса циліндричної заготовки R_2 ($n_2 = 1200$ об/хв)



а)



б)

Рисунок 2.14 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь від зміни частоти обертання корпуса із різцями n_2 та радіуса циліндричної заготовки R_2 ($n_1 = 20$ об/хв)

При збільшенні частоти обертання циліндричної заготовки n_1 величина сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь зростає, а при збільшенні частоти обертання корпусу із різцями n_2 , радіуса циліндричної заготовки R_2 – зменшується.

Максимальне значення величини сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь становить 205 Н, а мінімальне – 25 Н. Збільшення частоти обертання циліндричної заготовки n_1 від 12 об/хв до 28 об/хв призводить до зростання сили різання P_z в 2,4 рази, збільшення частоти обертання корпусу із різцями n_2 від 900 об/хв до 1500 об/хв призводить до зменшення сили різання P_z в 1,95 рази, а збільшення радіуса циліндричної заготовки R_2 від 12 мм до 18 мм призводить до зменшення сили різання P_z в 1,77 рази.

2.3. Висновки

У розділі для токарного оброблення зовнішньої гвинтової поверхні на циліндричній деталі розроблено спеціальний багаторізцевий інструмент. Проведено дослідження динаміки багаторізцевого токарного оброблення зовнішньої гвинтової поверхні на основі сформованої динамічної моделі, що включає приведену систему основних конструктивних елементів процесу різання, відкидаючи другорядні фактори. Визначено кут повороту корпусу, при якому здійснюється однократне різання заготовки різцем.

Для визначення переміщень елементів механічної системи використано рівняння Лагранжа другого роду. На основі цього рівняння виведено систему диференціальних рівнянь, що описують коливання елементів механічної системи. Систему диференціальних рівнянь з нульовими початковими умовами розв'язано чисельним методом Рунге-Кутта із використанням прикладного програмного забезпечення із виведенням графічних залежностей деформацій елементів приведеної системи багаторізцевого нарізання зовнішньої гвинтової

поверхні. Зокрема, графічні залежності зміни кута деформації заготовки в часі, величини лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі, зміни швидкості деформації заготовки в часі, зміни швидкості лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі.

Із графіків встановлено, що при двох послідовних врізаннях різця найбільші деформації заготовки та різця в процесі різання виникають в момент удару цих елементів та врізання різця у заготовку, оскільки при цьому виникають найбільші сили різання, які поступово знижуються до нуля. Після завершення різання відбувається затухання коливань заготовки та різця. При наступному врізанні різця початкові координати визначаються координатами заготовки та різця в момент врізання. Найбільший кут деформації заготовки складає $0,0045$ рад. Найбільший величина лінійної деформації різця в напрямку осі z складає $0,003$ мм.

Представлено результати експериментальних досліджень сили різання при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь. Встановлено, що найбільший вплив на величину сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь має частота обертання циліндричної заготовки n_1 . Менший вплив має частота обертання корпусу із різцями n_2 і найменший - радіус циліндричної заготовки R_2 . При збільшенні частоти обертання циліндричної заготовки n_1 величина сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь зростає, а при збільшенні частоти обертання корпусу із різцями n_2 , радіуса циліндричної заготовки R_2 - зменшується. Максимальне значення величини сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь становить 205 Н, а мінімальне - 25 Н. Збільшення частоти обертання циліндричної заготовки n_1 від 12 об/хв до 28 об/хв призводить до зростання сили різання P_z в $2,4$ рази, збільшення частоти обертання корпусу із різцями n_2 від 900 об/хв до 1500 об/хв призводить до зменшення сили різання P_z в $1,95$ рази, а збільшення радіуса циліндричної заготовки R_2 від 12 мм до 18 мм призводить до зменшення сили різання P_z в $1,77$ рази.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Фланець” 974.284.008 є складовою частиною промислового світильника, призначеного для освітлення складських і виробничих приміщень. Особливістю конструкції даних світильників є наявність елементів захисту від загоряння і вибуху матеріалів, що можуть утворитись у повітрі виробничих приміщень.

Основними поверхнями деталі, що визначають її поєднання з іншими елементами світильника є: різьбовий отвір $G\frac{3}{4}-B$; Ra6,3 для загвинчування сальника системи підведення кабелю; отвір $\varnothing 17H7^{(+0,018)}$; Ra1,6 для направлення кабеля; зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 36h14_{(-0,62)}$; Ra12,5 для встановлення фланця в отворі корпусу світильника; торцева поверхня $52h14_{(-0,74)}$; Ra12,5 для взаємного розміщення фланця та корпусу; внутрішня фаска $3\times 45^\circ$; Ra12,5 для спрощення процесу монтажу кабеля та запобігання його пошкодженню; чотири отвори з різьбою M3-7H; $32\pm 0,2$, $20\pm 0,2$ для кріплення захисної кришки; два отвори $\varnothing 8H14^{(+0,36)}$; $55\pm 0,2$, Ra12,5 для приєднання фланця до корпусу світильника двома гвинтами; отвір з різьбою M6-7H, Ra 6,3, торцева поверхня $14h14_{(-0,43)}$ для кріплення елемента системи монтажу світильника.

Решта поверхонь визначають конструктивні особливості корпусу.

Основні технічні вимоги до основних поверхонь деталі представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз технічних вимог

Номер поверхні	Назва поверхні	Квалітет	Шорсткість, мкм
1	2	3	4
1	Отвір $\varnothing 4,95^{+0,26}$; 14; $41\pm 0,2$ під різьбу M6-7H	14	Ra12,5
2, 3	Два отвори $\varnothing 8H14^{(+0,36)}$; $55\pm 0,2$	14	Ra12,5

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
4	Внутрішня фаска $3 \times 45^\circ$	14	Ra12,5
5-8	Чотири фаски $0,5 \times 45^\circ$	14	Ra12,5
9	Зовнішня фаска $2 \times 45^\circ$	14	Ra12,5
10	Зовнішня канавка $b=3H14^{(+0,3)};$ $\varnothing 34h14_{(-0,62)}; 45^\circ \pm 1^\circ$	14	Ra12,5
11	Отвір $\varnothing 17H7^{(+0,018)}$	7	Ra1,6
12	Отвір $\varnothing 24,17^{+0,28}$ під різьбу $G \frac{3}{4} - B; 35$	12	Ra12,5
14, 15	Торцева поверхня $52h14_{(-0,74)}$	14	Ra12,5
16	Отвір з різьбою $G \frac{3}{4} - B; 30$	12	Ra6,3
17	Внутрішня фаска $2 \times 45^\circ$	14	Ra12,5
18-21	Чотири отвори з різьбою M3-7H; 7	(7)	Ra6,3
22	Внутрішня фаска $1 \times 45^\circ$	14	Ra12,5
23, 24	Торцева поверхня $14h14_{(-0,43)}$	14	Ra12,5
25	Отвір з різьбою M6-7H; 14	(7)	Ra6,3
26-29	Чотири отвори $\varnothing 2,5^{+0,14}; 10; 20 \pm 0,2; 32 \pm 0,2$ під різьбу M3-7H	12	Ra6,3
30	Торцева поверхня $17 \pm 0,2$	14	Ra12,5
31	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 36h14_{(-0,62)}$	14	Ra12,5

Елементи базового технологічного процесу виготовлення фланця представлено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Елементи базового технологічного процесу виготовлення фланця 974.284.008

Операція	Технологічне обладнання	Технологічне оснащення
1	2	3
005 Вертикально-фрезерна	Вертикально-фрезерний верстат 6P12	Пристрій спеціальний із пневмозатиском
010 Вертикально-фрезерна	Вертикально-фрезерний верстат 6P12	Пристрій спеціальний із пневмозатиском

Закінчення таблиці 3.2

1	2	3
015 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний верстат 16K20	Патрон із спеціальними V-подібними кулачками
020, 025 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2Н125	Кондуктори спеціальні із пневмозатиском
030, 035, 045 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2Н125	Кондуктори спеціальні із пневмозатиском
040, 050 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2Н125	Підставка спеціальна із пневмозатиском
055-065 Різенарізна	Різенарізний верстат 2056	Підставка спеціальна із пневмозатиском

3.2. Вибір способу одержання заготовки

Матеріал деталі “Фланець” 974.284.008 алюмінієво-кремнієвий сплав АК12, що забезпечує технічні умови експлуатації та захисту світильника. Вказаний матеріал має високі показники рідкотекучості та добрі ливарні властивості.

Для умов великосерійного типу виробництва проведено порівняння двох методів отримання заготовки:

Перший метод - лиття в піщані форми.

Другий метод - лиття під високим тиском.

Оскільки фланець є складної форми масу заготовки визначено за рівнянням:

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

$q = 0,14$ кг – маса деталі.

Маса припуску:

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

Результати розрахунків припусків для поверхонь фланця, що необхідно обробляти механічним способом представлено у таблиці 3.3.

Ескізи варіанту заготовки для виготовлення фланця представлено на рис. 3.1 для лиття в піщані форми, на рис. 3.2 - для лиття під високим тиском.

За рівнянням (3.2) розраховуємо об'єми припусків запропонованих двох варіантів заготовок.

Таблиця 3.3 – Припуски деталі “Фланець” 974.284.008

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями, мм
1	2	3	4	5
1) лиття в піщані форми				
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 36h14_{(-0,62)}$	Ra12,5	2,0	$2,6 \times 2 = 5,2$	$\varnothing 41,2 \pm 1$
Торцева поверхня $14h14_{(-0,43)}$	Ra12,5	1,6	$2,2 \times 2 = 4,4$	$18,4 \pm 0,8$
Торцева поверхня $17 \pm 0,2$	Ra12,5	1,6	2,2	$14,8 \pm 0,8$ (на кресленні $17,4 \pm 0,8$)
Отвір $\varnothing 17H7^{(+0,018)}$	Ra1,6	1,8	$3,0 \times 2 = 6$	$\varnothing 11 \pm 0,9$
Торцева поверхня $52h14_{(-0,74)}$	Ra12,5	2,2	$2,6 \times 2 = 5,2$	$57,2 \pm 1,1$
2) лиття під високим тиском:				
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 36h14_{(-0,62)}$	Ra12,5	0,8	$1,1 \times 2 = 2,2$	$\varnothing 38,2 \pm 0,4$
Торцева поверхня $14h14_{(-0,43)}$	Ra12,5	0,6	$1,0 \times 2 = 2,0$	$16 \pm 0,3$
Торцева поверхня $17 \pm 0,2$	Ra12,5	0,6	1,0	$16 \pm 0,3$ (на кресленні $17,1 \pm 0,3$)
Отвір $\varnothing 17H7^{(+0,018)}$	Ra1,6	0,8	$1,2 \times 2 = 2,4$	$\varnothing 14,6 \pm 0,4$
Торцева поверхня $52h14_{(-0,74)}$	Ra12,5	0,9	$1,1 \times 2 = 2,2$	$54,2 \pm 0,45$
Отвір $\varnothing 24,17^{+0,28}$	Ra12,5	0,7	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 22,17 \pm 0,35$
Два отвори $\varnothing 8H14^{(+0,36)}$	Ra12,5	0,6	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 6 \pm 0,3$

Об'єми припусків циліндричної форми:

$$V_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4}, \quad (3.3)$$

де D – діаметральний розмір, мм;

H – величина припуску, мм.

- лиття в піщані форми:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot (31,8^2 - 11^2) \cdot 2,6}{4} = 1817 \text{ мм}^3$$

$$V_2 = 98,85 \cdot 2,2 = 217 \text{ мм}^3.$$

$$V_3 = 500 \cdot 2 \cdot 2,2 = 2200 \text{ мм}^3.$$

$$V_4 = \frac{\pi \cdot (24,17^2 - 11^2) \cdot 36}{4} = 13090 \text{ мм}^3.$$

$$V_5 = \frac{\pi \cdot (17^2 - 11^2) \cdot 14,5}{4} = 1912 \text{ мм}^3.$$

$$V_6 = \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 14}{4} = 396 \text{ мм}^3.$$

$$V_7 = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2 \cdot 4}{4} = 402 \text{ мм}^3.$$

$$V_8 = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 3^2 \cdot 10}{4} = 283 \text{ мм}^3.$$

$$V_9 = \frac{\pi \cdot (41,2^2 - 11^2) \cdot 2,6}{4} = 3218 \text{ мм}^3$$

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

$$V_{\text{np}} = 1817 + 217 + 2200 + 13090 + 1912 + 396 + \\ + 402 + 283 + 3218 = 23535 \text{ мм}^3 = 23,54 \text{ см}^3.$$

— ЛИТТЯ ПІД ВИСОКИМ ТИСКОМ:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot (31,8^2 - 22,17^2) \cdot 1,1}{4} = 449 \text{ мм}^3$$

$$V_2 = 98,85 \cdot 1 = 99 \text{ мм}^3.$$

$$V_3 = 500 \cdot 2 \cdot 1 = 1000 \text{ мм}^3.$$

$$V_4 = \frac{\pi \cdot (24,17^2 - 22,17^2) \cdot 36}{4} = 2619 \text{ мм}^3.$$

$$V_5 = \frac{\pi \cdot (18^2 - 14,6^2) \cdot 14,5}{4} = 1262 \text{ мм}^3.$$

$$V_6 = 2 \cdot \frac{\pi \cdot (8^2 - 6^2) \cdot 4}{4} = 176 \text{ мм}^3.$$

$$V_7 = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 3^2 \cdot 10}{4} = 283 \text{ мм}^3.$$

$$V_8 = \frac{\pi \cdot (38,2^2 - 14,6^2) \cdot 1,1}{4} = 1076 \text{ мм}^3.$$

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

$$V_{\text{пр}} = 449 + 99 + 1000 + 13090 + 2619 + 1262 + \\ + 176 + 283 + 1076 = 6964 \text{ мм}^3 = 6,97 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

– лиття в піщані форми:

$$m_{\text{пр1}} = 23,54 \cdot 2,6 = 61,2 \text{ (г)} \approx 0,0612 \text{ кг.}$$

– лиття під високим тиском:

$$m_{\text{пр2}} = 6,97 \cdot 2,6 = 18,122 \text{ г} \approx 0,0181 \text{ кг.}$$

Визначаємо маси заготовок:

– лиття в піщані форми:

$$Q_1 = 0,14 + 0,0612 = 0,2012 \text{ кг.}$$

– лиття під низьким тиском:

$$Q_2 = 0,14 + 0,0181 = 0,1581 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.4)$$

– лиття в піщані форми:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{0,14}{0,2012} = 0,7.$$

– лиття під тиском:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{0,14}{0,1581} = 0,89.$$

Для умов великосерійного типу виробництва, забезпечення технічних вимог та конструктивних параметрів деталі “Фланець” 974.284.008 вибираємо спосіб виготовлення заготовки - лиття під високим тиском.

3.3. Формування технологічного процесу

Проводимо проектування технологічного процесу механічної обробки деталі “Фланець” 974.284.008.

В проектному варіанті відповідно до великосерійного типу виробництва пропонуємо токарну обробку поверхонь та розточування отворів деталі виконувати на токарному шестишпиндельному напівавтоматі замість звичайних токарно-гвинторізних верстатів. Для одночасного оброблення всіх різьбових отворів запропоновано використовувати агрегатний верстат, замість послідовного оброблення отворів на вертикально-свердлильних та різенарізних верстатах.

005 Вертикально-фрезерна

1. Фрезерування остаточне двох торців 1 і 23 у розміри $53,1_{-0,74}$; $16_{-0,43}$.

010 Вертикально-фрезерна

1. Фрезерування торця 14 у розмір $14_{-0,43}$.

015 Токарна напівавтоматна операція

Позиція II. Підрізання остаточне торця 15, підрізання остаточне торця 30, проточування зовнішньої канавки 10, проточування зовнішньої фаски 9 з поперечного супорта одночасне у розміри $52_{-0,74}$; $17 \pm 0,2$; $3^{+0,3}$; $\varnothing 34_{-0,62}$; $45^\circ \pm 1^\circ$; $3 \times 45^\circ$.

Позиція III. Проточування остаточне зовнішньої циліндричної поверхні 31 з поперечного супорта у розмір $\varnothing 36_{-0,62}$; zenкування внутрішньої фаски 4 з поздовжнього супорта у розмір $5 \times 45^\circ$ одночасне.

Позиція IV. Zenкування отвору 11 з поздовжнього супорта у розмір $\varnothing 16,7^{+0,11}$.

Позиція V. Розвертання попереднє отвору 11 з поздовжнього супорта у розмір $\varnothing 17,958^{+0,027}$.

Позиція VI. Розвертання остаточне отвору 11 з поздовжнього супорта у розмір $\varnothing 17^{+0,018}$.

020 Агрегатна операція

Позиція II. Свердління чотирьох отворів 26-29 з формуванням фасок 5-8 одночасне по кондуктору з вертикальної свердлильної головки у розміри $\varnothing 2,5^{+0,14}$; $20 \pm 0,2$; $32 \pm 0,2$; $l=10$ під різьбу М3-7Н; свердління отвору 1 з формуванням фаски 28 з горизонтальної свердлильної головки у розміри $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=14$; $41 \pm 0,2$ під різьбу М6-7Н одночасне.

Позиція III. Розсвердлювання двох отворів 2, 3 одночасне по кондуктору з вертикальної свердлильної головки у розміри $\varnothing 8H14(^{+0,36})$; $l=4$; $55 \pm 0,2$.

Позиція IV. Розсвердлювання отвору 12 з формуванням фаски 17 одночасне з вертикальної свердлильної головки у розміри $\varnothing 24,17^{+0,28}$ під різьбу $G \frac{3}{4} - B$; $l=36$.

Позиція V. Нарізання різьби 18-21 в чотирьох отворах одночасне з вертикальної свердлильної головки у розміри М3-7Н; $l=7$; нарізання різьби 25 в отворі з горизонтальної свердлильної головки у розміри М6-7Н; $l=14$ одночасне.

Позиція VI. Нарізання різьби 16 в отворі з вертикальної свердлильної головки у розміри $G \frac{3}{4} - B; l=30$.

Операція 025 Контроль.

3.4. Визначення припусків на оброблення

Для розрахунку припусків використано аналітичні та табличні методи, що відображено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахункові припуски деталі “Фланець” 974.284.008

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Торцева поверхня 52h14 _(-0,74)					
Підрізання напівчистове різцем	14	Ra12,5	0,74	1,1	52 _{-0,74}
Фрезерування чорнове кінцевою фрезою	14	Ra12,5	0,74	1,1	53,1 _{-0,74}
Заготовка	Клас точності 7	Rz50	0,9	1,1 × 2 = 2,2	54,2±0,45
Торцева поверхня 14h14 _(-0,43)					
Фрезерування чорнове торцевою фрезою	14	Ra12,5	0,43	1,0	14 _{-0,43}
Фрезерування чорнове кінцевою фрезою	14	Ra12,5	0,43	1,0	15 _{-0,43}
Заготовка	Клас точності 7	Rz50	0,6	—	16±0,3
Торцева поверхня 17±0,2					

1	2	3	4	5	6
Підрізання напівчистове різцем при попе- речній подачі	14	Ra12,5	0,4	1,0	17±0,2
Заготовка	Клас точності 7	Rz50	0,6	—	18±0,3
Зовнішня циліндрична поверхня Ø36h14 _(-0,62)					
Точіння напівчистове	14	Ra12,5	0,62	1,1 × 2 = 2,2	Ø36 _{-0,62}
Заготовка	Клас точності 7	Rz50	0,8	—	Ø38,2±0,4
Два отвори Ø8H14 ^(+0,36)					
Розсверлю- вання	14	Ra12,5	0,36	1,0 × 2 = 2,0	Ø7 ^{+0,36}
Заготовка	Клас точності 7	Rz50	0,6		Ø6±0,3

Для розрахунку режимів різання процесів виготовлення деталі “Фланець” 974.284.008 використано аналітичні та табличні методи, що відображено у таблиці 3.6.

[illegible]

1	2
---	---

[illegible]

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Зенкерування отвору 11 з поздовжнього супорта у розмір $\varnothing 16,7^{+0,11}$	1,75	35	1	60	0,44	340	18	150	0,35	0,1
Позиція V Розвертання попереднє отвору 11 з поздовжнього супорта у розмір $\varnothing 17,958^{+0,027}$	0,129	35	1	80	0,5	340	18,3	170	0,35	0,07
Позиція VI Розвертання остаточне отвору 11 з поздовжнього супорта у розмір $\varnothing 17^{+0,018}$	0,021	35	1	100	0,5	340	18,3	170	0,35	0,06
015 Агрегатна										
Позиція II										
Свердління чотирьох отворів 26-29 з формуванням фасок 5-8 одночасне по кондуктору з вертикальної свердлильної головки у розмірі $\varnothing 2,5^{+0,14}$; $20 \pm 0,2$; $32 \pm 0,2$; $l=10$ під різьбу МЗ-7Н; свердління отвору 1 з формуванням фаски 28 з горизонтальної свердлильної головки у	1,25	12	1	120	0,1	1100	12	110	0,1	0,1
	2,5	18		120	0,12			132	0,1	0,16

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
розміри $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=14$; $41\pm 0,2$ під різьбу М6-7Н одночасне.										
Позиція III Розсвердлю- вання двох отворів 2, 3 одночасне по кондуктору з вертикальної свердлильної головки у розміри $\varnothing 8H14^{(+0,36)}$; $l=4$; $55\pm 0,2$.	1,0	12	1	80	0,1	1100	24	110	0,1	0,12
Позиція IV Розсвердлю- вання отвору 12 з формуванням фаски 17 одночасне з вертикальної свердлильної головки у розміри $\varnothing 24,17^{+0,28}$ під різьбу $G \frac{3}{4}$ – В; $l=36$.	1,0	50	1	170	0,3	1100	88	330	0,1	0,1
Позиція V Нарізання різьби 18-21 в чотирьох отворах одночасне з вертикальної свердлильної головки у розміри М3-7Н; $l=7$; нарізання різьби 25 в отворі з	0,433 0,866	17 34	1	170 170	0,5 1,0	400 520	4 10	200 520	0,06 0,06	0,08 0,1

Закінчення таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
горизонтальної свердлильної головки у розміри М6-7Н; l=14 одночасне.										
Позиція VI Нарізання різьби 16 в отворі з вертикальної свердлильної головки у розміри $G \frac{3}{4}$ – В; l=30.	1,74	50	1	60	1,814	250	18	454	0,1	0,2

Для розрахунку технічних норм часу процесів виготовлення деталі “Фланець” 974.284.008 використано аналітичні та табличні методи, що відображено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Розрахунки технічних норм часу операцій виготовлення деталі “Фланець” 974.284.008

Номер та назва операції	T _о , хв	Допоміжний час, T _д хв			Час швидких переміщень, хв	Час циклу верстата, T _ц , хв	Час обслуговування, T _{об} , хв			T _{шт} , хв.	T _{п.з.} , хв.	п, шт	T _{шт.к.} , хв
		T _у .	T _{пер.}	T _{вим.}			T _{тех.об.}	T _{орг.об.}	T _{відп.}				
005 Вертикально-фрезерна	0,1	0,12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3000	0,49
010 Вертикально-фрезерна	0,05	0,12	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,41
015 Токарна напів-автоматна	0,35	0,12	0,01	0,14	0,04	0,52	0,007	0,01	0,02	0,557	70		0,58
020 Агрегатна	0,1	0,12	-	—	-	—	—	—	—	—	—		0,5

3.6. Розрахунок пристосування

Для закріплення та базування заготовки деталі “Фланець” 974.284.008 на 020 агрегатній операції на агрегатному верстаті 2ХА246 проведено проектування спеціального пристосування.

Базування заготовки для виконання переходів 020 операції виконується по зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 36$ та по торцю на призми поз. 29, 31, які одночасно центрують деталь за рахунок підпружиненої нижньої частини; орієнтація деталі виконується по боковому виступу 14 за допомогою упорів 32 та 34. Затиск деталі виконується рухомими призми 29 і 31, що приводяться у дію від пневмоциліндра, який переміщує шток 14, клин 19, плунжери 39 та два важелі 16. Пружина 56 відводять призми пристрою від заготовки при її розтиску.

Креслення конструкції спроектованого пристосування представлено у графічній частині роботи та у додатках.

Похибку установки заготовки у спроектованому пристосуванні розраховано за відомим рівнянням [11]:

$$\Delta \epsilon_y = \sqrt{\Delta \epsilon_6^2 + \Delta \epsilon_3^2 + \Delta \epsilon_{\text{пр}}^2}. \quad (3.5)$$

На 020 агрегатній операції формуються різьбові отвори, при цьому необхідно забезпечити необхідну точність їх взаємного розміщення та розташування відносно конструктивних елементів деталі. Точність їх взаємного розміщення одержується за допомогою багатошпindelної головки для одночасного свердління декількох отворів і кондуктора.

Похибку базування розраховуємо за рівнянням:

$$\Delta \epsilon_{6.1} = 0,5TD \frac{1}{\sin \alpha}, \quad (3.6)$$

де $TD = 0,62$ мм допуск базового розміру;

$\alpha = 45^\circ$ – кут призми.

$$\text{Тоді, } \Delta \varepsilon_{\delta,1} = 0,5 \cdot 0,62 \frac{1}{\sin 60^\circ} = 0,38 \text{ мм} = 380 \text{ мкм}.$$

Допуск розташування отворів відносно конструктивних елементів деталі визначається розміром $30 \pm 0,2$ мм і дорівнює 0,4 мм.

Похибка закріплення при встановленні деталі у пристрої: $\varepsilon_3 = 40$ мкм.

Похибка виготовленого пристрою: $\varepsilon_{\text{пр}} = 50$ мкм.

Підставляємо дані у рівняння (3.5):

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{380^2 + 40^2 + 50^2} = 386 \text{ мкм} = 0,386 \text{ мм}.$$

Допустима похибка установки для досягнення розміру $30 \pm 0,2$ мм:

$$\Delta \varepsilon_{y,д} = \delta_1, \quad (3.7)$$

де $\delta_1 = 0,4$ мм.

Умова забезпечення точності розміру $30 \pm 0,2$ мм виконується, оскільки:

$$0,386 \text{ мм} < 0,4 \text{ мм}.$$

Розрахункову схему пристрою для визначення необхідної сили затиску заготовки під час нарізання різьби $G \frac{3}{4} - В$ на 020 агрегатній операції представлено на рисунку 3.3.

Умова затиску заготовки визначається тим, що момент зенкером $M_{\text{різ}}$ буде меншим за момент тертя $M_{\text{тр}}$, що виникає при затиску деталі:

$$KM_{\text{різ}} = \sum M_{\text{тр}}, \quad (3.8)$$

де $K = 3$ - коефіцієнт запасу.

Момент різання при нарізанні різьби визначаємо за формулою [16]:

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{кр.табл.}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (3.9)$$

де $M_{\text{кр.табл.}} = 1,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$ [16];

$$K_1 = 3,4 [16].$$

$$K_2 = 0,4 [16].$$

Підставляємо дані у рівняння (3.9):

$$M_{кр} = 1,6 \cdot 3,4 \cdot 0,4 = 2,18 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Необхідна сила для затиску заготовки [11]:

$$P_3 = \frac{K \cdot M_{\text{піз}}}{D_3 \cdot \frac{f_2}{\sin \alpha}}, \quad (3.10)$$

де $f_2 = 0,16$ – коефіцієнт тертя;

$$\alpha = 45^\circ;$$

$$D_3 = 36 \text{ мм}.$$

$$K = 3.$$

Підставляємо дані у рівняння (3.10):

$$P_3 = \frac{3 \cdot 2,18}{0,036 \cdot \left(\frac{0,16}{\sin 45} \right)} = 803 \text{ Н}.$$

Для затиску заготовки необхідно забезпечити умову:

$$P_3 \leq W, \quad (3.11)$$

де W – сила затиску, що забезпечується механізмами пристрою.

Силу затиску, що забезпечується механізмами пристрою [11]:

$$W = \frac{F}{2 \tan(\beta + \varphi)} \frac{l_1}{l_2} \cdot \eta, \quad (3.12)$$

де β – кут клина, $\beta = 12$ град;

φ – кут тертя $\varphi = 14$ град;

$$l_1 = 58 \text{ мм};$$

$$l_2 = 44 \text{ мм};$$

$$\eta = 0,9.$$

Сила на штоці пневмоциліндра

$$F = 0,785 \cdot (D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{шт}}^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (3.17)$$

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

Підставляємо дані у рівняння (3.12):

$$W = \frac{2689}{2 \operatorname{tg}(12 + 14)} \frac{58}{44} \cdot 0,9 = 3270 \text{ Н}.$$

При умові $W = 3270 \text{ Н} > P_3 = 803 \text{ Н}$ забезпечено нерівність (3.11) тому заготовка фланця буде надійно закріплена на 020 агрегатній операції.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Засоби інформативної та попереджувальної сигналізації на виробничих об'єктах

Контрольно-вимірювальні прилади (КВП) є критичними компонентами забезпечення безпеки та надійності функціонування промислового обладнання. Вони призначені для точного вимірювання ключових технологічних параметрів, таких як тиск робочих середовищ, температура робочих поверхонь і середовищ, статичні та динамічні навантаження, концентрації шкідливих парів, газів, пилу і токсичних речовин у виробничому повітрі. Ефективність використання КВП значно підвищується при інтеграції з автоматизованими системами сигналізації, які можуть видавати оперативні повідомлення у випадку перевищення встановлених контрольних меж, як це реалізовано в газоаналізаторах і пилофільтрах з функцією аварійного спрацювання.

Автоматизовані пристрої контролю і сигналізації класифікуються за кількома ознаками:

- За функціональним призначенням:
 - інформаційні (відображають поточний стан параметрів),
 - попереджувальні (інформують про наближення до граничних меж),
 - аварійні (спрацьовують при досягненні критичних станів і вимагають негайного реагування);
- За способом активації:
 - автоматичні (спрацьовують без втручання оператора),
 - напіваавтоматичні (передбачають часткове втручання оператора);
- За видом сигналу:
 - звукові (сирени, гучномовці),
 - світлові (індикатори, маячки),
 - кольорові (сигнальні лампи з різною колірною індикацією),
 - знакові (пиктограми на табло),

- комбіновані (поєднання кількох видів сигналів);
- За характером подачі сигналу:
 - безперервні (постійні світлові чи звукові сигнали),
 - імпульсні (пульсуючі, миготливі сигнали).

Інформативна сигналізація виконує важливу роль у координації дій персоналу, наприклад, операторів кранів і стропальників, де в умовах високого рівня шуму або відсутності зв'язку використання вербальних команд неможливе. Вона включає застосування умовних сигналів, жестів, світлових табло, покажчиків, написів, які розташовуються безпосередньо на обладнанні або у зоні його експлуатації. Написи на табло зазвичай виготовляються з урахуванням норм читабельності, контрастності і стійкості до зношування.

Пристрої попереджувальної сигналізації призначені для своєчасного інформування персоналу про потенційну небезпеку або про наближення до небезпечних режимів роботи обладнання. Найпоширенішими є світлові та звукові сигнали, які активуються різними датчиками, що контролюють технологічні параметри, у тому числі рівні токсичних і пожежонебезпечних речовин, перевищення допустимих вібрацій, температурних порогів тощо. Особливе значення має сигналізація, що передує пуску обладнання або подачі напруги підвищеного рівня, що є критичною для запобігання травматизму персоналу.

Попереджувальні знаки і плакати (наприклад: "Не вмикати — працюють люди", "Вхід заборонено", "Висока напруга — небезпечно") застосовуються для візуального інформування та обмеження доступу до небезпечних зон. Рекомендується виготовляти покажчики у вигляді світлових табло з миготливим підсвічуванням для підвищення їх помітності.

Сигнальне фарбування є стандартним методом виділення травмонебезпечних елементів устаткування. Як правило, застосовується чергування смуг жовтого та чорного кольорів під кутом 45° до горизонталі для позначення зон підвищеного ризику. На верстатах додатково фарбують у червоний колір зворотні сторони дверцят, ніш електроустаткування, а також

поверхні для викиду стружки, що підвищує рівень візуальної безпеки.

Знаки безпеки регламентуються і поділяються на:

- Заборонні знаки — круглі, червоного кольору з білою облямівкою і відповідним чорним символом всередині (наприклад, заборона на куріння чи вхід без спецодягу);
- Попереджувальні знаки — трикутної форми з жовтим фоном і чорною окантовкою, всередині яких розташовані символи, що ідентифікують тип небезпеки (блискавка — електрична небезпека, падаюча людина — небезпека ковзання, знак оклику — загальна небезпека);
- Вказівні знаки — прямокутні, синього кольору, що інформують про дії або використання засобів безпеки;
- Знаки радіаційної небезпеки — мають символ радіації з червоною облямівкою, що однозначно ідентифікує зону підвищеного радіаційного ризику;
- Знаки пожежної безпеки — з червоними символами на білому фоні для позначення засобів пожежогасіння, та чорними символами для інших пожежних позначень.

Використання комплексної системи інформативної і попереджувальної сигналізації, у поєднанні з відповідним маркуванням і колірною кодуванням, є ключовим фактором у підвищенні рівня виробничої безпеки та запобіганні нещасним випадкам на виробництві.

4.2. Організація і проведення евакуаційних заходів

Евакуація проводиться на державному, регіональному, місцевому або об'єктовому рівні. Залежно від особливостей надзвичайних ситуацій (НС) встановлено такі види евакуації: обов'язкова, загальна або часткова, тимчасова або безповоротна [35]. Рішення про проведення евакуації приймають КМУ, обласні державні адміністрації, райдержадміністрації, органи місцевого самоврядування, керівники об'єктів господарювання. У невідкладних випадках керівник робіт з ліквідації наслідків НС, а в разі його відсутності — керівник

аварійно-рятувальної служби, який першим прибув у зону НС, може прийняти рішення про проведення екстреної евакуації населення із зони НС або зони можливого ураження. Обов'язкова евакуація населення проводиться у разі виникнення загрози:

- аварій з викидом радіоактивних та небезпечних хімічних речовин;
- катастрофічного затоплення місцевості;
- масових лісових і торф'яних пожеж, землетрусів, зсувів, інших геологічних та гідрогеологічних явищ і процесів;
- збройних конфліктів (з районів можливих бойових дій у безпечні райони, які визначаються Міністерством оборони України на особливий період).

Залежно від умов, що склалися, евакуація може проводитись в межах окремого регіону з території, що підлягає впливу НС техногенного чи природного характеру, або з усіх міст та промислових районів - при загрозі виникнення війни. Переміщення великої кількості людей в короткі строки в складних умовах і на значні відстані вимагає організованості та керованості процесом на всіх його етапах з метою своєчасного проведення і запобігання проявів паніки і недопущення загибелі людей.

Населення, що підлягає евакуації, поділяється на дві категорії. До першої категорії відносяться робітники і службовці підприємств і установ, що будуть працювати під час війни, продукція яких потрібна для оборони, робітники комунальних підприємств міста. Захист робітників працюючої зміни забезпечується в сховищах на об'єктах. Захист членів сімей і робітників непрацюючої зміни забезпечується в заміській зоні. Для цієї категорії населення евакуаційні заходи називають розосередженням робітників і службовців, що діють за принципом: жити за межами міста, працювати в місті. Тому для них райони розміщення призначаються ближче до міста, поряд з транспортними магістралями з урахуванням того, щоб час на проїзд до роботи і назад в заміську зону не перевищував 4-5 годин. Евакуацією називають вивіз або вивід з міста в заміську зону решти населення, тобто робітників і службовців об'єктів, що припиняють роботу під час війни або переносять її в заміську зону, і

непрацюючого населення. Евакуйоване населення постійно мешкає в заміській зоні до особливого розпорядження.

Розосередження та евакуація проводяться в період загрози нападу ворога. Після розосередження та евакуації в містах залишається лише робоча зміна. Основні способи розосередження та евакуації: а) вивіз населення транспортом; б) вивід пішою дорогою; в) комбінований, при якому вивід населення з міста пішки поєднується з вивозом деяких категорій населення. Транспортом вивозяться: робітники працюючих об'єктів, формування цивільного захисту, інваліди, хворі, жінки з дітьми до 10 років. Розосередження та евакуація робочих, службовців, членів їх сімей планується і організується за територіально-виробничим принципом, тобто робітники по об'єктам господарювання, а населення, що не має відношення до виробництва, - за місцем проживання через житлово-експлуатаційні організації. Евакуйоване населення, робітники і службовці працюючих підприємств розміщують в заміській зоні на житловій площі місцевих жителів, в пристосованих для мешкання службових та виробничих будівлях, клубах, будинках відпочинку, пансіонатах, дачних селищах. Робітників і службовців працюючих в містах підприємств розміщують ближче до міст, вздовж магістралей. Евакуйоване населення розміщують в більш віддалених районах.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі для токарного оброблення зовнішньої гвинтової поверхні на циліндричній деталі розроблено спеціальний багаторізцевий інструмент. Проведено дослідження динаміки багаторізцевого токарного оброблення зовнішньої гвинтової поверхні на основі сформованої динамічної моделі, що включає приведену систему основних конструктивних елементів процесу різання, відкидаючи другорядні фактори. Визначено кут повороту корпусу, при якому здійснюється однократне різання заготовки різцем.

Для визначення переміщень елементів механічної системи використано рівняння Лагранжа другого роду. На основі цього рівняння виведено систему диференціальних рівнянь, що описують коливання елементів механічної системи. Систему диференціальних рівнянь з нульовими початковими умовами розв'язано чисельним методом Рунге-Кутта із використанням прикладного програмного забезпечення із виведенням графічних залежностей деформацій елементів приведеної системи багаторізцевого нарізання зовнішньої гвинтової поверхні. Зокрема, графічні залежності зміни кута деформації заготовки в часі, величини лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі, зміни швидкості деформації заготовки в часі, зміни швидкості лінійної деформації різця в напрямку осі z в часі.

Із графіків встановлено, що при двох послідовних врізаннях різця найбільші деформації заготовки та різця в процесі різання виникають в момент удару цих елементів та врізання різця у заготовку, оскільки при цьому виникають найбільші сили різання, які поступово знижуються до нуля. Після завершення різання відбувається затухання коливань заготовки та різця. При наступному врізанні різця початкові координати визначаються координатами заготовки та різця в момент врізання. Найбільший кут деформації заготовки складає $0,0045$ рад. Найбільший величина лінійної деформації різця в напрямку осі z складає $0,003$ мм.

Представлено результати експериментальних досліджень сили різання при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь. Встановлено, що найбільший вплив на величину сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь має частота обертання циліндричної заготовки n_1 . Менший вплив має частота обертання корпусу із різцями n_2 і найменший - радіус циліндричної заготовки R_2 . При збільшенні частоти обертання циліндричної заготовки n_1 величина сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь зростає, а при збільшенні частоти обертання корпусу із різцями n_2 , радіуса циліндричної заготовки R_2 – зменшується. Максимальне значення величини сили різання P_z при багаторізцевому токарному обробленні гвинтових поверхонь становить 205 Н, а мінімальне – 25 Н. Збільшення частоти обертання циліндричної заготовки n_1 від 12 об/хв до 28 об/хв призводить до зростання сили різання P_z в 2,4 рази, збільшення частоти обертання корпусу із різцями n_2 від 900 об/хв до 1500 об/хв призводить до зменшення сили різання P_z в 1,95 рази, а збільшення радіуса циліндричної заготовки R_2 від 12 мм до 18 мм призводить до зменшення сили різання P_z в 1,77 рази.

Розроблено технологічний процес виготовлення деталі “Фланець” 974.284.008.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

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

11. Дячун А. Є. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин» / А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.
12. Reith M. J., Bachrathy D., Stepan G. Stability properties and optimization of multi-cutter turning operations. International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference/ American Society of Mechanical Engineers. 2013.Vol. 55973. P. V07BT10A061.
13. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.
14. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : Навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.
15. Tobias S.A., Fishwick W. The Chatter of Lathe Tools Under Orthogonal Cutting Conditions, Trans. of ASME. 2008. 80. P. 1079-1088.
16. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
17. Свистун П.А., Кузь Р.В., Мензак Я.В. Дослідження процесу формування канавок спеціальним інструментом. Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій": 11-12 грудня 2025 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025.
18. Tlusty, J., Polacek, M. The Stability of Machine Tools Against Self Excited Vibrations in Machining, Int. Research in Production Engineering, ASME, 2014. P. 465 - 474.
19. MJ Reith, G Stépán. Optimization of material removal rate for orthogonal cutting with vibration limits. Periodica Polytechnica. 2011/2. P. 91 – 97.
20. E. Ozturk, E. Budak, Modeling Dynamics of Parallel Turning Operations, Proceedings of 4th CIRP International Conference on High Performance Cutting, 2010.

21. E. Budak, E. Ozturk. Dynamics and stability of parallel turning operations, CIRP Annals, Manufacturing Technology. 2011. 60. P. 383-386.
22. G Stépán. Retarded mechanical systems: stability and characteristics functions. Longman Scientific & Technical. New York, 1989.
23. Marta J. Reith, Daniel Bachrathy, Gabor Stepanю Improving the stability of multi-cutter turning with detuned dynamics. Machining Science and Technology. 2016. Vol. 20. No 3. P. 440-459.
24. <https://www.wagnercarbidesaw.com/pdf/multi-cutter-turning-head.pdf>.
25. Гевко І. Б., Дячун А. Є., Дубиняк Т. С., Стібайло О. Ю., Гупка А. Б. Технологічні особливості виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків. Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11 (42). Ч. І. С. 75- 83.
26. Гевко І. Б., Дячун А. Є., Дубиняк Т. С., Стібайло О. Ю., Золотий Р. З. Дослідження операцій технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків. Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11 (42), Ч. ІІ. С. 99 - 108.
27. Ivan Hevko, Andrii Diachun, Oleg Lyashuk, Yuriy Vovk, Andriy Hupka Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning. Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange. IV. DSMIE 2021. Springer, Cham. P. 385-394.
28. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.
29. Andriy Diachun, Vasyl Vasykiv, Oleg Korol, Volodymyr Myhailiuk, Ivan Golovaty, Andriy Kuras. Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2021. № 1(101). С. 68–78.
30. Oleg Lyashuk, Andrii Diachun, Ivan Kuchvara, Yuriy Vovk, Volodymyr Dzyura. Study of power parameters of forming profile elliptical screw workpieces. The International Journal of Integrated Engineering. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia Publisher's Office, 2021. Vol. 13 No. 4. P. 142-151.
31. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Третьяков О.Л. Дослідження деформації

заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок пристроєм із декількома різцями. Перспективні технології та прилади. Зб. наук. праць. Луцьк, 2018. Вип. 12. С. 105-110.

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

33. Окіпний І.Б., Сенчишин В.С., Ткаченко І.Г., Комар Р.В., Дячун А.Є. Кваліфікаційна робота магістра. Методичні вказівки для здобувачів другого (освітньо-професійного) рівня вищої освіти за спеціальністю G9 Прикладна механіка галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво. Тернопіль : 2025. 40 с.

34. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Гупка А. Б., Третяков О. Л. Технологічне проєктування та виготовлення гвинтових транспортно-технологічних робочих органів : монографія. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2025. 457 с.

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