

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Забезпечення якості важкодоступних поверхонь сталевих деталей
технологічними методами»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи M-113м

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

КАЛЮЖНИЙ О.Г.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник СТЕПАНОВ Д.М.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент МАТЮХІН А.Ю.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Машинобудівний
Кафедра «Технологія машинобудування»
Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Сергій ДЯДЯ

« _____ » _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

КАЛЮЖНОМУ Олександрю Григоровичу

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Забезпечення якості важкодоступних поверхонь сталевих деталей технологічними методами»

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. СТЕПАНОВ Дмитро Миколайович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «» 29.10.2024 року №443

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.12.2024 р.
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі; програма випуску N=2000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Забезпечення якості важкодоступних поверхонь деталі «вал-ресора» технологічними методами; 2. Автоматизація обробки зубців вал-ресори за рахунок використання робототехніки; 3. Технологічна частина; 4. Конструкторська частина; 5. Розрахунок деталі на міцність; 6. Економічне обґрунтування вибору варіанта операції;

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі, заготовки; 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; плакат автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; плакат розрахунку деталі на міцність; плакат дослідження методів підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач, плакат матеріалів чев'ячних передач які підвищують трибологічні властивості, плакат застосування антифрикційних покриттів Кількість слайдів - 15

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	СТЕПАНОВ Д.М., доц.		
6	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., доц.		
нормоконтроль	ДЯДЯ С.І., доц		

7. Дата видачі завдання 01.09.2024**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Особливості роботи черв'ячної передачі	01.11.2024	
2	Дослідження методів підвищення трибологічних властивостей чев'ячних передач	08.11.2024	
3	Технологічна частина	11.11.2024	
4	Конструкторська частина	16.11.2024	
5	Автоматизація	18.11.2024	
6	Розрахунок на міцність	20.11.2024	
7	Оцінка очікуваної економічної ефективності	22.11.2024	
8	Оформлення пояснювальної записки	02.12.2024	
9	Нормоконтроль	02.12.2024	
10	Рецензія	05.12.2024	
11	Захист дипломного проекту	11.12.2024	

Студент

_____ Олександр КАЛЮЖНИЙ
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

_____ Дмитро СТЕПАНОВ
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 96 с., 43 рис., 23 табл., 2 додатки, 14 джерел.

ВАЛ-РЕСОРА, ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, МАРШРУТ ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження – Вал-ресора.

Мета роботи – забезпечити якість важкодоступних поверхонь деталі «Вал-ресора» технологічними методами.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний; комп'ютерне моделювання експлуатаційного навантаження деталі; комп'ютерна симуляція процесів механічної обробки.

В магістерській роботі забезпечено якість важкодоступних поверхонь деталі «Вал-ресора» технологічними методами, спроектовано технологічний процес виготовлення, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, спроектовано робоче пристосування для фрезерування шпонкового пазу та контрольне пристосування для перевірки биття, проведено розрахунок деталі на міцність за допомогою комп'ютерного моделювання в програмі NX, розроблено керуючі програми для токарної та фрезерної операцій з ЧПК в програмі NX, запропоновані рекомендації та обладнання для автоматизації.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	7
Вступ.....	8
1 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВАЖКОДОСТУПНИХ ПОВЕРХОНЬ	
ДЕТАЛІ «ВАЛ-РЕСОРА» ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ.....	9
1.1 Аналіз важкодоступних поверхонь вал-ресори.....	9
1.2 Вплив параметрів шліфування на якість поверхні зібців вал-ресори.....	11
2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ЗУБЦІВ ВАЛ-РЕСОРИ ЗА	
РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ РОБОТОТЕХНІКИ.....	21
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	
3.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....	24
3.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт.....	25
3.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням.....	27
3.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	30
3.4.1 Вибір технологічних баз.....	30
3.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	31
3.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	33
3.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	35
3.6 Розрахунок режимів різання.....	40
3.6.1 Операція 020 – токарна з ЧПК.....	40
3.6.2 Операція 105 – шліфувальна.....	44
3.6.3 Операція 050 – свердлильна з ЧПК.....	46
3.6.4 Операція 045 – фрезерна.....	49
3.7 Технічне нормування операцій.....	52
3.7.1 Технічне нормування токарної операції 020.....	52
3.7.2 Технічне нормування шліфувальної операції 105.....	53
3.7.3 Технічне нормування свердлильної операції 050.....	54

3.7.4 Технічне нормування фрезерної операції 045.....	56
3.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	57
3.8.1 Операцію 030 – токарна.....	57
3.8.2 Операція 045 – фрезерна.....	62
3.8.3 Операція 050 – свердлильна.....	63
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	67
4.1 Проектування та розрахунок робочого пристосування.....	67
4.1.1 Опис конструкції та принципу роботи пристрою.....	67
4.1.2 Обґрунтування способу базування.....	67
4.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску деталі.....	69
4.1.4 Розрахунок пристосування на точність.....	72
4.2 Проектування контрольного пристосування.....	73
4.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	73
4.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність.....	74
5. РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ.....	76
5.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі.....	76
6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ.....	78
Висновки	90
Перелік джерел посилання.....	91
Додаток А. Специфікація робочого пристосування	93
Додаток Б. Специфікація контрольного пристосування	95

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЗОТС – змащувально-охолоджувальне технічне середовище

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ТПШ – технологічний поверхневий шар

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

Тема даної дипломної роботи присвячена забезпеченню технологічними методами якості важкодоступних поверхонь деталі «Вал-ресора», яка використовується в редукторах для передачі крутного моменту. Вал-ресора є ключовим елементом у механізмах, що зазнають високих навантажень та вимагають надійної передачі обертального руху. Якість виготовлення цієї деталі безпосередньо впливає на ефективність і тривалість роботи всього редуктора.

У даній дипломній роботі досліджено вплив параметрів шліфування на якість поверхні зібців вал-ресори. Зокрема, проаналізовано основні фактори, що впливають на формування поверхневого шару, та розроблено рекомендації щодо оптимізації технологічного процесу обробки. Метою роботи є забезпечення високої якості виготовлення вал-ресори, що підвищить ефективність та надійність роботи всього редуктора.

У дипломному проекті розглядаються всі етапи технологічного процесу, від вибору матеріалу до остаточної обробки деталі. Особливу увагу приділено вибору сталі 35Х, яка володіє необхідними механічними та фізичними властивостями для забезпечення довговічності та зносостійкості виробу. У роботі також розроблено оптимальний маршрут механічної обробки деталі, підібрано відповідне обладнання та інструмент, що дозволяє досягти високої точності виготовлення.

1 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВАЖКОДОСТУПНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛІ «ВАЛ-РЕСОРА» ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ

1.1 Аналіз важкодоступних поверхонь вал-ресори

У сучасному машинобудуванні якість виготовлення деталей, які зазнають значних механічних навантажень, відіграє вирішальну роль у забезпеченні надійної та довготривалої роботи вузлів і механізмів. Однією з таких деталей є вал-ресора, що є ключовим елементом у системах передачі обертального руху. Завдяки своїй конструктивній функції, вал-ресора піддається значним динамічним та статичним навантаженням, що вимагає від поверхонь цієї деталі високих показників якості, зокрема точності геометричних параметрів та низької шорсткості.

Вал-ресора є складним за конструкцією виробом, що містить низку важкодоступних для якісної обробки поверхонь. Висока точність геометрії та низька шорсткість таких поверхонь є критичними для забезпечення функціональних характеристик деталі. Основними важкодоступними місцями вал-ресори є:

1) Внутрішній отвір малого діаметра. Обробка внутрішніх отворів з малим діаметром є технічно складною через обмежений доступ ріжучого або шліфувального інструменту. Забезпечення якісної фінішної обробки вимагає застосування спеціальних абразивних інструментів або розточувальних пристроїв із високою жорсткістю.

2) Отвори на циліндричній поверхні. Отвори, розташовані на зовнішній циліндричній поверхні, можуть мати складний доступ для традиційних інструментів, особливо якщо вони розташовані під певним кутом або мають малий діаметр. Для їх якісної обробки необхідні спеціалізовані свердла, розвертки або шліфувальні головки.

3) Внутрішні шліци. Внутрішні шліци на отворі вал-ресори вимагають високої точності обробки, оскільки вони забезпечують правильну посадку та

передачу крутного моменту. Труднощі обробки пов'язані з необхідністю збереження точного профілю шліців та високих параметрів чистоти поверхні.

4) Канавки в отворі. Внутрішні канавки служать для розміщення ущільнень або з'єднувальних елементів. Їх обробка ускладнена через обмежений простір та високі вимоги до радіальної точності й чистоти поверхні.

5) Шпонковий паз. Шпонковий паз є критичним елементом для передачі крутного моменту. Важливими вимогами є точність розташування паза, глибина та чистота його поверхні. Для обробки часто використовуються шліфувальні камені або спеціальні фрези з контролем розмірів.

6) Зовнішні зубці (евольвентні). Основною і найвідповідальнішою поверхнею вал-ресори є зовнішні евольвентні зубці. Вони повинні мати високі показники точності профілю, щоб забезпечити правильне зчеплення та передачу обертального моменту.

Складнощі обробки евольвентних зубців включають:

1) Забезпечення відповідності заданій евольвентній формі без відхилень.

2) Досягнення низької шорсткості поверхні для зменшення тертя та зносу в експлуатації.

3) Недопущення утворення дефектного шару, зокрема термічних прижогів, які можуть знижувати міцність поверхневого шару.

Для досягнення необхідних параметрів використовуються високоточні методи шліфування з контролем режимів обробки:

1) Підбір оптимальної швидкості обертання та подачі.

2) Використання охолоджувальних рідин для зниження температури обробки та мінімізації прижогів.

3) Застосування прецизійних абразивних кругів із відповідною зернистістю для забезпечення чистоти поверхні.

Від якості обробки зібців вал-ресори залежить не лише ефективність передачі крутного моменту, але й довговічність роботи редуктора в цілому. Невідповідність параметрів поверхні встановленим стандартам може призвести

до підвищеного тертя, зносу та втрати функціональних властивостей вузла, що суттєво знижує його експлуатаційний ресурс.

Шліфування є одним із найефективніших технологічних методів обробки важкодоступних поверхонь, що дозволяє забезпечити високу точність та якість фінішної обробки. Важливим завданням є визначення оптимальних параметрів шліфувального процесу, які б забезпечили мінімальну шорсткість, максимальну точність форми та зменшення залишкових напружень у матеріалі.

1.2 Вплив параметрів шліфування на якість поверхні зібців вал-ресори

Циліндрична зубчаста передача є одним із найбільш широко використовуваних механізмів передачі потужності. У циліндричній зубчатій передачі із-за помилок виготовлення та установки, а також упругої деформації навантаження нерівномірно розподіляється за напрямком ширини зуба, що призводить до небажаних явищ, таких як несумісність зачеплення, ударний вплив зачеплення і шум, які можуть легко викликати локальну поломку зубів. циліндрических шестерен. Модифікація профілю зуба при шліфуванні може рівномірно розподілити напругу під час закріплення циліндричних шестерен, зменшити навантаження на зміщення закріплення та зробити розмір зубів рівномірним, зменшити вібрацію та шум під час процесу передачі закріплення циліндричних шестерен та покращити характеристики передачі закріплення циліндричних шестерен.

Що стосується модифікації профілю зуба при шліфуванні, Хань Дж і др. [1] запропонували використовувати форму поліноми високого порядку для виконання топологічної модифікації циліндричних зубчатих колес на верстатах. Ван Шаоцзе і др. [1] запропонували використовувати багатоосеву зв'язок на хонинговальному колі для виконання механічної обробки модифікації профілю зуба на циліндричних зубчатих колесах. Юй Т. і др. [1] запропонували метод

модифікації циліндричних зубчастих коліс з використанням алмазних прямих кругів з тією ж поверхнею зуба, що і цілева циліндрична шестерня. Цзян Цзінке і др. [1] запропонували використовувати шліфування кромки осевого ходу конічного шліфовального круга для зубодолблення та топологічної модифікації методів корекції форми зубів циліндричних зубчастих коліс. Ян Хуей і др. [1] створили математичну модель для модифікації профілю зуба при формуванні та шліфуванні, засновану на принципі просторового закріплення, і перевірили правильність моделі за допомогою модифікованих циліндричних зубчастих коліс у формі винтового барабана.

В даний час основним методом шліфування зубів є використання шліфовального круга у формі бабочки для шліфування поверхні зуба, а принцип шліфування показаний на рис. 1.1. Для шліфування евольвентного профілю зуба заготовка зуба повинна здійснювати генеруючий рух, тоб то $V = \omega \cdot r$. Де V – швидкість руху заготовки зуба, ω – швидкість заготовки шестерні, а r – радіус індексної окружності. Шліфовальний круг у відповідності з угловою швидкістю ω при повороті T шліфовальний круг утворює площину шліфування для шліфування поверхні зуба. У цей час шліфовальний круг рухається прямо вздовж осі заготовки зуба, що являє собою переривну обробку в напрямку ширини зуба. Ефективність шліфування циліндричних зубчастих коліс низька, що впливає на точність шліфування. При використанні вищезазначеного методу шліфування зубів для модифікації профілю зуба шліфовальному кругу необхідно здійснювати додатковий рух уздовж циліндричного зубчастого колеса, траєкторія руху є складною, контроль величини модифікації є складним, і для верстата потрібна висока точність. інструмент.

ZHY Gear вперше запропонував метод використання похилого шліфовального диска для шліфування циліндричних шестерень. На основі принципу шліфування була створена імітаційна модель обробного пристрою, а симуляція обробки циліндричних шестерень була досягнута за допомогою Vericut (рис. 1.2) [1].

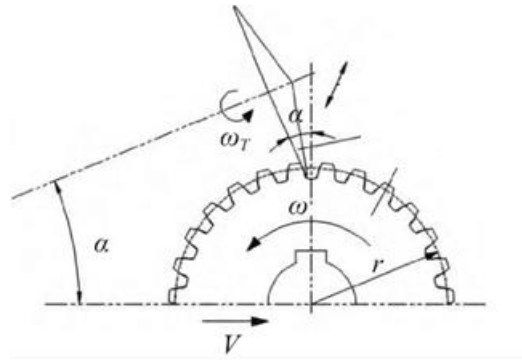


Рисунок 1.1 – Шліфування зубчастих колес [1]

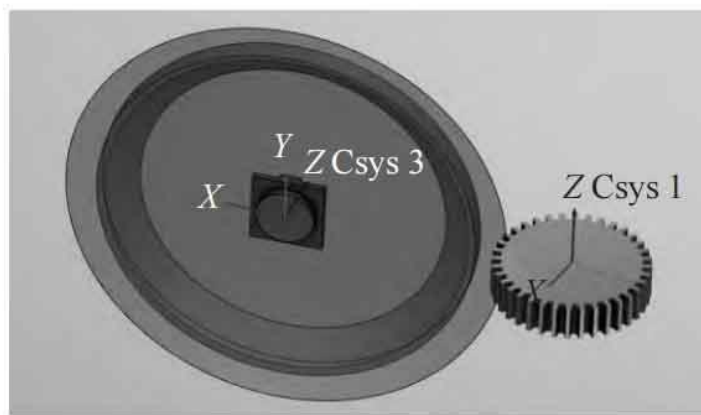


Рисунок 1.2 – Симуляція обробки циліндричних шестерень [1]

Запропонований в роботі [1] спосіб шліфування циліндричних зубчастих коліс шліфувальним кругом похилої установки. Шляхом спікання карбіду бору на шліфувальному диску з похилою установкою циліндричні шестерні шліфуються на всю ширину зуба, що ефективно покращує ефективність шліфування циліндричних шестерень, одночасно досягаючи модифікації профілю зубів. Глибина в середині канавки зуба трохи більше глибини двох кінцевих канавок. Коли циліндрична зубчата пара зачеплена після шліфування, площа контакту знаходиться в основному в середній частині поверхні зуба, з меншим контактом на обох кінцях, що ефективно зменшує напругу згину в коренях зубів на обох кінцях циліндричної шестерні та редукторної шестерні.

У статті [2] наведено результати досліджень шліфування зуба циліндричних зубчастих коліс. Для шліфування використовували шліфувальний круг T1Q, який має наступні параметри: $D=350$ мм, $H=25$ мм, $\delta=1400$, матеріал

зерен 99А, зернистість 60, твердість Н, структуру 5. Результати [2] свідчать про залежність якості шліфування від параметрів механічної обробки, товщини різуємого шару, теплових ефектів в зоні різання.

В технологічному поверхневому шарі (ТПШ) зубців шестерень наявні численні підгорання різного ступеня тяжкості. У разі шліфування з невеликою глибиною ($<0,03$ мм) та поперечною подачею ($<1,5$ мм на подвійний крок), тепловий процес характеризується низькою інтенсивністю тепловиділення в зоні різання. Це призводить, в різних місцях шліфованої поверхні зуба шестерні, до тонкого шару вторинного зміцнення товщиною $1\div 3$ мкм [2]. Під цим шаром знаходиться мартенсит, утворений відпуск, який трохи підвищує міцність в зоні різання, досягається температура, яка запобігає розпаду конструкції на цементит і феритові. З підвищеними параметрами шліфування [2], на поверхні зубів виникає локальне глибоке пригорання, яке характеризується тим, що вторинно затверділий шар лежить на поверхні сильно загартованого металу і поступово проходить усі стадії гарту. Витравлені поверхні зубів після шліфування містять: частину глибокого травлення у вигляді ліній або смуг розташованих уздовж утворюючих (троостит), невелику площу з вторинним зміцненням і світло-сірі частини (мартенсит). У більшості випадків поверхня зубчастих коліс після шліфування може представляти підгорання з троститною або троститно-сорбітовою структурою за рахунок відпалу. У різних місцях над загартованим шаром міститься дуже тонкий ($1\div 3$ мкм), незагартований повторно затверділий шар матеріалу (рис. 1.3-1.6). Сталева конструкція на рис. 1.3 відображає ферит і перліт сітчастий цементит на межах зерен, тоді як рис. 1.4 – світлий сплав фериту з окремим перлітом проти сплаву фериту. Після подрібнення (рис. 1.5) структура матеріалу змінюється дрібнозернистою структурою вздовж зерна по межі перліту і цементиту.

Шестерні, зображені на рис. 1.6 та рис. 1.7 були піддані термічній обробці (цементування, загартування, гартування, відпал), а потім шліфування. ТПШ був витравлений для виявлення опіків високої інтенсивності. Загартований мартенсит і залишковий аустеніт були видні на ТПШ, що містить залишковий

мартенсит і аустеніт. Вимірювання мезотвердості проводилося за Кнуп методом. Поверхнева твердість становила 6,81 кН/мм², поки мезотвердість вихідної структури становила 8,07кН/мм².



Рисунок 1.3 – Мікроструктура зуба шестерні зі сталі 40Н (×500) [2]

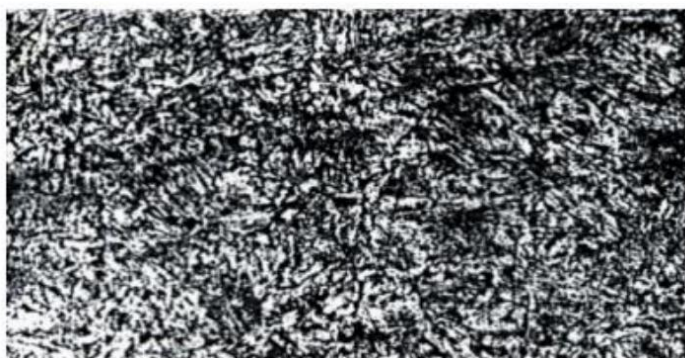


Рисунок 1.4 – Мікроструктура зуба шестерні зі сталі 12Х2Н4А (×500) [2]

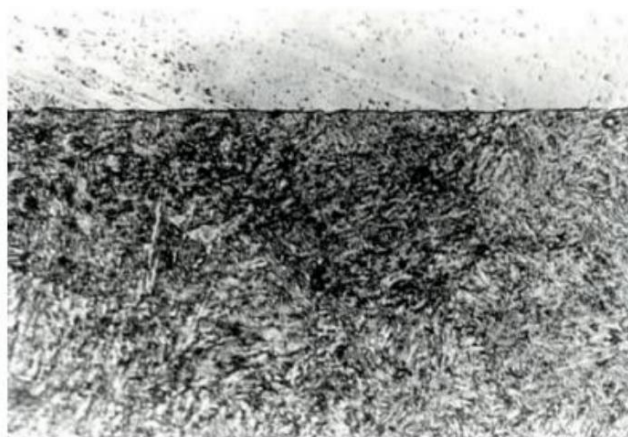


Рисунок 1.5 – Мікроструктура після шліфування зубчастого колеса зі сталі 40Н (×500) [2]



Рисунок 1.6 – Мікроструктура після шліфування зубчастого колеса зі сталі 12X2H4A ($\times 500$) [2]

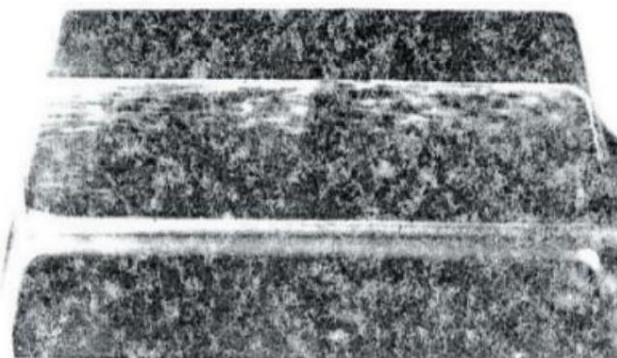


Рисунок 1.7 – Мікроструктура після шліфування зубчастого колеса зі сталі 12X2H4A ($\times 100$) [2]

На рис. 5.8 показано значення мезотвердості і глибина її шару в ТПШ для виникнення опіків шліфування. Слід зазначити, що глибоке шліфування ($95\div 100\mu\text{m}$) призводить до зниження твердості з 60 HRC до 50 HRC [2]. Під час випробувань опіки від шліфування були менш інтенсивними і менш глибокими (рис. 1.8). Тому твердість досліджуваної сталі була значно меншою і становила приблизно $2,1 \text{ kN/mm}^2$. На рис. 1.9 показано значення мезотвердості за глибиною шару в зубі шестерні. Дослідження показали, що у випадку даних на рис. 1.10, опіків від шліфування не виникає.

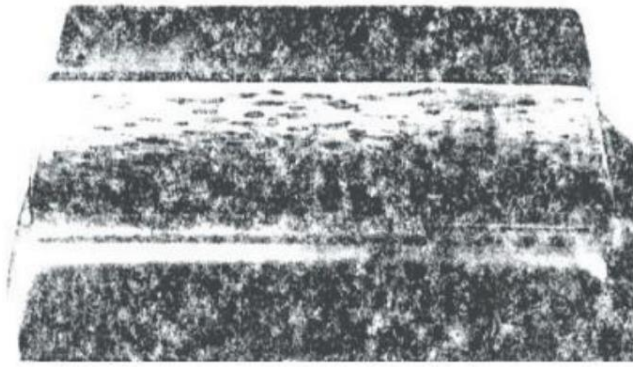


Рисунок 1.8 – Мікроструктура після шліфування зубчастого колеса зі сталі 12X2H4A ($\times 300$) [2]

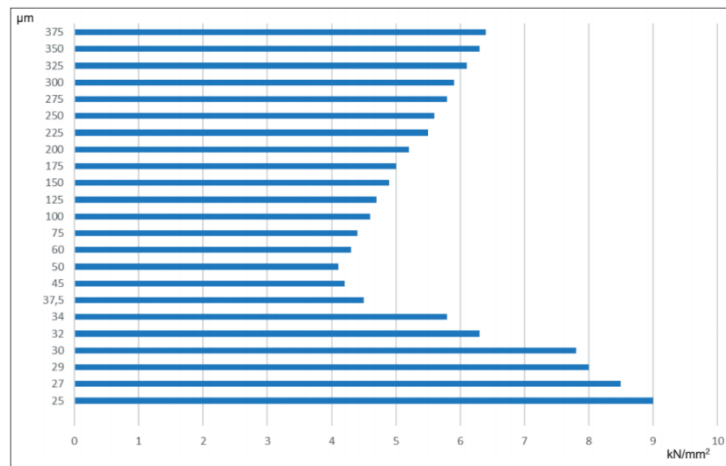


Рисунок 1.9 – Розподіл мезотвердості (визначеної за методом Кнупа) у зубцях зубчастого колеса після шліфування [2]

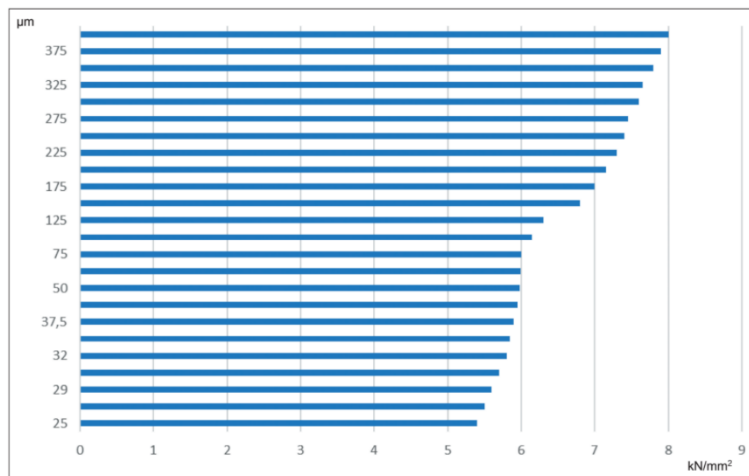


Рисунок 1.10 – Значення мезотвердості (визначено за методом Кнупа) та її глибина в зубцях зубчастого колеса після шліфування [2]

В роботі [3] стверджується, що використання високопористих шліфувальних кругів призводить до значного зниження щільності тепла при шліфуванні зубів процес. Використання комбінації якісного розплавленого оксиду алюмінію ($\approx 70\%$) і спеченого мікрокристалічного корунд (до 30%) дозволяє значно збільшити подачу, збільшити час між переточками та меншу швидкість зносу інструменту. Також в роботі [3] виявлено співвідношення точності зубів до і після шліфування, це дозволило з'ясувати, що для досягнення ГОСТ 1643–81 клас точності 5 або 6 післяшліфування зубчастих коліс, точність попередньої обробки зубчастих коліс повинна бути не грубіше, ніж клас 9 або 10. Безперервне шліфування зубчастих коліс із радіально-діагональною подачею забезпечує кращу продуктивність і якість зубчастих передач (рис. 1.11, 1.12).

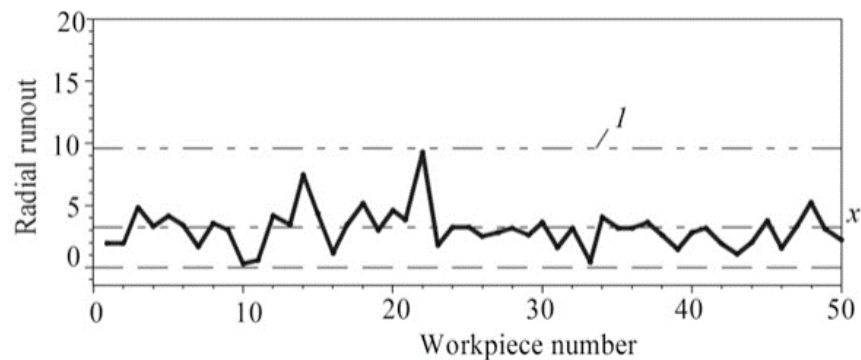


Рисунок 1.11 – Радіальне биття вінця сателіта [3]

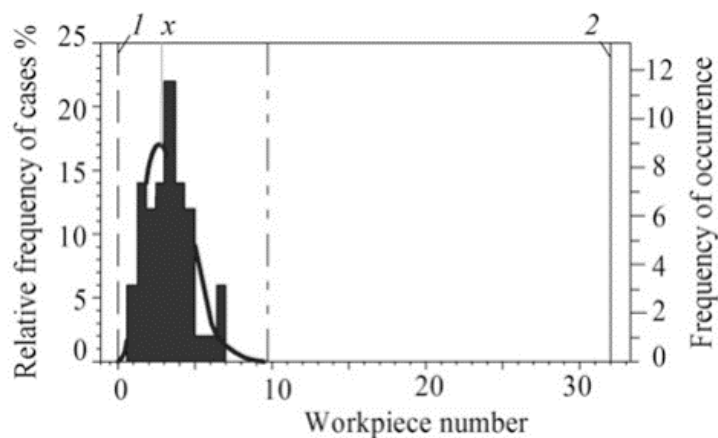


Рисунок 1.12 – Статистична оцінка похибки радіаційного биття для вінців сателітних шестерень [3]

Опiк при шліфуванні – найбільша небезпека при шліфуванні зубчастих колiс після шліфування. Метою шліфування зубчастих колiс після термообробки є виправлення деформації, що виникла в процесі термообробки, підвищення точності зубчастих колiс та зниження шуму [4]. Втомні характеристики зубчастих колiс залежать від твердості поверхні, розподілу поверхневих напруг і мікроструктури поверхні зубів. Контактна напруга під час роботи шестерні і підвищення точності контакту між зубами, що зачіплюються, після шліфування знижують можливість концентрації контактних втомних напруг, що сприяє підвищенню втомної довговічності контакту.

Поверхневий шар деталей зубчастих колiс горить у процесі шліфування, що значно знижує термін служби виробу, або навіть не зможе використовуватись, викликаючи серйозні проблеми з якістю. Тому, з одного боку, виробничі підприємства повинні зменшувати та уникати опiків при шліфуванні, запроваджуючи правильні та наукові технологічні специфікації;

З іншого боку, необхідно посилити технологічний контроль деталей та вузлів, своєчасно виявляти неякісні заготівлі та контролювати умови процесу шліфування в режимі реального часу.

Під час шліфування шліфувальним кругом, коли миттєва висока температура (зазвичай 900~1500 °C) у зоні шліфування досягає вище температури фазового переходу, металографічна структура поверхні деталі змінюється, і деякі частини більшості поверхонь окислюються та знебарвлюються. Це зменшує міцність і твердість поверхні металу, що супроводжується залишковою напругою і навіть мікротріщинами.

Коли шліфувальна поверхня створює високу температуру, при поганому відведенні тепла на поверхні заготовки легко виникають вторинне загартування та високотемпературний відпал.

Після шліфування опечена металографічна структура поверхні зубчастого колеса змінюється і призводить до деяких негативних наслідків. Під поверхневим шаром, через великий градієнт температури і короткого часу, може утворитися тільки високотемпературна структура загартування, яка створить

напругу, що розтягує між поверхневим і підповерхневим шаром, в той час як поверхневий шар є тонким і тендітним вторинним гартовим шаром. мартенсит. Коли поверхневий шар не витримує напруги, що розтягує, утворюються тріщини (рис. 1.13).

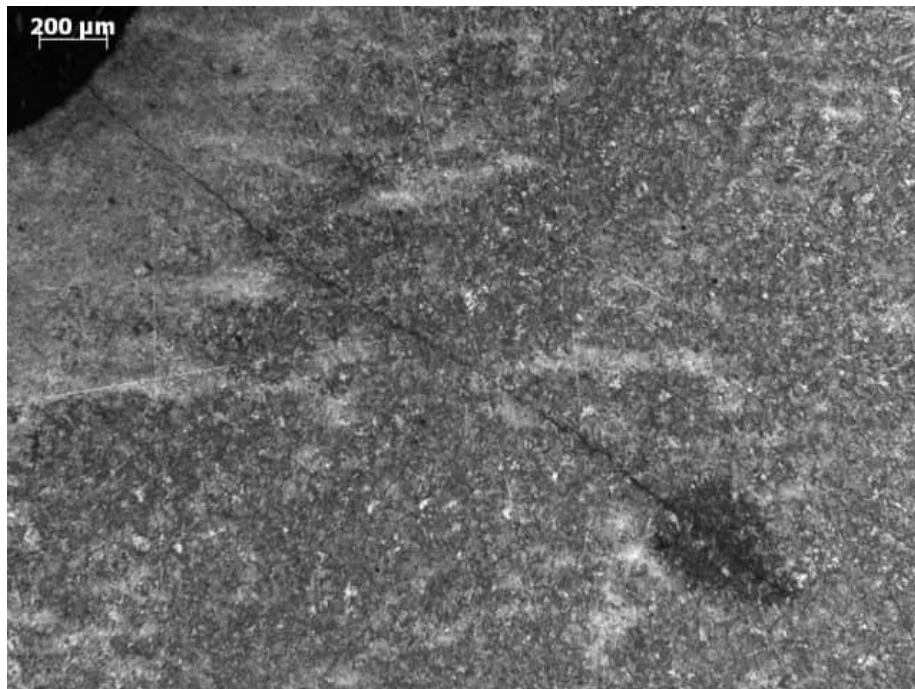


Рисунок 1.13 – Тріщина [4]

Якщо температура в зоні шліфування перевищує температуру фазового переходу і в зону шліфування не надходить рідина, що охолоджує, метал поверхні буде мати відпалену структуру, а твердість поверхні різко знизиться.

Коли температура в зоні шліфування значно перевищує температуру відпустки сталі, але все ще нижче за температуру фазового перетворення, на поверхні заготівлі з'являється структура розм'якшення загартованого трооститу або загартованого сорбіту.

2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ЗУБЦІВ ВАЛ-РЕСОРИ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ РОБОТОТЕХНІКИ

Робототехніка зробила революцію у виробництві механізмів, запропонувавши неперевершену точність, ефективність і гнучкість виробничих процесів [5]. Роботи існують у виробництві протягом десятиліть і вперше були представлені у 1991 році з першою повністю автоматизованою камерою для шліфування зубів від Gear Motions. Відтоді Gear Motions використовує роботизацію та автоматизацію у своїх виробничих процесах.

Робототехнічні системи відіграють ключову роль в автоматизації різних етапів виробництва шестерень, від механічної обробки та перевірки до складання та пакування (рис. 2.1). За допомогою передових датчиків і приводів роботи можуть точно контролювати параметри обробки, забезпечуючи постійну якість і точність у виробництві зубчастих коліс. Автоматизація має широкий спектр переваг, починаючи від покращеної безпеки та закінчуючи скороченням варіацій процесу, що призводить до збільшення та зменшення кількості браку, що в кінцевому підсумку підвищує загальну продуктивність і економічну ефективність.



Рисунок 2.1 – Робот [5]

Еволюція роботів і автоматизації призвела до більшої гнучкості як роботів, так і кінцевих виконавців. Роботизовані манипулятори, оснащені кінцевими ефекторами та механізмами зміни інструментів, дозволяють створювати гнучкі виробничі осередки на заводах із виробництва зубчастих коліс (рис. 2.2). Ці пристрої можна швидко переконфігурувати для адаптації до різних розмірів, типів і обсягів виробництва, забезпечуючи неперевершену гнучкість і реакцію на мінливі вимоги ринку. Використовуючи робототехніку в гнучких виробничих осередках, виробники механізмів, такі як Gear Motions, ефективніше використовують ресурси, стаючи більш конкурентоспроможними, щоб краще задовольняти потреби своїх клієнтів, що призводить до більшої задоволеності.

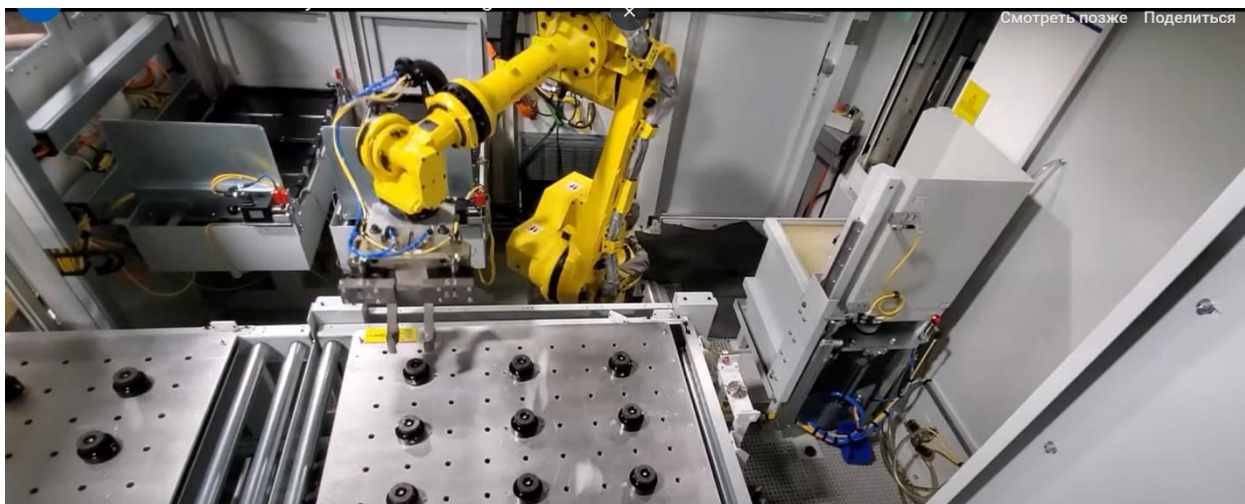


Рисунок 2.2 – Автоматична лінія [5]

У Gear Motions ми продовжуємо створювати інноваційні рішення за допомогою роботів і автоматизації. У 2021 році компанія Gear Motions встановила повністю автоматизований Reishauer RZ260 із вбудованим палетованим навантажувачем Felsomat. Спеціально розроблена для Gear Motions, ця гнучка автоматизована система забезпечує неперевершену гнучкість у операції шліфування зубчастих коліс. Щоб не залишитися позаду, Gear Motions встановила повністю автоматизований Reishauer RZ550 із тією самою системою завантаження Felsomat, єдиною системою такого роду у світі.

Наступна еволюція робототехніки та автоматизації в Gear Motions – це коботи. Використовуючи нову технологію, коботи забезпечують ще більшу гнучкість і адаптивність, ніж спеціалізовані роботи, і дозволяють ще більше автоматизувати повторювані процеси. Можливість інтегрувати коботів у будь-яке обладнання (старе чи нове) виведе автоматизацію на новий рівень.

Інтеграція робототехніки у виробництво механізмів пропонує трансформаційний підхід до виробництва, відкриваючи нові рівні точності, гнучкості та продуктивності. Використовуючи робототехніку на різних етапах виробничого процесу, виробники передач можуть досягти значного покращення якості, ефективності та конкурентоспроможності в сучасному динамічному ринковому ландшафті.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «Вал-ресора» (рис. 3.1), має зовнішнє зубчасте зачеплення, внутрішні шліці та шпонковий паз, відіграє важливу роль у передачі крутного моменту в редукторі. Основне призначення цієї деталі полягає в наступному:

1) Передача крутного моменту від шліцьової осі. Через внутрішні шліці деталь отримує крутний момент від шліцьової осі, забезпечуючи надійне з'єднання та передавання обертання.

2) Фіксація та передача обертання через шпонковий паз. На вал-ресору встановлюється шестерня, яка фіксується за допомогою шпонки в пазу. Це забезпечує точне передавання крутного моменту від вала до шестерні, що сприяє правильній роботі всієї системи.

3) Передача крутного моменту на вихідний вал через зубчасте зачеплення. Зовнішнє зубчасте зачеплення забезпечує взаємодію з іншими елементами редуктора, дозволяючи передавати обертальний рух на вихідний вал.

Таким чином, вал-ресора виконує важливу функцію в передачі крутного моменту між різними елементами редуктора, забезпечуючи ефективну роботу механізму.

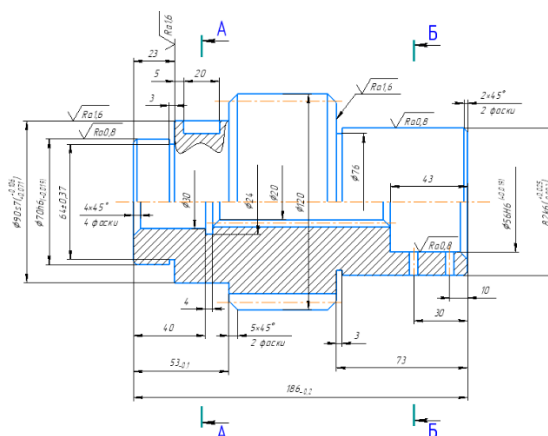


Рисунок 3.1 – Ескіз деталі

Деталь «Вал-ресора» виготовлена зі сталі 35Х, хімічний склад її становить [6]:

- 1) Вуглець (С) – 0,32...0,40%;
- 2) Кремній (Si) – до 0,8%;
- 3) Марганець (Mn) – 0,50...0,80%;
- 4) Хром (Cr) – 0,80...1,10%;
- 5) Сірка (S) – до 0,035%;
- 6) Фосфор (P) – до 0,035%.

Механічні властивості сталі 35Х [6]:

- 1) Межа міцності на розтяг (σ_B) – 850...1000 МПа;
- 2) Межа плинності ($\sigma_{0,2}$) – 540 МПа;
- 3) Відносне подовження (δ) – 11...12%;
- 4) Ударна в'язкість (КСУ) – 590...780 кДж/м²;
- 5) Твердість (НВ) – 217...241 НВ.

Переваги сталі 35Х:

- 1) Висока міцність і зносостійкість.
- 2) Добра оброблюваність після термічної обробки.
- 3) Відмінна зварюваність.

Ці характеристики роблять сталь 35Х оптимальним вибором для виготовлення деталей, що працюють в умовах високих навантажень і тертя, таких як вал-ресора, що забезпечує надійну та ефективну передачу крутного моменту в редукторі.

3.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Виробництва поділяються на три основні види: одиничне, серійне та масове, залежно від виробничої програми, типу продукції та умов виробництва. Кожен з цих видів має свої особливості в організації роботи та технологічному

процесі. На етапі проектування складно точно визначити тип виробництва, тому робимо попереднє визначення на основі виробничої програми та маси деталі.

Попередньо тип виробництва вибираємо за таблицею 3.1, враховуючи масу деталі $m=8,4$ кг та річну програму випуску $N=2000$ штук, тип виробництва можна вважати серійним. Форми організації технологічних процесів відповідно [9] залежить від встановленого порядку виконання операцій технологічного процесу (ТП), розташування технологічного обладнання, кількості виробів. Для обробки цієї деталі вибираємо змінно потокову форму організації ТП.

Таблиця 3.1 – Вибір типу виробництва [7].

Тип виробництва	Кількість оброблюємих деталей за рік		
	важкі, $m > 100$ кг	середні, m від 10 кг до 100 кг	легкі, $m < 10$ кг
одиничне	до 5	до 10	до 100
дрібносерійне	від 5 до 10	від 10 до 200	від 100 до 500
серійне	від 100 до 300	від 200 до 500	від 500 до 5000
крупносерійне	від 300 до 1000	від 500 до 5000	від 5000 до 50000
масове	більше 1000	більше 5000	більше 50000

Кількість партії оброблюваних деталей:

$$n = \frac{\alpha \cdot N}{A}, \text{ шт} \quad (3.1)$$

де N – річна програма випуску, $N=2000$ шт;

α – періодичність запуску партій деталей в виробництво, $\alpha=3 \dots 5$;

A – кількість робочих днів на рік, $A=250$ днів.

$$n = \frac{5 \cdot 2000}{250} = 40 \text{ шт}$$

3.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

В якості способів одержання заготовки для деталі «Вал-ресора» було обрано наступні:

- штампуванням на пресі;
- кування на молоті.

3Д-моделі заготовок отриманих методом штамповки та кування з зазначенням маси наведено на рис. 3.2, 3.3.

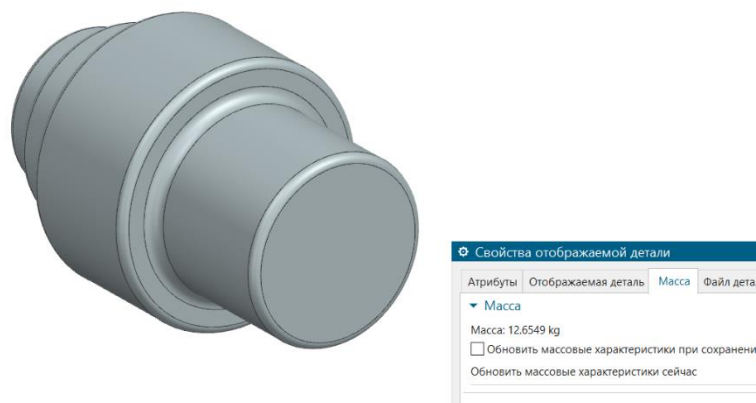


Рисунок 3.2 – 3Д-модель заготовки отриманої на пресі

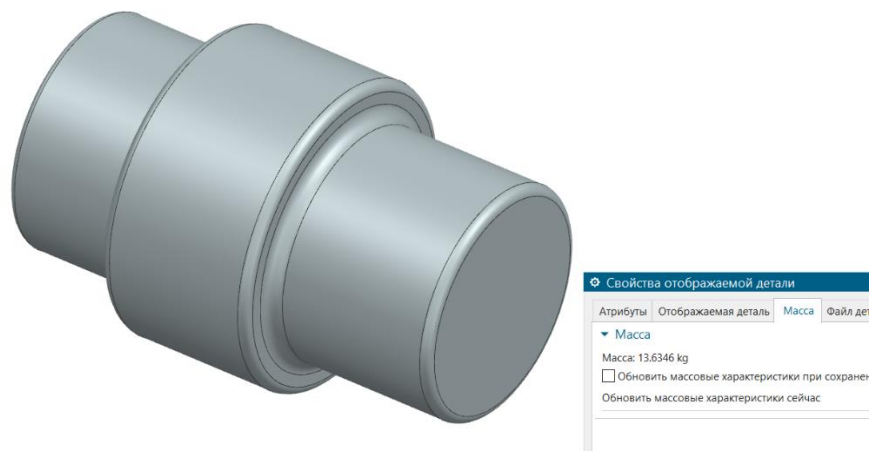


Рисунок 3.3 – 3Д-модель заготовки отриманої на молоті

Собівартість виготовлення однієї заготовки [8]:

$$B = \frac{B_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \frac{B_{\text{відх}}}{1000}, \text{ грн} \quad (3.2)$$

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

B_B – базова собівартість виготовлення 1 т заготовки заготовок, грн. [8];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [8];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [8];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [8];

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [8];

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [8];

$B_{\text{відх}}$ – вартість 1 т стружки [8].

$$B_{\text{прес}} = \frac{3500}{1000} \cdot 12,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (12,6 - 8,4) \cdot \frac{140}{1000} = 64,5 \text{ грн}$$

$$B_{\text{молот}} = \frac{3500}{1000} \cdot 13,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (13,6 - 8,4) \cdot \frac{140}{1000} = 69,5 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (3.3)$$

$$\eta_{\text{прес}} = \frac{8,4}{12,6} = 0,66$$

$$\eta_{\text{молот}} = \frac{8,4}{13,6} = 0,62$$

Порівняльні показники обраних методів заготовки заносяться в таблиці 3.2.

Річні заощадження за вартістю виготовлення заготовок:

$$E_B = (B_{\text{молот}} - B_{\text{прес}}) \cdot N, \quad (3.4)$$

де N – річна програма випуску, шт.

$$E_B = (69,5 - 64,5) \cdot 2000 = 10000 \text{ грн}$$

Заощадження на металі при виготовленні заготовки штампуванням:

$$M_e = \frac{q(\eta_{\text{прес}} - \eta_{\text{молот}})}{\eta_{\text{прес}} \cdot \eta_{\text{молот}}} \cdot N \quad (3.5)$$

$$M_e = \frac{8,4 \cdot (0,66 - 0,62)}{0,66 \cdot 0,62} \cdot 2000 = 1642,2 \text{ кг}$$

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків показників економічного вибору заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			прес	молот
Вага заготовки	Q	кг	12,6	13,6
Базова вартість 1 т заготовки	B_B	грн	3500	3500
Коефіцієнти	K_T		1,0	1,0
	K_M		1,51	1,51
	K_C		0,77	0,77
	K_3		1,27	1,27
	K_P		1,0	1,0
Вартість 1 т стружки	$B_{\text{відх}}$	грн	140	140
Собівартість виготовлення	B_3	грн	64,5	69,5
Коефіцієнт використання матеріалу	η		0,66	0,62

Штампування на пресі обираємо економічно доцільним методом отримання заготовки, так як при цьому економія становить 10000 грн та 1642,2 кг металу.

3.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

3.4.1 Вибір технологічних баз

Для токарних операцій в якості баз використовуємо зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 90$ та $\varnothing 120$, торець розмір 53 та 23 (рис. 3.4).

Для свердлильної обробки як бази будемо використовувати зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 90$ та $\varnothing 82$, лівий крайній торець.

При фрезеруванні паза в якості бази будемо використовувати зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 90$ та $\varnothing 82$, лівий крайній торець.

При протягуванні шліців в якості бази використовуємо крайній правий торець та зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 82$.

Для круглошліфувальної, зубофрезерної, зобошліфувальної обробок в якості баз будемо використовувати цінтрові отвори.

Для операції фрезерування пазу в якості баз використовуємо поверхні 5, 1, 18.

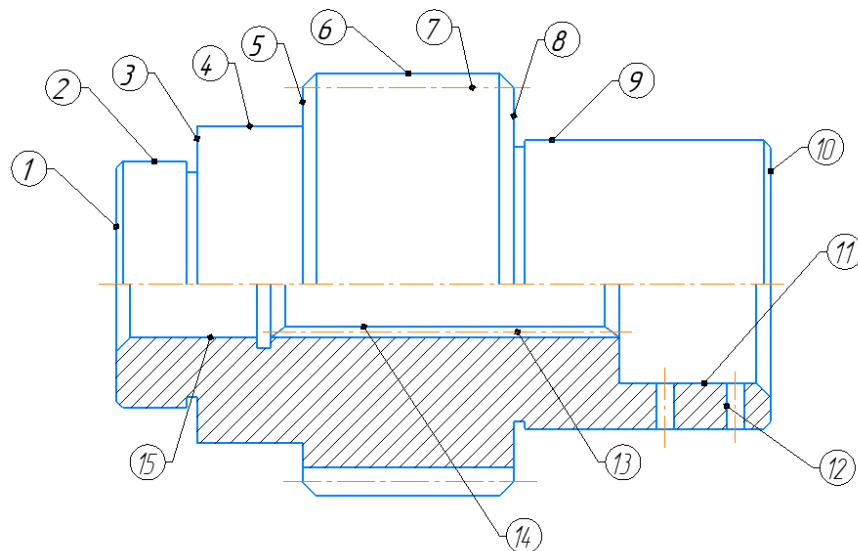


Рисунок 3.4 – Технологічна розмітка поверхонь деталі

3.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхонь (МОП) встановлює послідовність операцій, а також їх зміст. Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні розраховується за формулами:

$$E_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (3.6)$$

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

$$E_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (3.7)$$

де Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

$$E_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (3.8)$$

де Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Для поверхні $\text{Ø}70\text{h}6$ уточнення дорівнюють:

$$E_d = \frac{2,0}{0,019} = 105;$$

$$E_{Ra} = \frac{50}{0,8} = 62;$$

$$E_{\Delta} = \frac{1,6}{0,025} = 64;$$

Розраховуємо кількість переходів за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (3.9)$$

$$k = 2 \cdot \lg 105 = 4$$

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

1) Для допуску – IT17→h12→h9→TO→h7→h6;

2) Для шорсткості – Ra50→Ra12,5→Ra3,2→TO →Ra1,6 →Ra0,8

МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння чистове, шліфування чорнове, чистове шліфування.

Призначаємо перший перехід – точіння чорнове: $T_{D1}=740\text{мкм}$; $T_{Rz1}=12,5\text{мкм}$ [9].

Уточнення:

$$E_{d1}=2000/300=6,6;$$

$$E_{Rz}=50/12,5=4$$

Призначаємо другий перехід – точіння чистове: $T_{D2}=74\text{мкм}$; $T_{Rz2}=3,2\text{мкм}$ [9].

Уточнення:

$$E_{d2}=300/74=4;$$

$$E_{Rz2}=12,5/3,2=3,9$$

$$\Pi E_{dj}=6,6 \cdot 4=26,6 < E_d=105$$

$$\Pi E_{Rzj}=4 \cdot 3,9=15,6 < E_{Rz}=62$$

Призначаємо четвертий перехід – шліфування чорнове: $T_{D4}=30\text{мкм}$; $T_{Rz4}=1,6\text{мкм}$ [9].

Уточнення:

$$E_{d4}=74/30=2,4;$$

$$E_{Rz4}=3,2/1,6=2$$

$$\Pi E_{dj}=26,6 \cdot 2,4=63,8 < E_d=105$$

$$\Pi E_{Rzj}=15,6 \cdot 2=31,2 < E_{Rz}=62$$

Призначаємо п'ятий перехід – шліфування чистове: $T_{D5}=19\text{мкм}$;
 $T_{Rz5}=0,8\text{мкм}$ [9].

Уточнение:

$$Ed5=30/1=1,6;$$

$$ERz=1,6/0,8=2$$

$$\Pi Edj=63,8 \cdot 1,6=102 < E_d=105$$

$$\Pi ERzj=31,2 \cdot 2=62,4 < E_{Rz}=62$$

Цим же методом виконуємо розрахунок для інших поверхонь. Отримані дані заносимо до таблиці 3.3.

3.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі (МВД) – це послідовність виконання певних операцій, для яких необхідно визначити обладнання та технологічне оснащення.

Для деталі «Вал-ресори» МВД складається з наступних етапів:

- 1) I етап – отримання заготовки, термічна обробка (ТО);
- 2) II етап – механічна обробка:
 - токарна обробка (чорнова, чистова);
 - фрезерна обробка;
 - протяжна обробка;
 - зубофрезерна обробка;
 - свердлильна обробка;
- 3) III етап – мийка, контроль.
- 4) IV етап – ТО (гартування, відпал);
- 5) V етап – механічна обробка:
 - шліфування (чорнове, чистове);

Таблиця 3.3 – Маршрути обробки основних поверхонь деталі

Характер поверхні	Параметри заготівлі		Параметри деталі		МОП		Допуски, мкм			Уточнення		
	T_{d3}	T_{Rz3}	$T_{dД}$	$T_{RzД}$	IT	Метод оброб.	Розм	Ra	↑ мм	Геом. розм	Шорс т.	↑ мм
Ø 70h6 Ra=0,8 ↑=0,025	2,0	50	0,019	0,8	17	Загот.	2000	50	1.6	—	—	-
					12	Точін. чорн.	300	12.5	0.4	6.6	4	4
					9	Точін. чист.	74	3,2	0.1	4	3.9	4
					-	ТО	-	-	-	-	-	-
					7	Шліф. чорн.	30	1,6	0.05	2,4	2	2
					6	Шліф. чист.	19	0,8	0.025	1,6	2	2
Ø 90s7 Ra=1.6 ↑=0,05	2,0	50	0,035	1,6	17	Загот.	2000	50	1.6	—	—	-
					12	Точін. чорн.	350	12,5	0.4	5,7	4	4
					9	Точін. чист.	87	3,2	0.1	4	3.9	4
					-	ТО	-	-	-	-	-	-
					7	Шліф.	35	1,6	0.05	2,5	2	2
Ø 82h6 Ra=0.8 ↑=0,025	2,0	50	0,022	0,8	17	Загот.	2000	50	1.6	—	—	-
					12	Точін. чорн.	350	12.5	0.4	5,7	4	4
					9	Точін. чист.	87	3,2	0.1	4	3.9	4
					-	ТО	-	-	-	-	-	-
					7	Шліф. чорн.	35	1,6	0.05	2,4	2	2
					6	Шліф. чист.	22	0,8	0.025	1,6	2	2
23js10 Ra=1.6 ↑=0,05	1,8	50	0,084	1,6	17	Загот.	1800	50	1.6	—	—	-
					14	Точін. чорн.	520	12,5	0.4	3,4	4	4
					12	Точін. чист.	210	3,2	0.1	2,5	3.9	4
					-	ТО	-	-	-	-	-	-
					10	Шліф.	84	1,6	0.05	2,5	2	2

- зубошліфування;
- 5) етап - мийка, контроль.

3.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Припуск розрахуємо розрахунково-аналітичним методом для поверхні 70h6. Припуск – це додатковий шар матеріалу на заготовці, що може містити дефекти, неприйнятні для умов експлуатації деталі. Цей шар необхідно зняти, щоб досягти необхідних характеристик обробленої поверхні. Він також слугує для компенсації похибок, допущених на попередніх етапах обробки, забезпечуючи точність і якість готової деталі.

Розраховуємо просторові відхилення:

- 1) для заготовки:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (3.10)$$

де $\rho_{зм}$ – відхилення від соосності $\rho_{зм} = 0,5$ мм [9];

$\rho_{кор}$ – похибка від короблення.

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (3.11)$$

де $\Delta_{кор}$ – кривизна поковки $\Delta_{кор} = 3$ мкм/мм [9].

$$\rho_{кор} = 3 \cdot 186 = 558 \text{ мкм};$$

$$\rho_1 = \sqrt{0,5^2 + 0,558^2} = 0,75 \text{ мм.}$$

- 2) для чорнового точіння:

$$\rho_j = K_{ут} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (3.12)$$

де $K_{ут}$ – коефіцієнт уточнення для переходів обробки $K_{ут} = 0,06$ [9].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 750 = 45 \text{ мкм}$$

3) для чистового точіння:

де $K_{\text{ут}}$ – коефіцієнт уточнення для переходів обробки $K_{\text{ут}} = 0,04$ [9].

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 45 = 1,8 \text{ мкм}$$

4) для ТО:

$$\rho_4 = \Delta_{\text{к}} \cdot L \quad (3.13)$$

де $\Delta_{\text{кор}}$ – кривизна після ТО $\Delta_{\text{кор}} = 0,1$ мкм/мм [9].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 186 = 18,6 \text{ мкм}$$

5) для шліфування чорнового:

де $K_{\text{ут}}$ – коефіцієнт уточнення для переходів обробки $K_{\text{ут}} = 0,03$ [9].

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (1,8 + 18,6) = 0,6 \text{ мкм};$$

6) для шліфування чистового:

де $K_{\text{ут}}$ – коефіцієнт уточнення для переходів обробки $K_{\text{ут}} = 0,02$ [9].

$$\rho_6 = 0,02 \cdot 0,6 = 0 \text{ мкм};$$

Похибка закріплення за переходами розруховуємо за формулами:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{\text{зар}}^2 + 1} \quad (3.14)$$

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{2^2 + 1} = 0,56 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_2 = K_{\text{ут}} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (3.15)$$

$$\varepsilon_2 = 0,04 \cdot 560 = 22 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 22 = 0,6 \text{ мкм.}$$

$$\varepsilon_6 = 0,02 \cdot 0,6 = 0 \text{ мкм.}$$

Шорсткість поверхні та глибина дефектного шару за переходами:

- 1) $Rz_1 = 200$ мкм та $h_1 = 250$ мкм [9];
- 2) $Rz_2 = 40$ мкм та $h_2 = 40$ мкм [9];
- 3) $Rz_3 = 20$ мкм та $h_3 = 20$ мкм [9];
- 4) $Rz_5 = 10$ мкм та $h_5 = 15$ мкм [9];
- 5) $Rz_6 = 5$ мкм та $h_6 = 5$ мкм [9].

Мінімальні припуски для переходів механічної обробки:

$$2z_i^{\min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (3.16)$$

$$2z_2^{\min} = 2(250 + 200 + \sqrt{750^2 + 560^2}) = 2772 \text{ мкм}$$

$$2z_3^{\min} = 2(40 + 40 + \sqrt{45^2 + 22^2}) = 260 \text{ мкм}$$

$$2z_5^{\min} = 2(20 + 20 + \sqrt{1,8^2 + 0,6^2}) = 84 \text{ мкм}$$

$$2z_6^{\min} = 2(10 + 15 + \sqrt{0,6^2 + 0^2}) = 52 \text{ мкм}$$

Максимальний розмір поверхні деталі – останнього переходу розраховується за формулою:

$$d_6^{\max} = d_6^{\text{НОМ}} + ES_{d_6} \quad (3.17)$$

$$d_6^{\max} = 70 - 0 = 70 \text{ мм}$$

Максимальні розміри для механічних переходів розраховується за формулою:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (3.18)$$

$$d_5^{\max} = 70 + 0,052 + 0,019 = 70,082 \text{ мкм}$$

$$d_3^{\max} = 70,082 + 0,084 + 0,03 = 70,24 \text{ мкм}$$

$$d_2^{\max} = 70,24 + 0,260 + 0,074 = 70,8 \text{ мкм}$$

$$d_1^{\max} = 70,8 + 2,772 + 2 = 75,572 \rightarrow 75,6 \text{ мкм}$$

Мінімальні розміри поверхні розраховуються за формулою:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (3.19)$$

$$d_6^{\min} = 70 - 0,019 = 69,981 \text{ мм}$$

$$d_5^{\min} = 70,082 - 0,03 = 70,052 \text{ мм}$$

$$d_3^{\min} = 70,24 - 0,074 = 70,166 \text{ мм}$$

$$d_2^{\min} = 70,8 - 0,3 = 70,5 \text{ мм}$$

$$d_1^{\min} = 75,6 - 2 = 73,6 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (3.20)$$

$$2z_2^{\max} = 75,6 - 70,5 = 5,1 \text{ мм}$$

$$2z_3^{\max} = 70,8 - 70,166 = 0,634 \text{ мм}$$

$$2z_5^{\max} = 70,24 - 70,052 = 0,188 \text{ мм}$$

$$2z_6^{\max} = 70,082 - 69,981 = 0,259 \text{ мм}$$

Перевірка правильності розрахунків виконується за формулами:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{зар}} + TD_{\text{дет}} \quad (3.21)$$

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min} \quad (3.22)$$

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max} \quad (3.23)$$

$$2z_0^{\max} = 75,6 - 69,981 = 5,619 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\min} = 73,6 - 70 = 3,6 \text{ мм}$$

$$TD_0 = 2 + 0,019 = 2,019 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 5,619 - 3,6 = 2,019 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 74,3_{-0,7}^{+1,3}$ мм.

Для поверхонь 23js10, Ø 82h6, Ø 90s7 припуски призначаємо табличним методом. Згідно цього методу припуски на всі переходи призначаються по таблицям довідкової літератури [9].

Припуски по переходам:

- 1) Чорнове точіння: $2Z^{min} = 3$ мм;
- 2) Чистове точіння: $2Z^{min} = 0,5$ мм;
- 3) Шліфування чорнове: $2Z^{min}=0,3$ мм;
- 4) Шліфування чистове: $2Z^{min}=0,1$ мм;

Результати розрахунку припусків наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Припуски та міжопераційні розміри

Характеристика поверхонь	МОП		Допуск	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуску		Виконавчий розмір
	IT	Метод обробки		Td, мм	d_i^{max} , мм	d_i^{min} , мм	$2z_i^{max}$	
Ø70h6 Ra=0,8 ↑=0,025	17	Загот.	2000	75,6	73,6	-	-	Ø 74,3 ^(+1,3) _(-0,7) Ø70,8 _{-0,3} Ø70,2 _{-0,074} Ø70,082 _{-0,03} Ø70 _{-0,019}
	12	Точін. чорн.	300	70,8	70,5	5100	2772	
	9	Точін. чист.	74	70,24	70,166	634	260	
	-	ТО	-	-	-	-	-	
	7	Шліф. чорн.	30	70,082	70,052	188	84	
	6	Шліф. чист.	19	70	69,981	101	52	
Ø 82h6 Ra=0,8 ↑=0,025	17	Загот.	2000	88,4	86,4	-	-	Ø 87,1 ^(+1,3) _(-0,7) Ø83,4 _{-0,35} Ø82,5 _{-0,087} Ø82,1 _{-0,035} Ø82 _{-0,022}
	12	Точін. чорн.	350	83,372	83,022	5378	3000	
	9	Точін. чист.	87	82,522	82,435	937	500	
	-	ТО	-	-	-	-	-	
	7	Шліф. чорн.	35	82,135	82,1	422	300	
	6	Шліф. чист.	22	82	81,978	544	100	
Ø90s7 Ra=1.6 ↑=0,05	17	Загот.	2000	96.2	94.2	-	-	Ø 94.9 ^(+1,3) _(-0,7) Ø91,2 _{-0,35} Ø90,4 _{-0,087} Ø90 _{-0,035}
	12	Точін. чорн.	350	91,237	90,887	5313	3000	
	9	Точін. чист.	87	90,387	90,3	937	500	
	-	ТО	-	-	-	-	-	
	7	Шліф.	35	90	89,965	422	300	
23js10 Ra=1.6 ↑=0,05	17	Загот.	1800	29,4	27,6	-	-	28,2 ^(+1,2) _(-0,6) 24,6±0.26 23,5±0.105
	14	Точін. чорн.	520	24,572	24,052	5348	3000	
	12	Точін. чист.	210	23,552	23,342	1230	500	
	-	ТО	-	-	-	-	-	
	10	Шліф.	84	23,042	22,958	594	300	

								23±0,042
--	--	--	--	--	--	--	--	----------

3.6 Розрахунок режимів різання

3.6.1 Операція 020 – токарна з ЧПК

На операції №020 виконуємо чорнове точіння поверхонь на токарному верстаті з ЧПК моделі MAST ML 500x1000 SH8. В якості пристрою використовуємо трикулачковий патрон. Ескіз операційний представлений рис.

1.5. Технічні характеристики верстата:

- 1) найбільший діаметр оброблюваної заготовки – 500мм;
- 2) найбільша довжина заготовки, що обробляється – 1000 мм;
- 3) частоти обертання шпинделя – 200...1600об/хв;
- 4) подачі супортів мм/хв
 - поздовжнього – 3...1200;
 - поперечного – 1,5...600;
- 5) потужність – 7,5 кВт.

Інструмент:

1) різець підрізний $\varphi=95^\circ, \alpha=10^\circ, \gamma=8^\circ; r=1\text{мм}, 16 \times 25 \times 140, \text{T15K6 ГОСТ 18880-73 [5]}$;

2) Свердло 10 мм Р6М5 ГОСТ 10903-77 [10];

Глибина різання розраховується за формулою:

$$h = L_{\text{заг}} - L_{\text{дет}} = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}}{2}, \quad (3.24)$$

де $D_{\text{заг}}$ – розмір заготовки, мм;

$D_{\text{дет}}$ – операційний розмір деталі, мм.

$$h_1 = \frac{74,3 - 70,8}{2} = 1,75 \text{ мм}$$

$$h_2 = \frac{10 - 0}{2} = 5 \text{ мм}$$

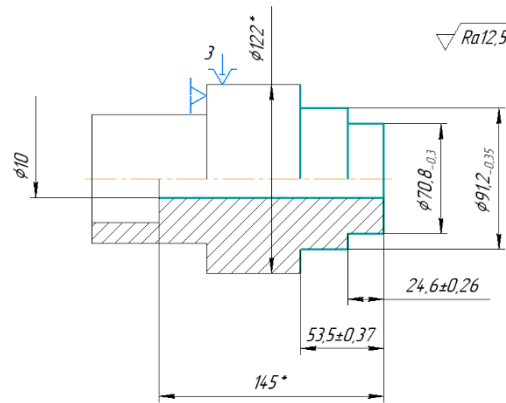


Рисунок 3.5 – Операційний ескіз токарної операції

Глибина різання для одного проходу розраховується за формулою:

$$t = \frac{h}{i}, \quad (3.25)$$

де $i=2$ – кількість проходів.

$$t_1 = \frac{1,75}{2} = 0,87 \text{ мм}$$

$$t_2 = 5 \text{ мм}$$

Подача для зовнішнього точіння розраховується за формулою:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_S, \text{ мм/об} \quad (3.26)$$

де S_{0T} – табличне значення подачі $S_{0T} = 0,37$ мм/об [11];

K_S – поправочний коефіцієнт на подачу

$$K_S = K_{SK} \cdot K_{Sy} \cdot K_{S\phi} \cdot K_{Sr} \cdot K_{SM} \quad (3.27)$$

де K_{SK} – коефіцієнт, що враховує квалітет обробки, $K_{SK} = 1,0$ [11];

K_{Sr} – коефіцієнт, що враховує радіус вершини різця, $K_{Sr} = 0,85$ [11];

$K_{S\phi}$ – коефіцієнт, що враховує кінематичний кут в плані, $K_{S\phi} = 1,0$ [11];

K_{Sy} – коефіцієнт, що враховує схему встановлення заготовки, $K_{Sy} = 1,2$ [11];

K_{SM} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу, $K_{SM} = 0,8$ [11].

$$K_S = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 0,81$$

$$S_0 = 0,37 \cdot 0,81 = 0,28 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S = 0,2$ мм/об.

Подача для свердління по формулі (3.26), (3.27):

$$K_S = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 0,81$$

$$S_0 = 0,37 \cdot 0,81 = 0,28 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S = 0,2$ мм/об.

Швидкість різання для повздовжнього точіння розраховується за формулою:

$$V = V_m \cdot K_V \quad (3.28)$$

де V_T – табличне значення швидкості різання $V_T = 487$ м/хв [11];

K_V – поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_V = K_{V_m} \cdot K_{V_{и}} \cdot K_{V_j} \cdot K_{V_o} \cdot K_{V_T} \cdot K_{V_c} \cdot K_{V_{\phi}} \cdot K_{V_{ж}} \quad (3.29)$$

де K_{V_c} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, $K_{V_c} = 1,0$ [11];

$K_{V_{и}}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, $K_{V_{и}} = 0,8$ [11];

K_{V_j} – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата, $K_{V_j} = 0,7$ [11];

K_{V_o} – коефіцієнт, що враховує вид обробки, $K_{V_o} = 1,0$ [11];

K_{V_T} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента, $K_{V_T} = 0,6$ [11];

K_{V_m} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу, $K_{V_m} = 0,7$ [11];

$K_{V_{\phi}}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця, $K_{V_{\phi}} = 1,0$ [11];

$K_{V_{ж}}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням, $K_{V_{ж}} = 1,0$ [11].

$$K_V = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,33$$

$$V = 487 \cdot 0,33 = 160 \text{ м/хв}$$

Швидкість різання для свердління розраховується за формулою (3.28),

(3.29):

$$K_V = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,33$$

$$V = 57 \cdot 0,33 = 18,8 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя n , об/хв розраховується за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (3.30)$$

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 160}{3,14 \cdot 122} = 417 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 18,8}{3,14 \cdot 10} = 598 \text{ об/хв}$$

Приймається фактична частота обертання шпинделя верстата відповідно до паспортних даних $n_1=400$ об/хв, $n_2=600$ об/хв.

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою:

$$V_d = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000} \quad (3.31)$$

$$V_{d1} = \frac{400 \cdot 3,14 \cdot 122}{1000} = 153 \text{ м/хв}$$

$$V_{d2} = \frac{600 \cdot 3,14 \cdot 10}{1000} = 19 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу $L_{рх}$, мм розраховується за формулою:

$$L_{рх} = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (3.32)$$

де $l_{обр}$ – довжина обробки, мм;

$l_{вр}$ – величина врізання $l_{вр} = 2$ мм [11];

$l_{пер}$ – перебігу $l_{пер} = 2$ мм [11].

$$L_{рх1} = 2 + 113 + 2 = 117 \text{ мм}$$

$$L_{рх2} = 12 + 145 + 2 = 159 \text{ мм}$$

Машинний час розраховується за формулою:

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_o \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (3.33)$$

$$t_{o1} = \frac{117}{0,2 \cdot 400} \cdot 2 = 2,9 \text{ хв}$$

$$t_{o2} = \frac{159}{0,2 \cdot 600} \cdot 1 = 1,3 \text{ хв}$$

$$\Sigma T_o = 2,9 + 1,3 = 4,2 \text{ хв}$$

3.6.2 Операція 105 – шліфувальна

На операції №105 виконується чистове шліфування шийки на круглошліфувальному верстаті моделі 3А151. Операційний ескіз зображено на рис. 3.6. В якості інструменту використовуємо шліфувальний круг 1 600х63х305 15А 40Н СТ1 6 К8 А 35 м/с ГОСТ 2424-83. В якості пристосування використовуємо центра, хомутик повідковий. Технічні характеристики верстата:

- 1) найбільший діаметр – 200мм;
- 2) найбільша довжина – 700 мм;
- 3) частота обертання круга – 1272об/хв;
- 4) частота обертання шпинделя – 63...400 об/хв;
- 5) потужність – 7,5 кВт.

Припуск на обробку дорівнює $Z_1=0,101/2=0,05$ мм.

Глибина різання – 23мм.

Подача радіальна розраховуємо по формулі (1.26), (1.27):

де S_T – табличне значення радіальної подачі, $S_T=0,008$ мм/об [11];

K_D – коефіцієнт враховуючий діаметр круга, $K_D=0,82$ [11];

K_R – поправочний коефіцієнт враховуючий радіус галтелі, $K_R=1,0$ [11];

K_T – поправочний коефіцієнт враховуючий стійкість круга, $K_T=1,0$ [11];

K_h – поправочний коефіцієнт враховуючий припуск, $K_h = 1,0$ [11];

K_{IT} – коефіцієнт враховуючий квалітет виконання розміру, $K_{IT} = 0,8$ [11];

K_M – поправочний коефіцієнт враховуючий матеріал деталі, $K_M = 1,0$ [11].

$$S_{\text{поп}} = 0,008 \cdot 0,82 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,0052 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S_{\text{поп}} = 0,005$ мм/об.

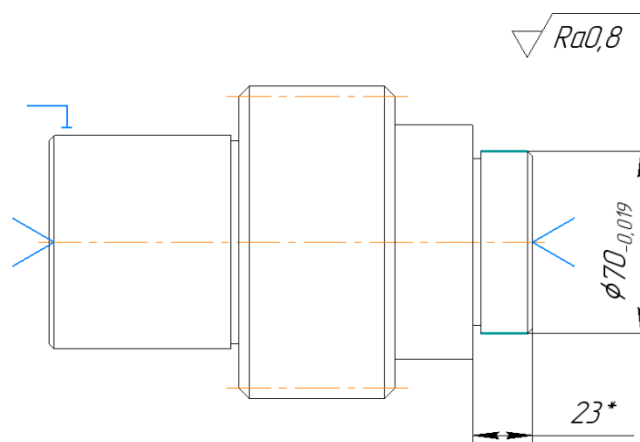


Рисунок 3.6 – Операційний ескіз

Табличне значення швидкості різання визначаємо за довідковою літературою [10]:

- швидкість обертання круга – $V_{\text{ш.кр.}} = 35$ м/с;
- швидкість обертання деталі – $V_{\text{ш.дет.}} = 50$ м/хв.

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.дет.}}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (3.34)$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 70} = 227 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстату $n_{\text{ш.кр.}} = 1272$ об/хв, $n_{\text{дет.}} = 200$ об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулою (3.31):

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{3,14 \cdot 600 \cdot 1272}{1000 \cdot 60} = 40 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{дет.}} = \frac{3,14 \cdot 70 \cdot 200}{1000} = 44 \text{ м/хв}$$

Визначаємо основний час:

$$T_o = \frac{z \cdot k}{n_{\text{дет}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (3.35)$$

де k – коефіцієнт уточнення, $k=1,7$ [6].

$$T_o = \frac{0,05 \cdot 1,7}{200 \cdot 0,005} = 0,08 \text{ хв}$$

3.6.3 Операція 050 – свердлильна з ЧПК

Свердління отворів виконуємо на фрезерному верстаті з ЧПК HAAS VF-4. Ескіз операції зображено на рис. 3.7. В якості інструменту обираємо свердло $\phi 5$ P6M5 ГОСТ 10902-77 [10]. Технічні характеристики верстата:

- 1) Робочі переміщення:
 - Переміщення по осі X – 1270 мм;
 - Переміщення по осі Y – 508 мм;
 - Переміщення по осі Z – 635 мм;
- 2) Конус шпинделя – 40 ВТ;
- 3) Максимальна швидкість обертання шпинделя – 8100 об/хв;
- 4) Прискорені переміщення по осях X, Y, Z – 25,4 м/хв;
- 5) Максимальна швидкість подачі при різанні – 16,5 м/хв;
- 6) Кількість інструменту в магазині – 20;
- 7) Поверхня столу X x Y – 457 x 1321 мм;
- 8) Потужність електродвигуна головного руху – 22,4 кВт.

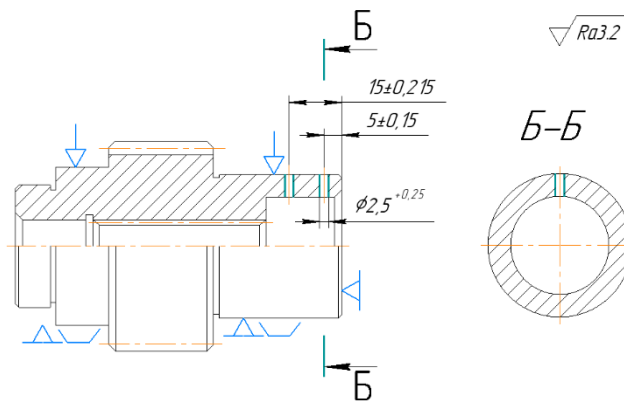


Рисунок 3.7 – Операційний ескіз

Глибина свердління по формулі (3.25):

$$t = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ мм}$$

Подачу розраховуємо за формулою (3.26), (3.27):

де $S_{табл}$ – табличне значення подачі, $S_{табл}=0,22\text{мм/хв}$ [11];

K_{Sl} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління, $K_{Sl} = 1,0$ [11];

$K_{Sжс}$ – коефіцієнт, що враховує жорсткість системи, $K_{Sжс} = 0,8$ [11];

K_{Si} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту, $K_{Si} = 1,0$ [11];

K_{Sd} – коефіцієнт, що враховує наскрізний отвір, $K_{Sd} = 1,0$ [11];

K_{Sm} – коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу, $K_{Sm}=1,0$ [11].

$$S_p = 0,22 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,17 \text{ мм/об}$$

Приймаємо $S=0,2\text{мм/об}$.

Розраховуємо швидкість різання за формулою (3.28), (3.29):

де $V_{табл}$ – табличне значення швидкості, $V_{табл} = 59\text{м/хв}$ [11].

K_{VM} – коефіцієнт оброблюваності матеріалу, $K_{VM}=0,8$ [11];

K_{VI} – коефіцієнт, враховує властивості матеріалу різальної частини інструмента $K_{VI}=0,91$ [11];

K_{Vd} – коефіцієнт, враховує наскрізний отвір, $K_{Vd}=0,9$ [11];

K_{Vl} – коефіцієнт, враховує глибину свердління, $K_{Vl}=1,0$ [11];

K_{VO} – коефіцієнт, враховує вплив змащувально-охолоджувального технічного середовища (ЗОТС), $K_{VO}=1,0$ [11].

$$V_p = 59 \cdot 0,8 \cdot 0,91 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 38,6 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя розраховуємо за формулою (3.30):

$$n = \frac{1000 \cdot 38,6}{3,14 \cdot 5} = 2458 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по верстату: $n=2000$ об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (3.31):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 5 \cdot 2000}{1000} = 31 \text{ м/хв}$$

Розраховуємо основний машинний час обробки:

$$t_o = \frac{(L+L_{вр}+L_{пер}) \cdot i}{s \cdot n}, \text{ хв} \quad (3.36)$$

де $L_{вр}$ – величина врізання;

$L_{пер}$ – величина перебігу;

i – кількість отворів.

$$L_{вр} = \frac{D_{св}}{2} \text{ctg} \frac{120}{2} \quad (3.37)$$

$$L_{вр1} = \frac{5}{2} \text{ctg} 60 = 1,5 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{(1,5+13+2) \cdot 2}{0,2 \cdot 2000} = 0,08 \text{ хв},$$

3.6.4 Операція 045 – фрезерна

Для фрезерування шпонкового пазу вибираємо фрезерний верстат з ЧПК HAAS VF-4. В якості інструменту обираємо кінцеву фрезу, діаметром $D = 12$ мм з числом зубів $z = 2$ з швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73 [10]. Операційний ескіз представлений на рис. 3.8.

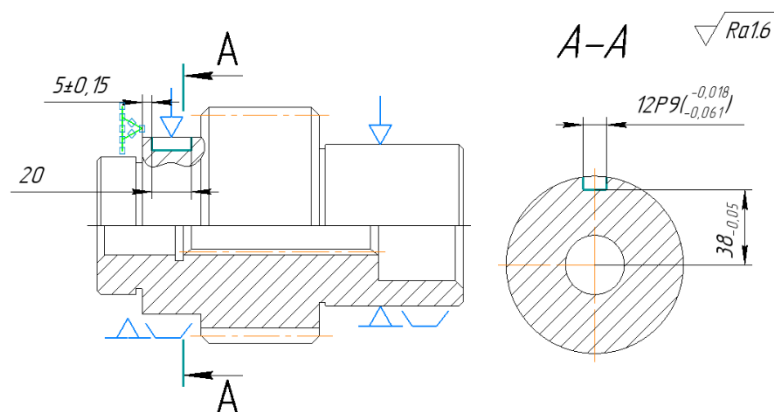


Рисунок 3.8 – Ескіз для фрезерної операції

Глибина різання: $t = 12$ мм.

Подача згідно формул (3.26), (3.27):

де $S_{\text{табл}} = 0,025$ мм/зуб – табличне значення подачі [11].

$K_{S\text{п}} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вид оброблюваної поверхні заготовлі [11];

$K_{S\text{i}} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує матеріал різальної частини інструменту [11];

$K_{S\text{ф}} = 1,0$ – коефіцієнт, враховує форму оброблюваної поверхні [11];

$$S_p = 0,025 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,025 \text{ мм/зуб}$$

Розраховуємо швидкість різання по формулі (1.29):

де $V_{\text{табл}} = 45$ м/хв – табличне значення швидкості [11].

$K_{VM} = 1,0$ - коефіцієнт оброблюваності матеріалу [11];

$K_{VII} = 1,0$ – коефіцієнт, враховує властивості матеріалу різальної частини інструменту [11];

$K_{V\phi} = 1,0$ – коефіцієнт, враховує вид обробки [11];

$K_{VT} = 0,57$ – коефіцієнт, враховує жорсткість деталі [11];

$K_{VЖ} = 1,13$ – коефіцієнт, враховує стан поверхні заготовлі [11];

$K_{VO} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОТС [11];

$$V_p = 45 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,13 \cdot 1 = 29 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (3.30):

$$n = \frac{1000 \cdot 29}{3,14 \cdot 12} = 769 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстату: $n=750$ об/хв.

Дійсна швидкість різання за формулою (3.31):

$$V = \frac{3,14 \cdot 12 \cdot 750}{10000} = 28 \text{ м/хв}$$

Визначення хвилинної подачі інструменту.

$$S_M = S_Z \cdot n \cdot z \tag{3.38}$$

$$S_M = 0,025 \cdot 750 \cdot 2 = 37 \text{ мм/хв}$$

Вибираємо значення: $S_M = 40$ мм/хв

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{t+l_1}{S_M} + \frac{l-D}{S_M} \cdot i \tag{3.39}$$

де $l=16$ мм – довжина фрезерування;

l_1 – величина врізання;

$i=3$ – число проходів;

$$l_1 = 0,5D \sin(\arccos(1 - \frac{2t}{D})) \quad (3.40)$$

$$l_1 = 0,5 \cdot 6 \cdot \sin(\arccos(1 - \frac{2 \cdot 3,5}{6})) = 2,6 \text{ мм}$$

$$t_0 = \frac{7+2,6}{40} + \frac{20-12}{40} \cdot 3 = 0,84 \text{ хв}$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку режимів різання та норм часу

Номер та назва операції	Номер переходу	Режими різання				
		глибина різання t , мм	кількість проходів i	подача S , мм/об	швидкість різання V , м/хв	частота обертів шпинделя n , об/хв
015 Токарна з ЧПК	01	1	2	0,2	150	500
	02	15	1	0,2	150	500
020 Токарна з ЧПК	01	0,87	2	0,2	153	400
	02	5	1	0,2	19	600
025 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	150	500
	02	0,5	2	0,1	150	500
030 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	150	500
	02	0,5	2	0,1	150	500
035 Протяжна	01	4	1	0,025мм/зуб	5	-
040 Зубофрезерна	02	8,8	28	50мм/хв	35	500
045 Фрезерна з ЧПК	01	12	3	40мм/хв	28	750
050 Свердлильна з ЧПК	01	2,5	2	0,2	31	2000
075 Круглошліфувальна	01	0,5	1	0,005	40/47	1272/300
080 Круглошліфувальна	01	0,5	1	0,005	40/45	1272/350
085 Круглошліфувальна	01	0,5	1	0,005	40/42	1272/400
090 Круглошліфувальна	01	0,5	1	0,005	40/43	1272/300
095 Круглошліфувальна	01	0,2	1	0,005	40/45	1272/350
100 Круглошліфувальна	01	0,1	1	0,005	40/44	1272/350
105 Круглошліфувальна	01	23	1	0,005	40/44	1272/200
110 Зубошліфувальна	01	0,5	28	0,005	50/15	1500/450

3.7 Технічне нормування операцій

3.7.1 Технічне нормування токарної операції 020

Допоміжний час на операцію:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{уп}} + t_{\text{пр.рух.}} + t_{\text{контр}}, \quad (3.41)$$

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі $t_{\text{вст}} = 0,6$ хв [12];

$t_{\text{уп}}$ – час на управління верстатом $t_{\text{уп}} = 0,2$ хв [12];

$t_{\text{пр.рух.}}$ – час пришвидшених рухів $t_{\text{пр.рух.}} = 0,8$ хв [12];

$t_{\text{контр}}$ – час на контроль деталі, $t_{\text{контр}} = 0,3$ хв [12].

$$t_{\text{доп}} = 0,6 + 0,2 + 0,8 + 0,3 = 1,9 \text{ хв}$$

Оперативний час:

$$t_{\text{оп}} = t_0 + t_{\text{доп}} \quad (3.42)$$

$$t_{\text{оп}} = 4,2 + 1,9 = 6,1 \text{ хв}$$

Додатковий час:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (3.43)$$

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [12].

$$t_{\text{дод}} = 6,1 \cdot 0,1 = 0,61 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (3.44)$$

$$t_{\text{шт}} = 6,1 + 0,61 = 6,71 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою :

$$t_{пз} = t_{пз1} + t_{пз2} \quad (3.45)$$

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{пз1} = 18$ хв [12];

$t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, $t_{пз2} = 8$ хв [12].

$$t_{пз} = 18 + 8 = 26 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n} \quad (3.46)$$

$$t_{шт-к} = 6,71 + \frac{26}{40} = 7,36 \text{ хв}$$

3.7.2 Технічне нормування шліфувальної операції 105

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (3.41):

де $t_{вст}$ – час на встановлення та зняття деталі $t_{вст} = 0,4$ хв [12];

$t_{мд}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь $t_{мд} = 0,4$ хв [12];

$t_{контр}$ – час на вимірювання $t_{контр} = 0,1$ хв [12].

$$t_{доп} = 0,4 + 0,4 + 0,1 = 0,9 \text{ хв.}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.42):

$$t_{оп} = 0,08 + 0,9 = 0,98 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (3.43):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [12].

$$t_{\text{дод}} = 0,98 \cdot 0,1 = 0,1 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (3.44):

$$t_{\text{шт}} = 0,98 + 0,1 = 1,08 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (3.45):

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни $t_{\text{пз1}} = 13 \text{ хв}$ [12];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, $t_{\text{пз2}} = 12 \text{ хв}$ [12].

$$t_{\text{пз}} = 13 + 12 = 25 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (3.46):

$$t_{\text{шт-к}} = 1,08 + \frac{25}{40} = \text{хв}$$

3.7.3 Технічне нормування свердлильної операції 050

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (3.41):

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі $t_{\text{вст}} = 0,4 \text{ хв}$ [12];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь $t_{\text{мд}} = 0,5 \text{ хв}$ [12];

$t_{\text{контр}}$ – час на вимірювання $t_{\text{контр}} = 0,1 \text{ хв}$ [12].

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,5 + 0,1 = 1 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (3.42):

$$t_{\text{оп}} = 0,08 + 1 = 1,08 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (3.43):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [12].

$$t_{\text{доп}} = 1,08 \cdot 0,1 = 0,1 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (3.44):

$$t_{\text{шт}} = 1,08 + 0,11 = 1,19 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (3.45):

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни $t_{\text{пз1}} = 12 \text{ хв}$ [12];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, $t_{\text{пз2}} = 10 \text{ хв}$ [12].

$$t_{\text{пз}} = 12 + 10 = 22 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.46):

$$t_{\text{шт-к}} = 1,19 + \frac{22}{40} = 1,74 \text{ хв}$$

3.7.4 Технічне нормування фрезерної операції 045

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (3.41):

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі $t_{\text{вст}} = 0,4$ хв [12];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь $t_{\text{мд}} = 0,7$ хв [12];

$t_{\text{контр}}$ – час на контроль деталі, $t_{\text{контр}} = 0,2$ хв [12].

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,7 + 0,2 = 1,3 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (3.42):

$$t_{\text{оп}} = 0,84 + 1,3 = 2,13 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (3.43):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [12].

$$t_{\text{дод}} = 2,13 \cdot 0,1 = 0,21 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (3.44):

$$t_{\text{шт}} = 2,13 + 0,21 = 2,34 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (3.45):

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни $t_{\text{пз1}} = 10$ хв [12];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс $t_{\text{пз2}} = 12$ хв [12];

$t_{пзз}$ – час на пробну обробку деталі $t_{пзз} = 5$ хв [12].

$$t_{пз} = 10 + 12 + 5 = 27 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (3.46):

$$t_{шт-к} = 2,34 + \frac{27}{40} = 3 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_0 , хв	$t_{доп}$, хв	$t_{дод}$, хв	$t_{шт}$, хв	$t_{пз}$, хв	$t_{шт-к}$, хв
015 Токарна з ЧПК	8	1,9	0,99	10,89	26	11,54
020 Токарна з ЧПК	4,2	1,9	0,61	6,71	26	7,36
025 Токарна з ЧПК	12	1,9	1,39	15,29	26	15,94
030 Токарна з ЧПК	10	1,9	1,19	13,09	26	13,74
035 Протяжна	3	2,5	0,55	6,05	18	6,50
040 Зубофрезерна	45	0,8	4,58	50,38	20	50,88
045 Фрезерна з ЧПК	0,84	1,3	0,21	2,34	27	3,00
050 Свердлильна з ЧПК	0,08	1	0,11	1,19	22	1,74
075 Круглошліфувальна	2,5	0,9	0,34	3,74	25	4,37
080 Круглошліфувальна	2,3	0,9	0,32	3,52	25	4,15
085 Круглошліфувальна	3,2	0,9	0,41	4,51	25	5,14
090 Круглошліфувальна	1,8	0,9	0,27	2,97	25	3,60
095 Круглошліфувальна	3,1	0,9	0,40	4,40	25	5,03
100 Круглошліфувальна	1,5	0,9	0,24	2,64	25	3,27
105 Круглошліфувальна	0,08	0,9	0,10	1,08	25	1,70
110 Зубошліфувальна	30	1,5	3,15	34,65	20	35,15

3.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

3.8.1 Операцію 030 – токарна

Для токарної операція №030 керуючу програму (КП) розроблюємо в програмі Siemens.NX. 3D-моделі деталі для операції зображено на рис. 3.9.

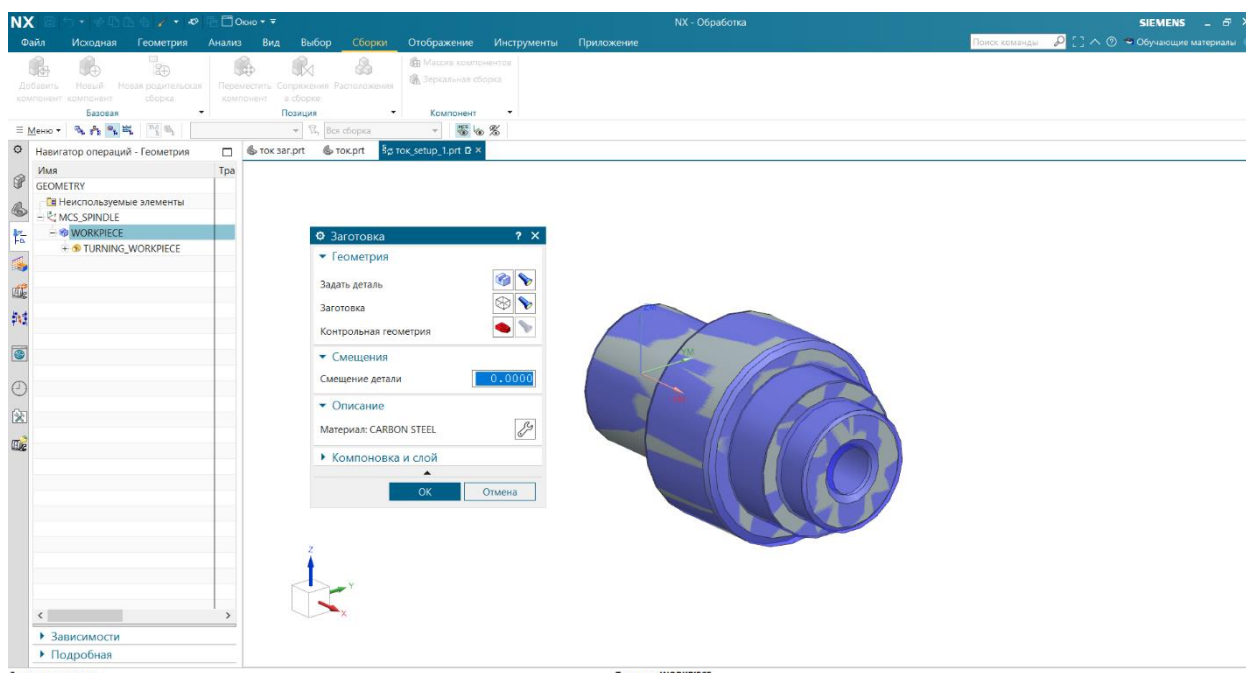


Рисунок 3.9 – 3-Модель деталі для обробки

Для генерування КП спочатку задаємо систему координат верстату та деталі, накладаємо модель деталі на модель заготовки. Після цього генеруємо токарний переріз та визначаємо початкові точки руху інструменту (рис. 3.10).

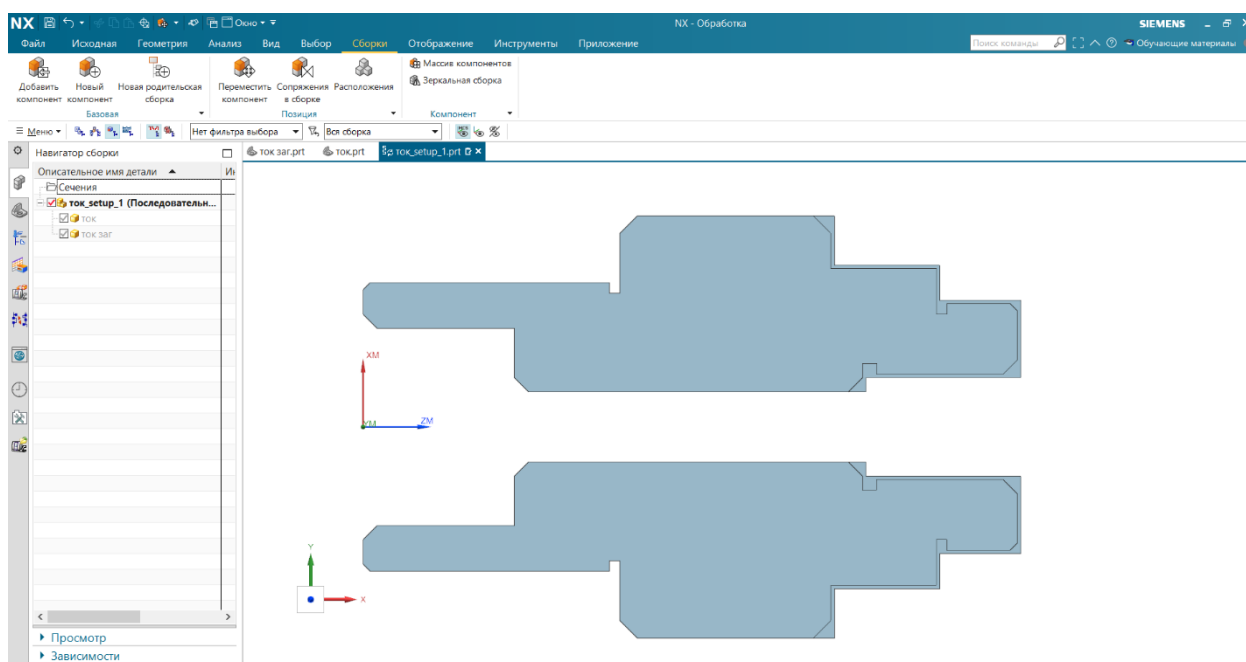


Рисунок 3.10 – Токарний переріз

Створюємо прохідний, канавочний, розточний різці необхідні для обробки (рис. 3.11).

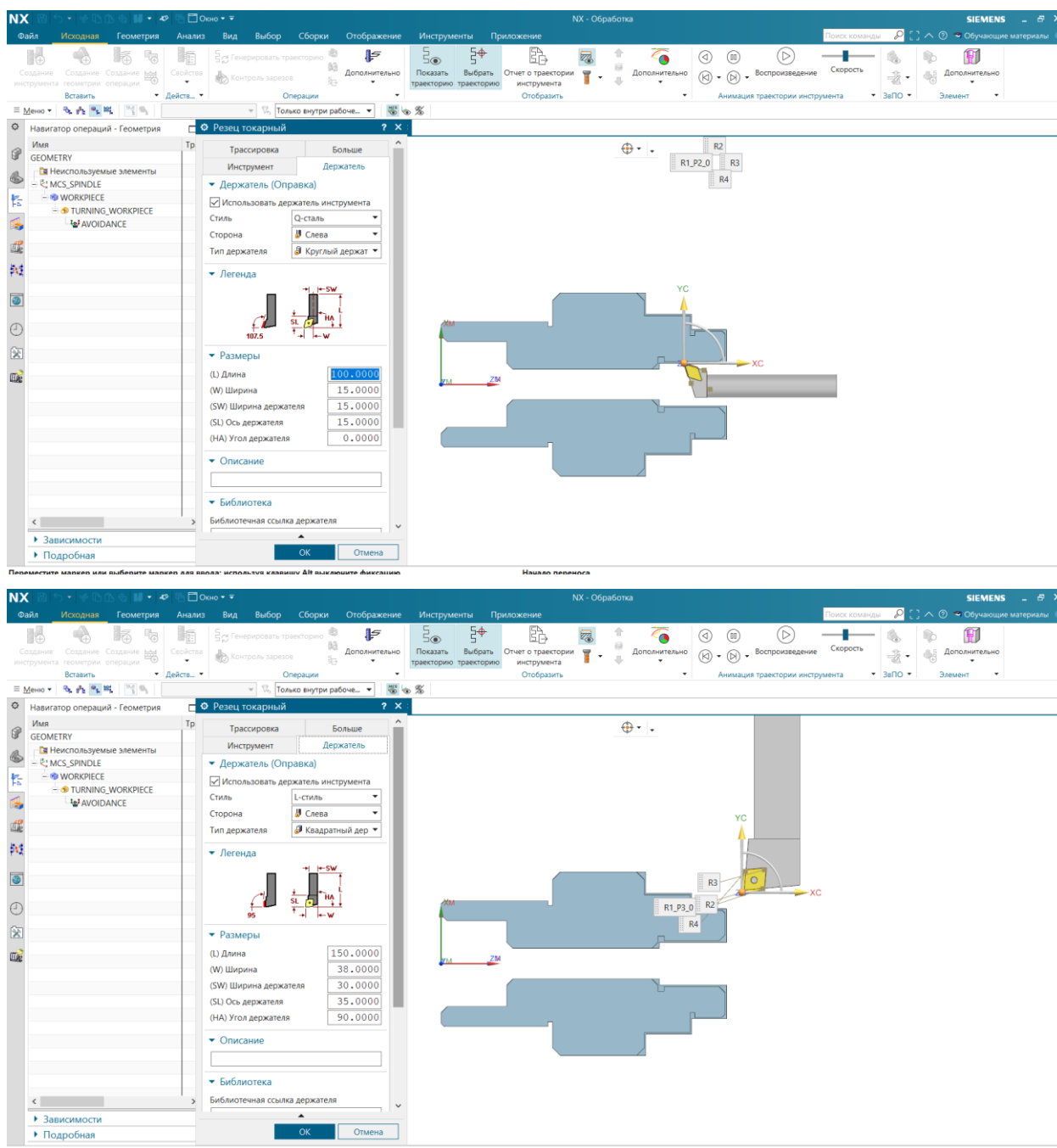


Рисунок 3.11 – Інструмент для обробки

Створюємо переходи токарної обробки: зовнішнє точіння, розточування отвору, точіння канавки. Генеруємо траєкторію обробки (рис. 3.12) та робимо її візуалізацію (рис. 3.13).

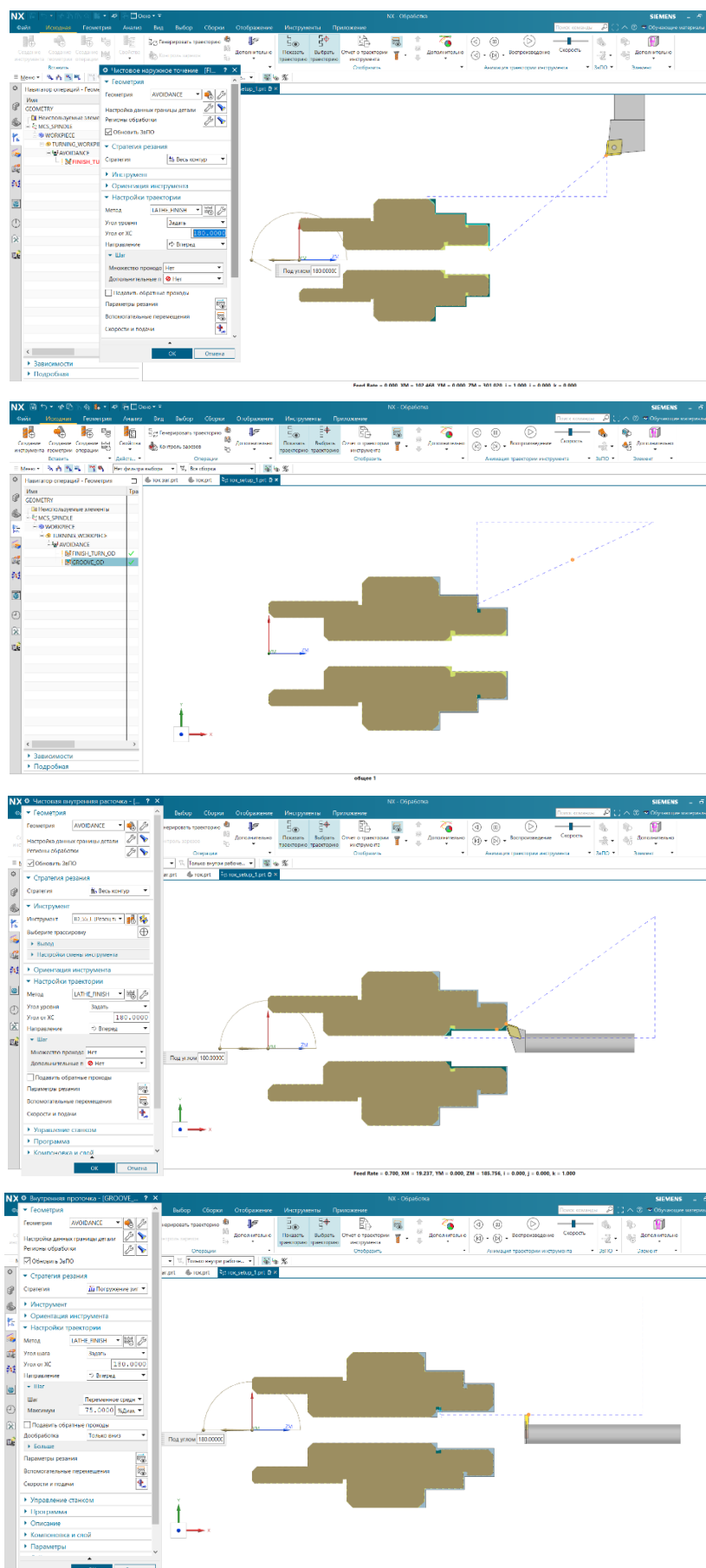


Рисунок 3.12 – Траектория обработки

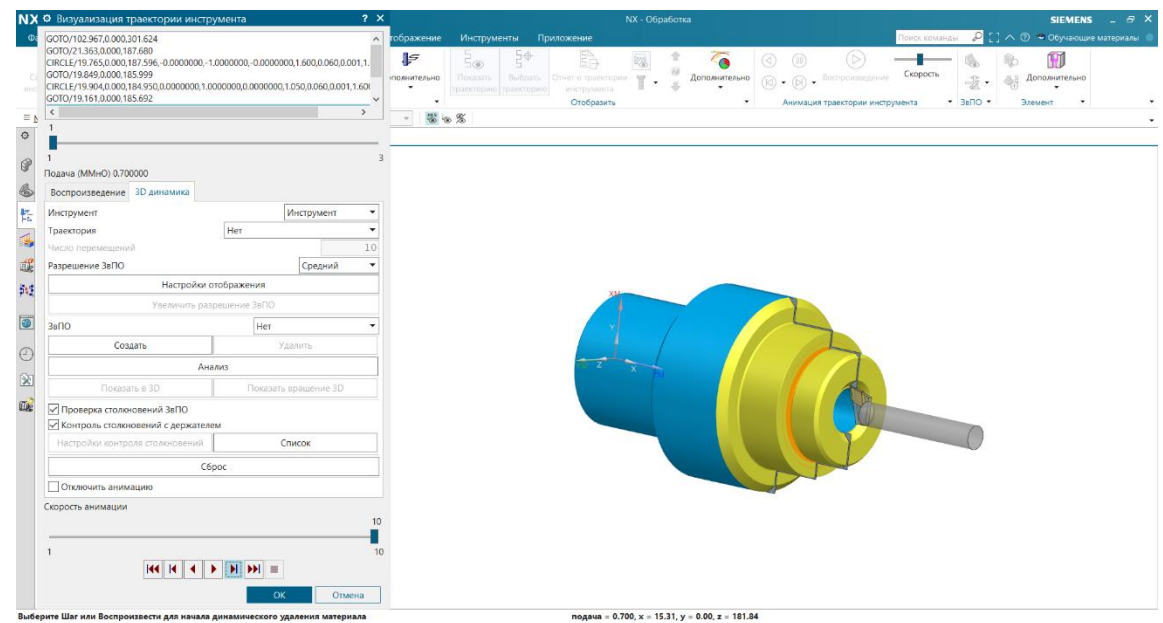
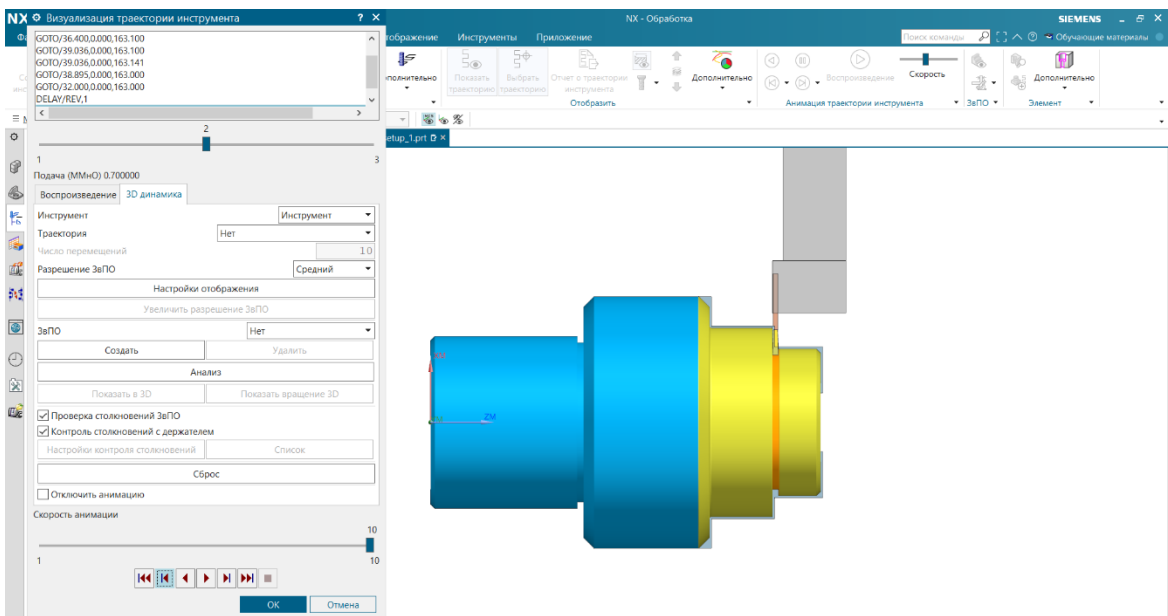
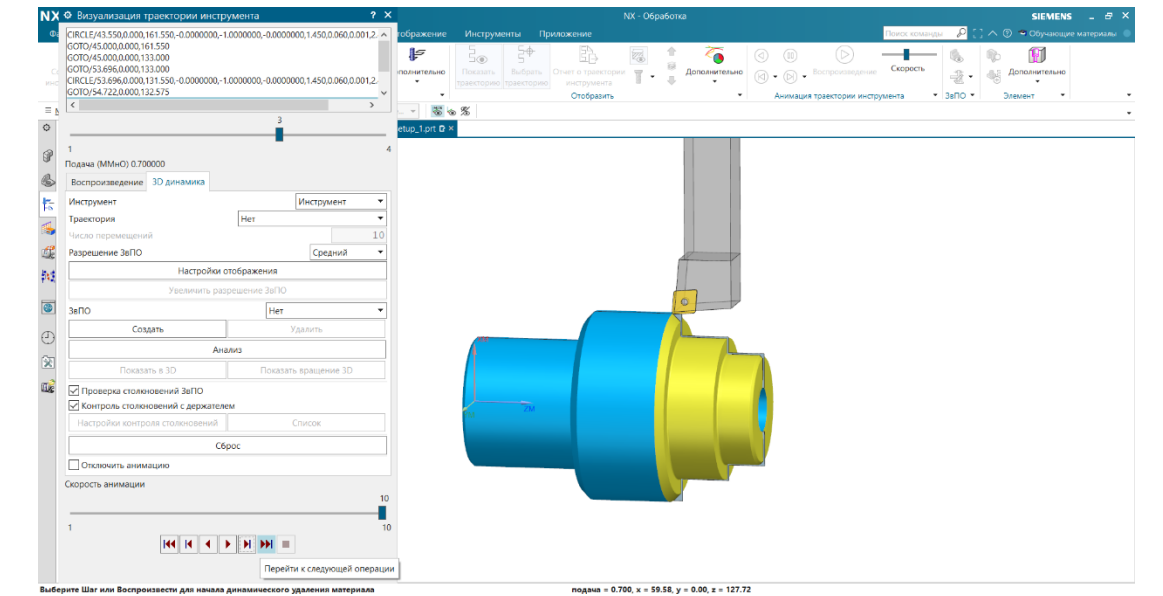


Рисунок 3.13 – Візуалізація обробки

3.8.2 Операція 045 – фрезерна

Для фрезерної операції №045 КП розробляємо в програмі Siemens.NX. 3D-модель деталі для обробки зображено на рис. 3.14.

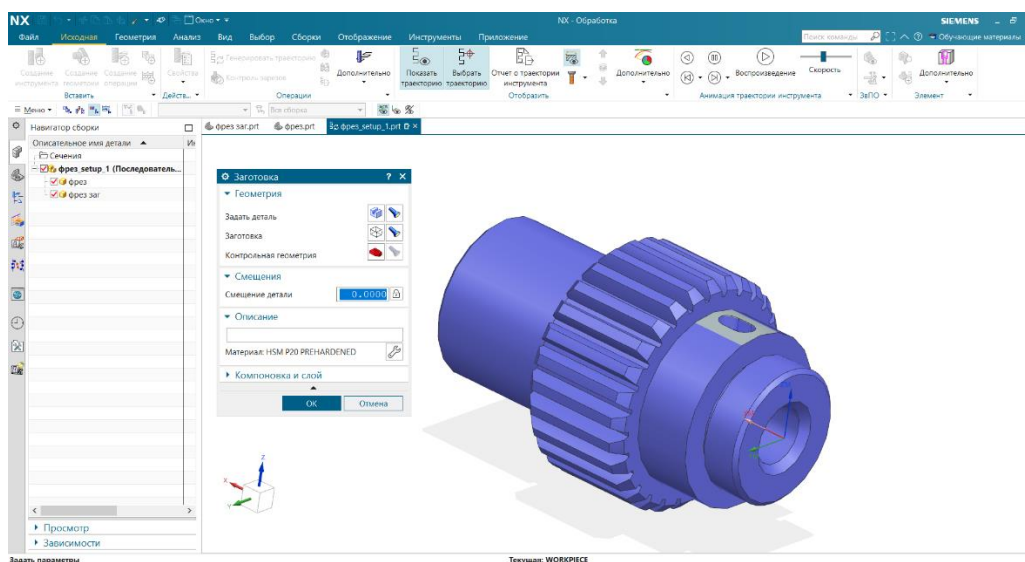


Рисунок 3.14 – 3D-модель деталі для обробки

Для створення КП було визначено робочу геометрію, контрольну геометрію, деталь та заготовку, створено інструмент (рис. 3.15).

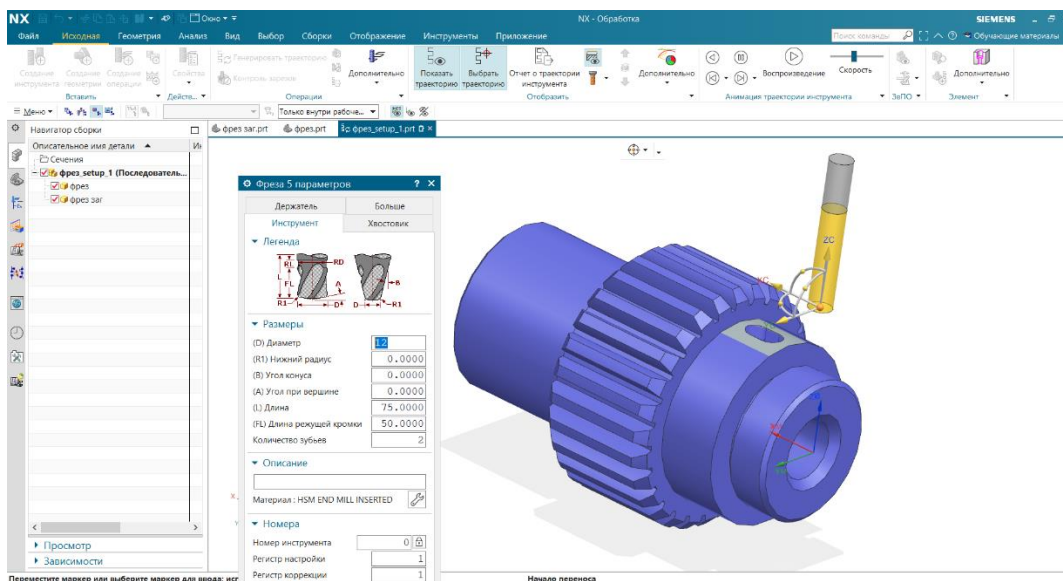


Рисунок 3.15 – Інструмент

Створюємо операцію фрезерування шпоночного пазу. Результат генерування траєкторії зображено на рис. 3.16, візуалізація обробки зображено на рис. 3.17.

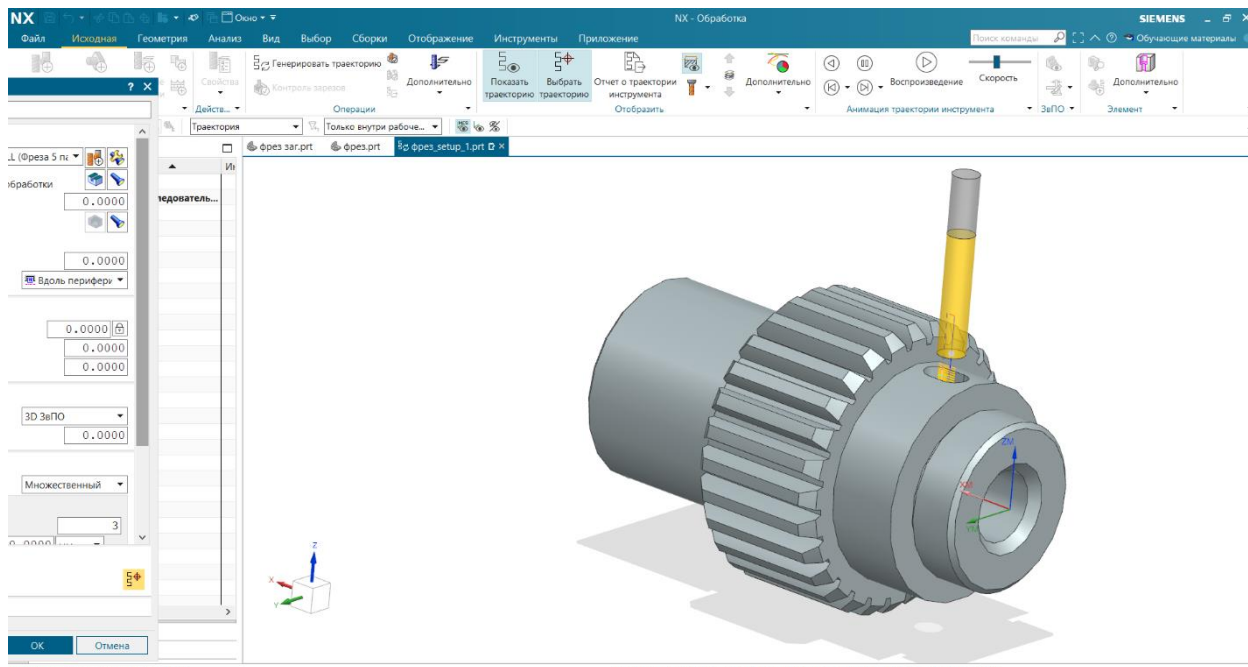


Рисунок 3.16 – Траєкторія обробки

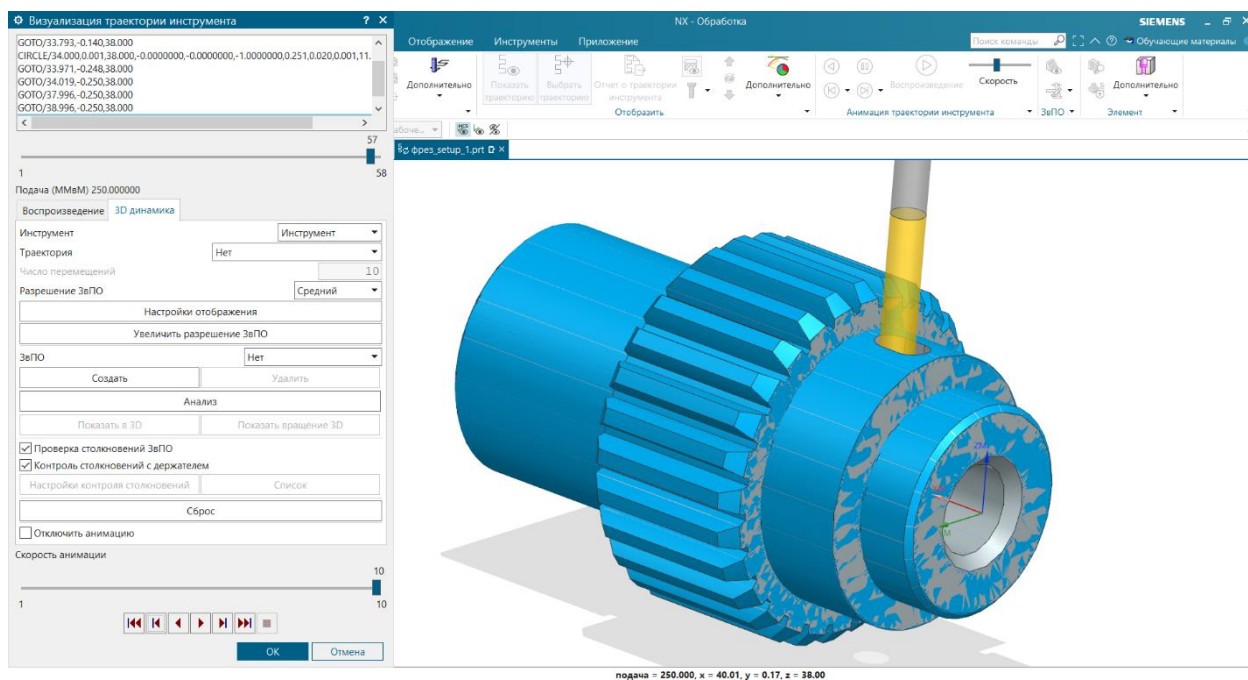


Рисунок 3.17 – Візуалізація обробки

3.8.3 Операція 050 – свердлильна

Для свердлильної операції №050 за допомогою програми Siemens.NX створюємо КП. 3D-моделі деталі для обробки зображено на рис. 3.18.

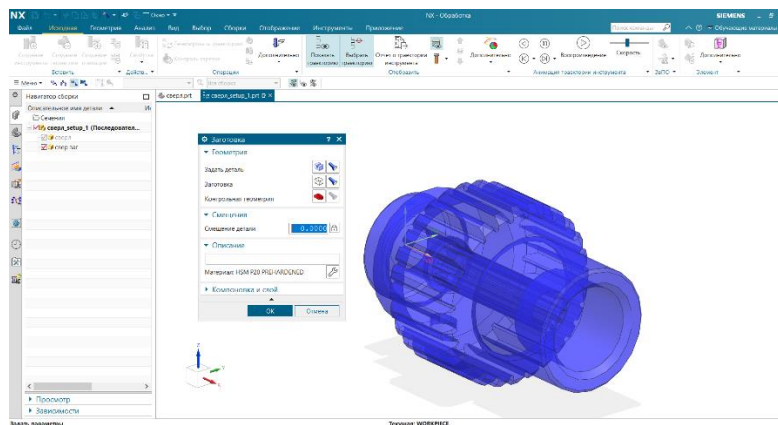


Рисунок 3.18 – 3D-модель деталі для обробки

Було визначено робочу геометрію, контрольну геометрію, деталь та заготовку, створено необхідний інструмент (рис. 3.19).

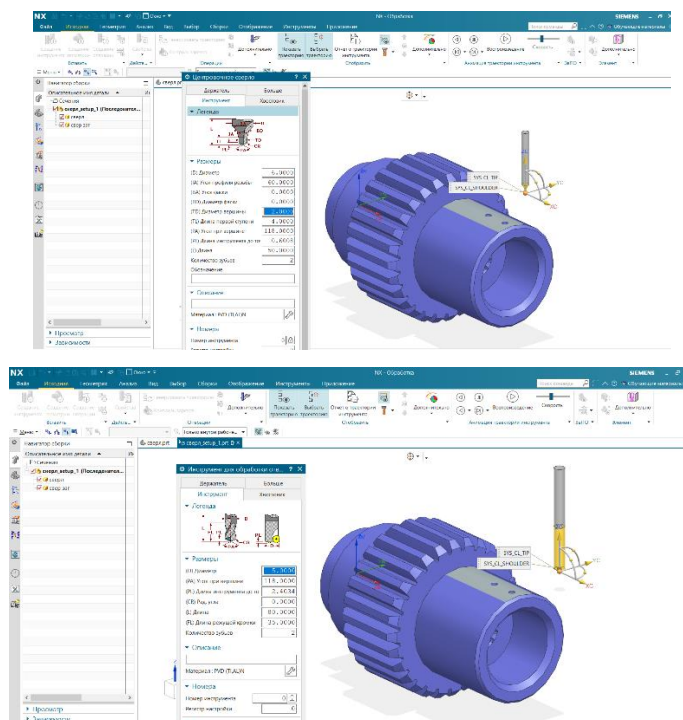


Рисунок 1.19 – Інструмент

Після цього створюємо переходи свердильної обробки: центрування отворів та свердління отворів (рис. 3.20).

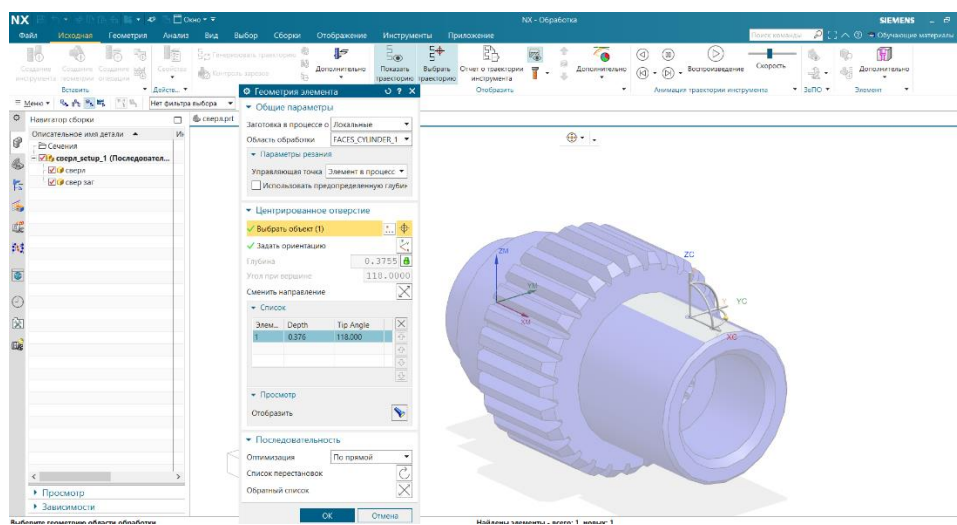


Рисунок 3.20 – Операція свердління

Траекторія обробки зображена на рис. 3.21 візуалізація на рис. 3.22.

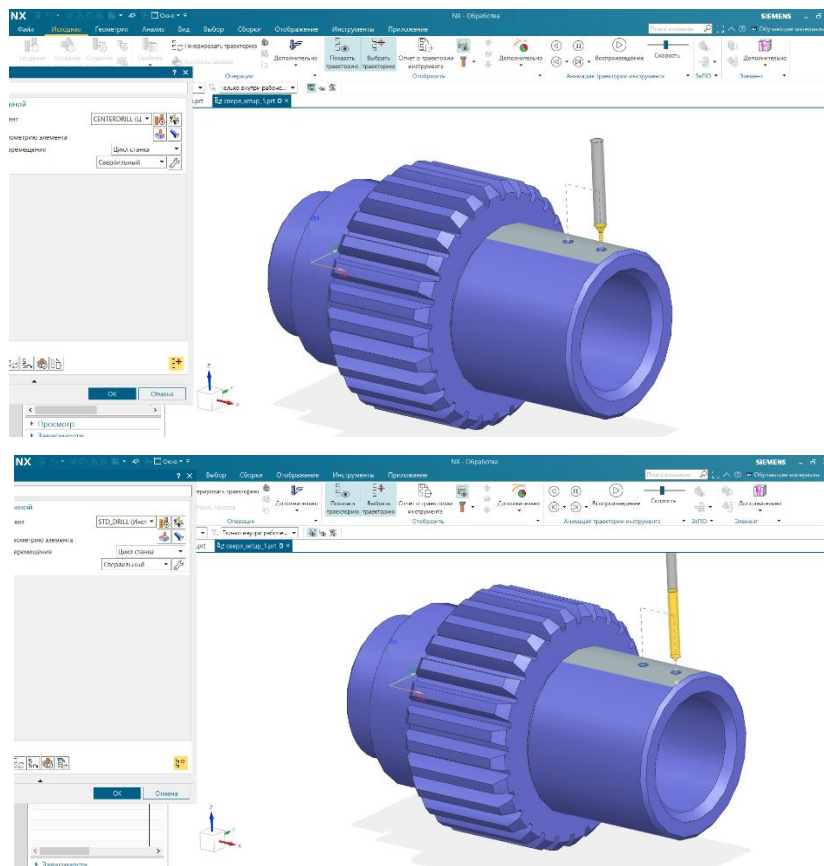


Рисунок 3.21 – Траекторія обробки

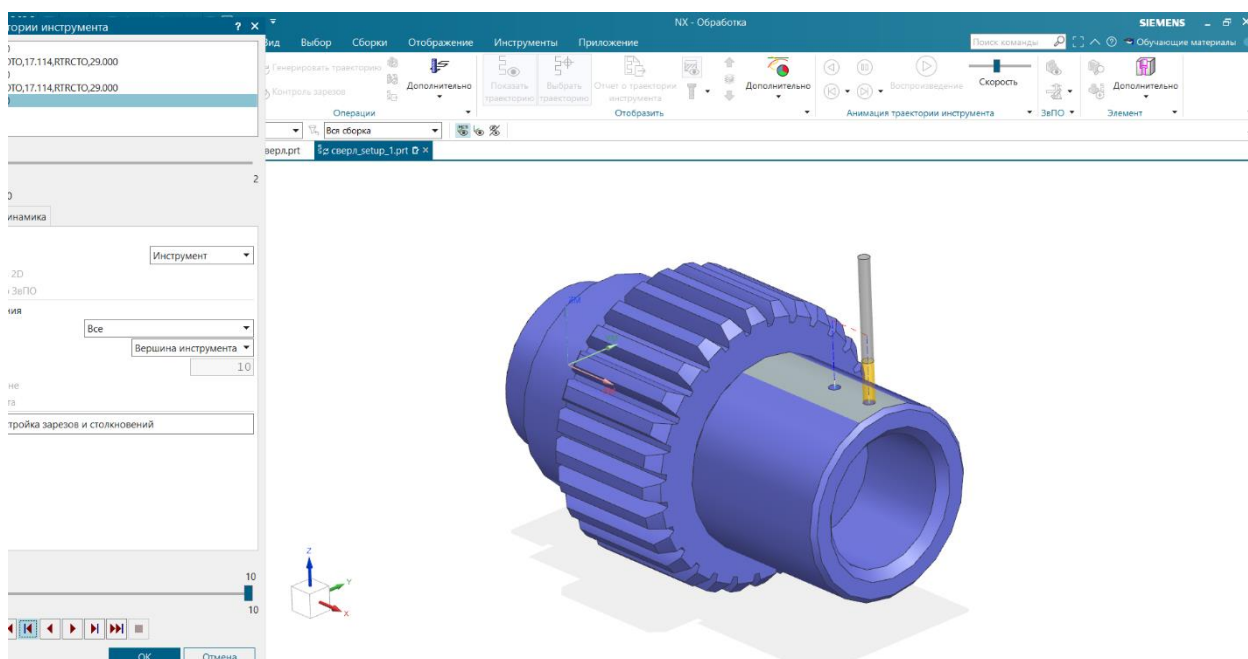


Рисунок 3.22 – Візуалізація обробки

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Проектування та розрахунок робочого пристосування

4.1.1 Опис конструкції та принципу роботи пристрою

Спроекований пристрій (рис. 4.1) призначений для фрезерування шпонкового пазу в деталі «Вал-ресора». У корпусі 1 встановлений гідроциліндр. Деталь, що обробляється, встановлюється на призму 3. При переміщенні поршню 4, шток 5 тисне на клин 9, який у свою чергу рухає важелі 7. Заходячи на оброблювану деталь важелі 7 скосом затискають її. Після закінчення обробки поршень 4 та шток 5 переміщається ліворуч, важелі 7 вивільняються від тиску на них вісі 11, і, за допомогою пружини 10 розтискаються та звільняють оброблену деталь. Для налаштування фрези використовується установ 2.

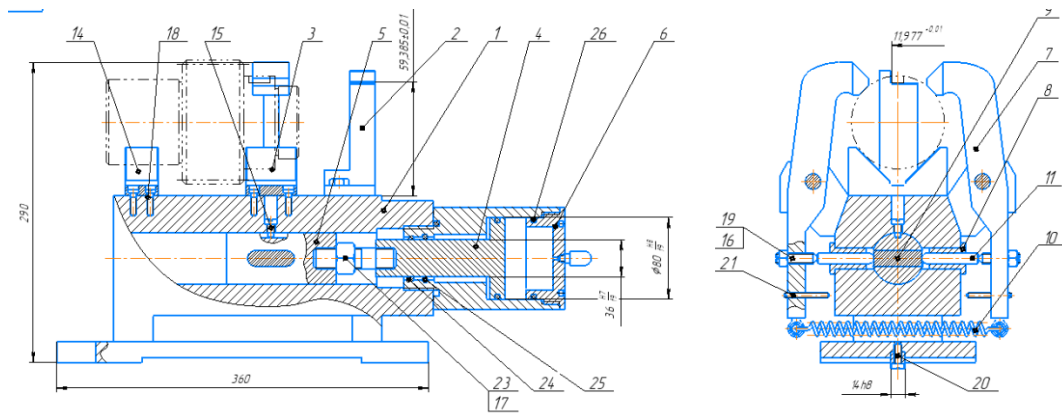


Рисунок 4.1 – Пристосування з гідроприводом

4.1.2 Обґрунтування способу базування

Похибка встановлення – одна із складових загальної похибки виконавчого розміру, виражає похибку встановлення деталі та розраховує-

ться за формулою [13]:

$$\varepsilon_{\delta} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2} \quad (4.1)$$

де ε_{δ} – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення

Деталь встановлюється на призму з кутом 90° по поверхні $\varnothing 90,4_{-0,087}$ (рис. 4.2). Для такого базування похибка дорівнює [13]:

$$\varepsilon_{\delta} = K_1 \cdot TD \quad (4.2)$$

де $T_D = 0,087\text{мм}$ - допуск;

$K_1 = 0,7$ – коефіцієнт.

$$\varepsilon_{\delta} = 0,7 \cdot 0,087 = 0,061\text{мм}$$

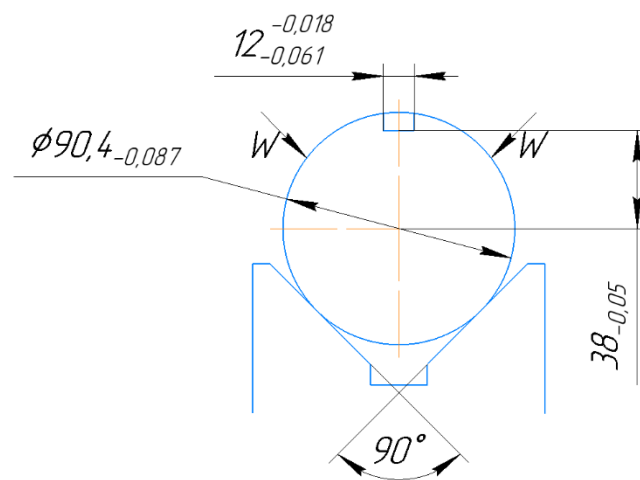


Рисунок 4.2 – Схема встановлення у призму

Похибка закріплення [13]:

$$\varepsilon_3 = R \cdot \sin 45 \quad (4.3)$$

де $R=0,04\text{мм}$ – похибка закріплення для горизонтальної площини.

$$\varepsilon_3 = 0,04 \cdot \sin 45 = 0,03\text{мм}$$

Похибка встановлення згідно формули (4.1):

$$\varepsilon_y = \sqrt{0,03^2 + 0,061^2} = 0,068\text{мм}$$

4.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску деталі

Сила затиску дорівнює [13]:

$$W = \frac{P_z \left(R - \frac{h}{2} \right) \sin(\alpha/2)}{fR}, \quad (4.4)$$

де P_z – сила різання, Н;

R, h – конструктивні розміри, м;

$f = 0,15$ – коефіцієнт тертя.

Дійсна сила затиску [3]:

$$W_D = W \cdot k \quad (4.5)$$

де k – коефіцієнт запасу закріплення.

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (4.6)$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу, $k_0 = 1,5$ [13];

k_1 – коефіцієнт нерівномірності сил різання через непостійність припуску, що знімається при обробці, $k_1 = 1$ [3];

k_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту, $k_2 = 1,7$ [13];

k_3 – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання, $k_3 = 1$ [13];

k_4 – коефіцієнт, що враховує мінливість сил затиску, що розвиваються приводами, $k_4 = 1$ [13];

k_5 – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток, $k_5 = 1$ [13];

$k_6=1$ – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту, $k_6=1$ [13].

$$k=1,5 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,55$$

Визначення сили різання при фрезеруванні:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^z \cdot z}{D^q \cdot n^w} K_{mp} \quad (4.7)$$

де, t , S_z , B , z , D , n – параметри різання;

C_p , x , y , z , q , w – коефіцієнти [10].

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{610}{750} \right)^{0,35} = 0,93 \quad (4.8)$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 82 \cdot 2^{0,75} \cdot 0,025^{0,6} \cdot 12^{1,2}}{12^{0,86} \cdot 750^0} 0,93 = 426,8H$$

На рис. 4.3 зображена схема для розрахунку сили на штоці [13].

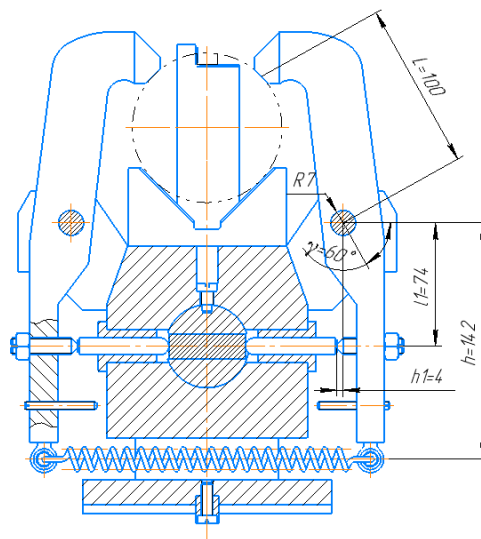


Рисунок 4.3 – Схема важільного механізму

Дійсна сила закріплення по формулам (4.4), (4.5):

$$W = \frac{426.8 \cdot \left(0.0452 - \frac{0.0035}{2}\right) \sin 45}{0.15 \cdot 0.0452} = 1933H$$

$$W_D = 1933 \cdot 2,55 = 4931H$$

Визначаємо силу на штоку гідроциліндра [13]:

$$P = \frac{W}{2 \cos \gamma} \quad (4.9)$$

$$P = \frac{4931}{2 \cdot 0.34} = 7251H \quad (4.10)$$

$$P_1 = \frac{P \cdot (L + f \cdot \sin \gamma \cdot R) + P_{np} \cdot (h - f \cdot R)}{L_1 - f \cdot (R - h_1)} \quad (4.11)$$

$$Q = 2 P_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta); \quad (4.12)$$

$$P_1 = \frac{7251 \cdot (0.1 + 0.15 \sin 60 \cdot 0.007) + 4(0.142 - 0.15 \cdot 0.007)}{0.074 - 0.15(0.007 - 0.004)} = 10595H$$

$$Q = 2 \cdot 10595 \cdot \operatorname{tg}(20) = 7712H;$$

Мінімальний діаметр штока [13]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (4.13)$$

де $\alpha=2,25$ – коефіцієнт затягування [13];

$[\sigma]=100$ МПа – допустиме напруження на розтягання для сталі 40Х [6].

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.25 \cdot 7712}{3.14 \cdot 100}} = 14,8 \text{ мм}$$

Діаметр циліндра [13]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{p \cdot \eta \cdot \pi}} \quad (4.14)$$

де $\eta = 0,85 \dots 0,9$ – коефіцієнт корисної дії (ККД), що враховує втрати на тертя [13];

$p=5...10$ МПа – тиск в гідросистемі [13];

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 7712}{3.14 \cdot 5 \cdot 0,85}} = 48 \Rightarrow 80_{\text{мм}}$$

4.1.4 Розрахунок пристосування на точність

Налаштування інструменту на розмір обробки здійснюється за допомогою установу. Схема для розрахунку на точність зображена на рис. 4.4. Розміри установу розраховуємо за формулою [13]:

$$D_{\text{cp}}=D-TD/2 \quad (4.15)$$

$$D_{\text{cp}}=90,4+0.087/2=90,356\text{мм}$$

$$R_{\text{cp}}=D_{\text{cp}}/2 \quad (4.16)$$

$$R_{\text{cp}}=90,356/2=45,178\text{мм}$$

$$B_{2\text{cp}}=R_{\text{cp}}/\sin 45 \quad (4.17)$$

$$B_{2\text{cp}}=45,178/0.7=63,9\text{мм}$$

$$TB_{2\text{cp}}=\pm TD/4\sin 45 \quad (4.18)$$

$$TB_{2\text{cp}}=\pm 0.043/4\sin 45=\pm 0.03\text{мм}$$

$$B_{1\text{cp}}= A_{\text{cp}} \quad (4.19)$$

$$B_{1\text{cp}}= 38-0,05/2=37,975\text{мм}$$

$$TB_{1\text{cp}}=TA-TR=TA-TD/2 \quad (4.20)$$

$$TB_{1\text{cp}}=0.05-0.087/2=0.007\text{мм} \rightarrow \pm 0,005\text{мм}$$

$$S_{\text{cp}}=S-TS/2 \quad (4.21)$$

$$S_{\text{cp}}=3-0.006/2=2.997\text{мм}$$

$$H=B_{1\text{cp}}+B_{2\text{cp}}-S_{\text{cp}}+a$$

$$H=37,975+63,9-2,997+4=102.88\text{мм}$$

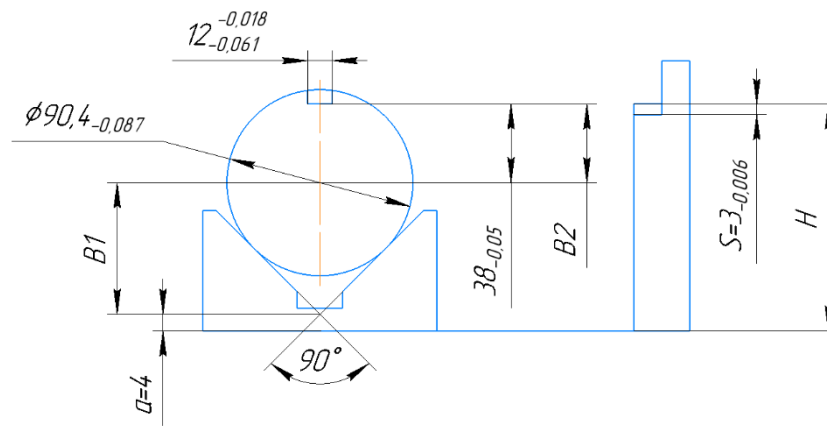


Рисунок 4.4 – Схема розрахунку на точність

Визначення допуску на установ [13]:

$$T_{H_{уст}} \leq TA - (K_1 \cdot \varepsilon_{\bar{\sigma}} + \varepsilon_3 + K_2 \cdot \omega) \quad (4.22)$$

де TA - допуск на розмір обробки;

K_1 – коефіцієнт, що враховує реальну похибку базування, $K_1=0,8..0,85$ [13];

K_2 – коефіцієнт, що враховує частку середньої економічної точності обробки і залежить від конструкції пристосування, $K_2=0,6..0,65$ [13];

ω – середня економічна точність обробки, $\omega=0,016$ мм [13].

$$T_{H_{уст}} \leq 0,05 - (0,8 \cdot 0,061 + 0,03 + 0,6 \cdot 0,016) = 0,038 \rightarrow \pm 0,02 \text{ мм}$$

4.2 Проектування контрольного пристосування

4.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування (рис. 4.5) призначено для контролю биття зубів рівне 0,025мм деталі вал-ресора відносно вісі. Деталь при контролі базується на центрах. Контрольне пристосування складається зі корпусу, на якому встановлюється два центри та штанга. Штанга має можливість

переміщення перпендикулярно до осі деталі. Центра мають можливість повздовжнього переміщення на напрямних корпусу. На штанзі розміщений індикаторний годинник з модульним щупом. При контролі щуп вводиться у западину зубів. Шляхом обертання деталі та зміни положення модульного щупа по індикаторному годиннику знімають значення радіального биття.

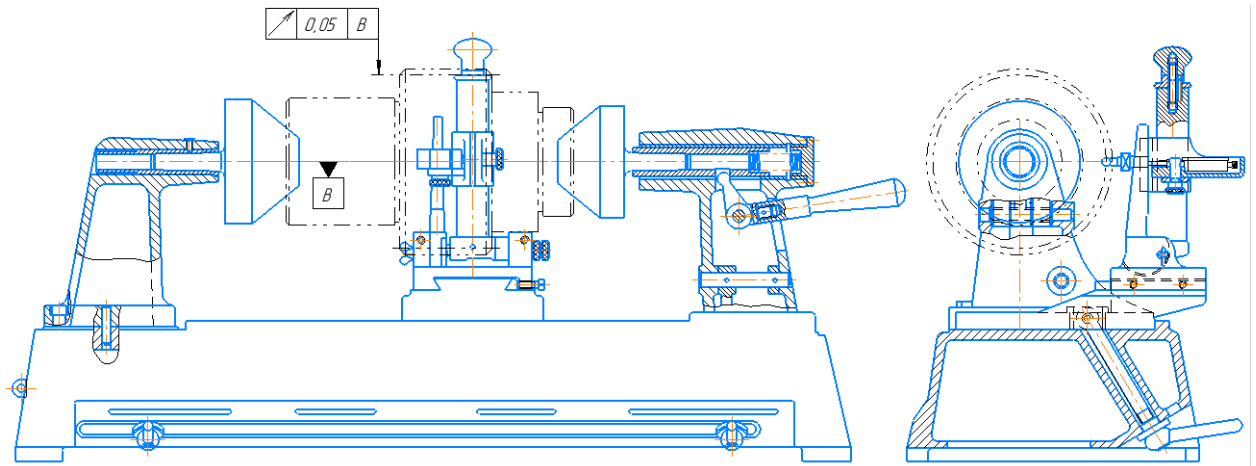


Рисунок 4.5 – Контрольне пристосування

4.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність

Допустиму сумарну похибку вимірювання визначають за формулою:

$$\varepsilon_{изм} = \varepsilon_{uy} + \varepsilon_{up} + \varepsilon_{um} + \sqrt{\varepsilon_{нб}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{uc}^2 + \varepsilon_{зп}^2 + \varepsilon_{cu}^2 + \varepsilon_{др}^2} \quad (4.23)$$

де $\varepsilon_{им}=0$ – похибка, спричинена неточністю еталона. У цьому пристрої еталон не використовується.

$\varepsilon_{нб}=0$ – похибка базування, тому що настроювальна та вимірювальні бази збігаються;

$\varepsilon_{ис}=0$ – похибка закріплення, оскільки схема виміру в пристосуванні не затискається;

$\varepsilon_{iy}=0,0015\text{мм}$ – частка похибки конструкції пристосування [13];

$\varepsilon_{зп}=0,006\text{мм}$ – похибка, що виникає через зазори між осями важелів передавальних пристроїв за їх наявності [13];

$\varepsilon_{си}=0,001\text{мм}$ – похибка засобу вимірювання [13];

$\varepsilon_{др}=0,0015\text{мм}$ – похибка, викликана дією випадкових факторів [13].

$$\varepsilon_{ип}=\Delta_{рд}+\Delta_{ру}+\Delta_{рн}+\Delta_{рк}+\Delta_{ра} \quad (4.24)$$

$\Delta_{рд}=0$ – похибка від неточності виготовлення довжин плечей важелів [13];

$\Delta_{ру}=0$ – похибка від неточності виготовлення кута плечей важелів [13];

$\Delta_{рн}=0$ – похибка від непропорційного переміщення плечей важелів [13];

$\Delta_{рк}=0$ – похибка від зміщення точки контакту важелів [13];

$\Delta_{рп}$ – похибка прямої передачі [13].

$$\varepsilon_{ип}=0+0+0+0+0,0002=0,0002 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{узм} = 0,0015 + 0,0002 + 0 + \sqrt{0 + 0 + 0 + 0,006^2 + 0,001^2 + 0,0015^2} = 0,008\text{мм}$$

$$\varepsilon_{узм} = 0,008\text{мм} \leq [\varepsilon_{узм}] = 0,05\text{мм}$$

Умова придатності виконується, пристосування можна використовувати для даної контрольної операції.

5. РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

5.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

Вал-ресора сприймає крутний момент через шліци та передає через зубці. Під дією крутного моменту вал-ресора зазнає кручення та згин. На зуб вал-ресори діє радіальна сила 1000Н та тангенційна сила 5000Н. Розрахунок на міцність вал-ресори проведемо за допомогою програми Siemens.NX. Спочатку будемо 3D-модель деталі та розібиваємо її на сітку кінцевих елементів (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – 3Д-модель деталі розбита на сітку кінцевих елементів

По внутрішнім шліцам деталь закріплюємо, а на зуб прикладаємо тангенційну та радіальну сили (рис. 5.2).

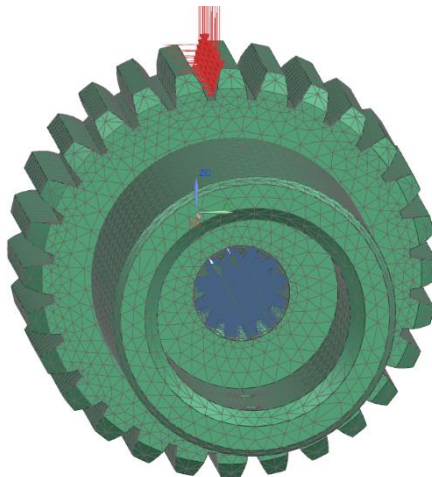


Рисунок 5.2 – Модель з накладеними обмеженнями

Виконавши розрахунок напружено-деформованого стану вал-ресори за допомогою програмного забезпечення отримано розподіл напружень на рис. 5.3. Максимальне напруження виникає у основи зуба і дорівнює 444,8 МПа.

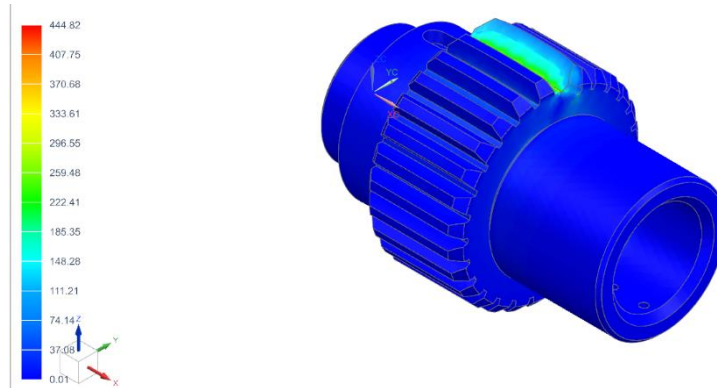


Рисунок 5.3 – Напруження на вал-ресорі

Виконаємо перевірку міцності вал-ресори по коефіцієнту запасу міцності за наступною формулою:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{max}} \quad (5.1)$$

де $[\sigma]$ – допустиме значення границі плинності для сталі 35Х, $[\sigma]=615$ МПа [6];

σ_{max} – максимальне напруження.

$$k = \frac{615}{444.8} = 1,38$$

Згідно розрахунків конструкція вал-ресори відповідає діючим навантаженням, тому що коефіцієнт запасу міцності дорівнює 1,38.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

Для оцінки очікуваної економічної ефективності заходів при проєктуванні технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-ресора» було порівняно обробку на універсальних токарно-гвинторізних верстатах (перший варіант ТП) та токарних верстатах з ЧПК (другий варіант ТП) (таблиця 6.1).

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників по формулі [14]:

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_b \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (6.1)$$

де $m_{оп}$ – кількість операцій у технологічному процесі;

$t_{умі}$ – норма штучного часу виконання i -ої операції, год;

$C_{тар}$ – годинна тарифна ставка виробничого робітника на операції, грн/год;

K_b – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатOVERстатному обслуговуванні, $K_b=0,39$;

$k_{доп}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату, $k_{доп} = 1,2$;

$k_{соц}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, $k_{соц} = 1,4$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.2, 6.3.

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою [14]:

$$Z_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{тар.н} \cdot Ч_n \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{N} \quad (6.2)$$

де $C_{тар.н}$ – годинна тарифна ставка, грн;

$Ч_n$ – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

Φ_p – річний фонд часу одного, $\Phi_p = 2096$ год;

$m_{оп}$ – кількість операцій у технологічному процесі.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунку

Розрахункові параметри	Базова технологія						Нова технологія			
	1К62	1К62	1К62	1К62	1К62	1К62	MAST ML 500x1000	MAST ML 500x1000	MAST ML 500x1000	MAST ML 500x1000 SH8
Модель верстата										
Штучний час $t_{шт}$, хв	23	21	14	17	12	13	10,89	6,71	15,29	13,09
Розряд верстатника	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4
Розряд наладчика	-	-	-	-	-	-	5	5	5	5
Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладчиком	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	57,5	57,5	57,5	57,5
Тарифна ставка наладчика, грн/год	-	-	-	-	-	-	57,7	57,7	57,7	57,7
Число змін m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Оптова ціна верстата F , грн	137547						1386810			
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань N_a , %	14	14	14	14	14	14	12,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів N , кВт	10	10	10	10	10	10	7,5	7,5	7,5	7,5

Таблиця 6.2 – Заробітна плата верстатника за першою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
010	Токарна	23	76,6	1,2	1,4	49,33
015	Токарна	21	76,6	1,2	1,4	45,04
020	Токарна	14	76,6	1,2	1,4	30,03
025	Токарна	17	76,6	1,2	1,4	36,46
030	Токарна	12	76,6	1,2	1,4	25,74
035	Токарна	13	76,6	1,2	1,4	27,88
					Σ	214,48

Таблиця 6.3 – Заробітна плата верстатника за другою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
15	Токарна	10,89	57,5	1,2	1,4	17,53
20	Токарна	6,71	57,5	1,2	1,4	10,80
25	Токарна	15,29	57,5	1,2	1,4	24,62
30	Токарна	13,09	57,5	1,2	1,4	21,07
					Σ	74,03

Таблиця 6.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	Φ_r , год	$C_{тар}$, грн	Ψ_n	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
15	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	25,40
20	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	25,40
25	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	25,40
30	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	25,40
						Σ	101,59

Визначимо амортизацію на обладнання за формулою [14]:

$$A_{від} = \sum_{i=1}^{m_{оп}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{шт-ki}}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (6.3)$$

де K_i – первісна вартість обладнання на i -ої операції, грн;

H_{ai} – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на i -ої операції, %.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.5, 4.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою [14]:

$$S_{ін} = \sum_{i=1}^{m_{оп}} \sum_{j=1}^{n_{ін}} \frac{C_{інij} \cdot t_{штij} \cdot \eta_m}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (6.4)$$

де $C_{інij}$ – ціна інструменту j -го виду на i -ої операції, грн/шт;

$t_{штij}$ – штучний час роботи j -го інструменту на i -ої операції, хв;

η_m – коефіцієнт машинного часу, що визначається як відношення $t_{маш}/t_{ум}$;

T_{ij} – період стійкості інструменту j -го виду на i -ої операції, хв;

n_{in} – номенклатура інструментів на i -ої операції;

n_j – число переточок інструменту j -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.7, 6.8.

Таблиця 6.5 – Відрахування на амортизацію обладнання за першою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
010	Токарна	23	137547	12,2	4015	1,60
015	Токарна	21	137547	12,2	4015	1,46
020	Токарна	14	137547	12,2	4015	0,98
025	Токарна	17	137547	12,2	4015	1,18
030	Токарна	12	137547	12,2	4015	0,84
035	Токарна	13	137547	12,2	4015	0,91
					Σ	6,97

Таблиця 6.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за другою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
15	Токарна	10,89	1386810	12,2	4015	7,65
20	Токарна	6,71	1386810	12,2	4015	4,71
25	Токарна	15,29	1386810	12,2	4015	10,74
30	Токарна	13,09	1386810	12,2	4015	9,19
					Σ	32,29

Таблиця 6.7 – Витрати на інструмент за першою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт.} , хв	Найменування інструменту	Ц _i грн	n _{ін}	T, хв	n _j	η _{МІ}	S _{ін} Грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
010	Токарна	23	Різець прохід.	350	2	120	3	0,4	5,25
			Свердло	250	2	120	3	0,4	1,04
015	Токарна	21	Різець прохід.	200	2	120	3	0,4	2,50
			Свердло	350	2	120	3	0,4	1,75
020	Токарна	14	Різець прохід.	200	2	120	3	0,4	1,67
			Зенкер	250	2	120	3	0,4	0,83
025	Токарна	17	Різець розточ.	300	2	120	3	0,4	1,75
			Різець прохід.	400	2	120	3	0,4	3,33
030	Токарна	12	Різець розточ.	350	2	120	3	0,4	1,75
			Різець прохід.	300	2	120	3	0,4	1,50
030	Токарна	13	Різець канав.	250	2	120	3	0,4	1,46
			Різець канав.	400	2	120	3	0,4	2,00
								Σ	24,83

Таблиця 6.8 – Витрати на інструмент за другою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт.} , хв	Найменування інструменту	Ц _i грн	n _{ін}	T, хв	n _j	η _{МІ}	S _{ін} Грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
015	Токарна	10,89	Різець прохід.	180	1	240	4	0,4	0,48
			Свердло	200	1	120	1	0,4	0,96
020	Токарна	6,71	Різець прохід.	250	1	240	4	0,4	0,33
			Свердло	200	1	120	1	0,4	0,90
025	Токарна	15,29	Різець прохід.	250	1	240	4	0,4	0,83
			Зенкер	250	1	240	4	0,4	0,25
			Різець розточ.	250	1	240	4	0,4	0,19
030	Токарна	13,09	Різець прохід.	200	1	240	4	0,4	0,27
			Різець розточ.	250	1	240	4	0,4	0,25
			Різець канав.	250	1	240	4	0,4	0,42
			Різець канав.	200	1	240	4	0,4	0,07
								Σ	4,96

Визначимо витрати на електроенергію за формулою [14]:

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_{\text{ч}} \cdot k_{\text{од}} \cdot k_w \cdot t_{\text{шт-к}}}{\eta \cdot k_B \cdot 60} \cdot C_e \quad (6.5)$$

де N_B – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

k_N – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю (для верстатів з ЧПК – 0,9, для решти обладнання – 0,8);

$k_{\text{ч}}$ – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом (для верстатів з ЧПК – 0,7, для решти обладнання – 0,6);

$k_{\text{од}}$ – середній коефіцієнт одночасності роботи всіх електродвигунів верстата (для верстатів з ЧПК – 1, для решти обладнання – 0,6);

k_w – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії, $k_w = 1,08$;

η – коефіцієнт корисної дії обладнання;

k_B – коефіцієнт виконання норм часу;

C_e – вартість електроенергії, $C_e = 3,45$ грн/кВт×год.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.9, 6.10.

Таблиця 6.9 – Витрати на електроенергію за першою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{\text{шт}}$, хв	C_e грн	N_e кВт	k_N	$k_{\text{ч}}$	$k_{\text{од}}$	k_w	η_e	k_B	S_e , грн
010	Токарна	23	3,45	22	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	9,14
015	Токарна	21	3,45	22	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	8,35
020	Токарна	14	3,45	22	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	5,56
025	Токарна	17	3,45	22	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	6,76
030	Токарна	12	3,45	22	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,77
035	Токарна	13	3,45	22	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	5,17
										Σ	39,74

Таблиця 6.10 – Витрати на електроенергію за другою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт, хв}$	Це грн	N_e кВт	k_N	$k_ч$	$k_{од}$	k_w	η_e	k_B	S_e , грн
015	Токарна	10,89	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	7,26
020	Токарна	6,71	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	4,47
025	Токарна	15,29	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	10,20
030	Токарна	13,09	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	8,73
										Σ	30,66

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою [14]:

$$S_p = \frac{C_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N} \quad (6.6)$$

де $C_{то}$ – залишкова вартість обладнання, грн

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду, $K_p = 0,02$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.11, 6.12.

Таблиця 6.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за першою технологією

№ опер	Найменування операції	$C_{то}$, грн	K_p	C_p	S_p , грн
010	Токарна	137547	0,02	0,64	0,88
015	Токарна	137547	0,02	0,64	0,88
020	Токарна	137547	0,02	0,64	0,88
025	Токарна	137547	0,02	0,64	0,88
030	Токарна	137547	0,02	0,64	0,88
035	Токарна	137547	0,02	0,64	0,88
				Σ	5,28

Таблиця 6.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за другою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	К _р	С _р	S _р , грн
015	Токарна	1386810	0,02	0,78	10,82
020	Токарна	1386810	0,02	0,78	10,82
025	Токарна	1386810	0,02	0,78	10,82
030	Токарна	1386810	0,02	0,78	10,82
				Σ	43,27

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули [14]:

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{гн} \cdot t_{ин} \cdot t_o \cdot K_T}{T_M \cdot m \cdot 60} \quad (6.7)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує випадковий спад інструменту, $\varphi = 1,3$;

$C_{гн}$ – середньогодинна заробітна плата наладчиків, грн./год;

$t_{ин}$ – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ($t_{ин} = 4$ хв – для токарних верстатів з ЧПК; $t_{ин} = 5$ хв – для верстатів з ЧПК свердлильної, фрезерної та розточувальної груп).

t_o – основний час роботи інструменту на операції, хв;

K_m – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі;

T_M – середня стійкість інструменту, хв.;

m – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

№ опер	Найменування операції	Тип інструменту	t_o , хв	$C_{гн}$, грн/год	n_i	$t_{ін}$, хв	K_T	T_M	m	S_H , грн
015	Токарна	Різець прохід.	10,89	50,9	6	4	0,9	240	4	0,03
		Свердло		50,9	6	4	0,9	120	4	0,02
020	Токарна	Різець прохід.	6,71	50,9	6	4	0,9	240	4	0,02
		Свердло		50,9	6	4	0,9	120	4	0,02
025	Токарна	Різець прохід.	15,29	50,9	6	4	0,9	240	4	0,04
		Зенкер		50,9	6	5	0,9	240	4	0,02
		Різець розточ.		50,9	6	5	0,9	240	4	0,01
030	Токарна	Різець прохід.	13,09	50,9	6	5	0,9	240	4	0,02
		Різець розточ.		50,9	6	5	0,9	240	4	0,02
		Різець канав.		50,9	6	5	0,9	240	4	0,03
		Різець канав.		50,9	6	5	0,9	240	4	0,01
									Σ	0,93

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою [14]:

$$I_H = Z_o \cdot k_{заг} \quad (6.8)$$

де $k_{заг}$ – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати, віднесені до заробітної плати основних виробничих робітників, $k_{заг} = 0,20 \dots 0,25$.

$$I_{H1} = 214,48 \cdot 0,2 = 42,89 \text{ грн}$$

$$I_{H2} = 74,03 \cdot 0,2 = 14,8 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою [14]:

$$C_T = Z_o + Z_H + A_{від} + S_{ін} + S_e + S_p + S_H + I_H \quad (6.9)$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у таблиці 6.14.

Таблиця 6.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Перший	Другий
Заробітна плата верстатника	Z_o	214,48	74,03
Заробітна плата наладчика	Z_n		101,59
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{\text{від}}$	6,97	32,29
Витрати на різальний інструмент	$S_{\text{ін}}$	24,83	4,96
Витрати на електроенергію	S_e	39,74	30,66
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	5,28	43,27
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_n		0,23
Витрати інші	I_n	42,89	14,8
Технологічна собівартість	C_T	334,19	301,83

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою [14]:

$$E_{\text{ур}} = (C_{T_1} - C_{T_2}) \cdot N \quad (6.10)$$

$$E_{\text{ур}} = (334,19 - 301,83) \cdot 2000 = 64720 \text{ грн}$$

Згідно розрахунків при впровадженні другої технології економія від впровадження за статтею собівартість дорівнює 64720 грн.

Здійснимо розрахунок технологічної собівартості поелементним методом для випадку придбання технологічного обладнання та зіставимо величини капітальних витрат за варіантами.

Капітальні вкладення обладнання, віднесені до одиниці продукції, визначаються за наступним рівнянням:

$$K_o = \frac{C_{\text{об}} \cdot t_{\text{шт.к.}}}{60 \cdot F_d} \quad (6.11)$$

У таблиця 6.15-6.16 розраховані капітальні витрати за формулою (6.11).

Таблиця 6.15 - Капітальні витрати на обладнання за базовим ТП

№ опер	Найменування операції	$T_{шт}$, хв	Ц, грн	F_d	K_o , грн
010	Токарна	23	137547	4015	13,13
015	Токарна	21	137547	4015	11,99
020	Токарна	14	137547	4015	7,99
025	Токарна	17	137547	4015	9,71
030	Токарна	12	137547	4015	6,85
035	Токарна	13	137547	4015	7,42
		Σ	825282	Σ	57,1

Таблиця 6.16 - Капітальні витрати на обладнання за новим ТП

№ опер	Найменування операції	$T_{шт}$, хв	Ц, грн	F_d	K_o , грн
015	Токарна	10,89	1386810	4015	62,69
020	Токарна	6,71	1386810	4015	38,63
025	Токарна	15,29	1386810	4015	88,02
030	Токарна	13,09	1386810	4015	75,36
		Σ	5547240	Σ	264,7

Оскільки капітальні витрати є суттєво різними, оцінювати ефективність варіантів ТП слід на основі мінімуму наведених витрат за формулою:

$$B_{нав} = C + E_n K, \quad (6.12)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності, показує, яка частина капітальних вкладень має окупатися за один рік. Для застосування вибирається варіант із мінімальним значенням $B_{нав}$.

У таблиці 6.17 наведено результати порівняння.

Таблиця 6.17 - Порівняння варіантів ТП за наведеними витратами

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Новий
Технологічна собівартість деталі	C_T	3344,19	301,83
Капітальні витрати на деталь	K_o	57,10	264,70
Наведені витрати на деталь	W_o	3352,76	341,54
Собівартість річної програми	C_p	855282,00	5547240,00
Капітальні витрати на програму	$K_{оріч}$	114200,00	529400,00
Наведені витрати на програму	$W_{річ}$	6705510,00	683070,00
Річна економія (збиток), грн	ΔW	6022440	

При придбанні нових верстатів згідно запропонованого другого варіанту технології виготовлення деталі «Вал-ресора» згідно проведених розрахунків буде отримано економію в розмірі 6022440 грн.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи було розроблено заходи забезпечення якості важкодоступних поверхонь деталі «Вал-ресора» технологічними методами. Основними важкодоступними місцями визначено поверхні зубців. Розглянуто вплив параметрів шліфування на якість поверхні зубців вал-ресори. Також було розроблено рекомендації вдосконалення технологічного процесу виготовлення вал-ресори. Запропоновані рекомендації та обладнання для автоматизації зубофрезерної операції шляхом застосування робототехніки.

Було економічно обґрунтовано отримання заготовки на пресі, розраховано масу заготовки 12,6 кг, коефіцієнт використання матеріалу 0,66. Економічний ефект від впровадження отримання заготовки штампуванням становив 10000 грн.

Був розроблений маршрут виготовлення деталі, який містить замість токарної обробки на універсальних верстатах обробку на верстатах з ЧПК. За рахунок цих заходів зменшився загальний час оброблення деталі та собівартість її виготовлення, економія склала 6022440 грн.

Для токарної, фрезерної, свердлильної операцій розроблено керуючі програми в програмі NX.

Було спроектовано робоче пристосування для фрезерування шпонкового пазу. Для нього було розраховано похибку встановлення, був проведений розрахунок на точність, розраховано зусилля затиску і обраний гідроциліндр. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю биття зубців в центрах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Grinding method for cylindrical gears [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.zhygear.com/grinding-method-for-cylindrical-gears/> (дата звернення: 31.10.2024). – Назва з екрана.
2. Zaborowski T. Grinding burns in the technological surface of the gear teeth of the cylindrical gears / Zaborowski T., Ochendusko R. // *Mechanik* – 2017 – Vol. 10 – P. 135-139.
3. Kalashnikov A. S. Continuous grinding of teeth by generating cylindrical planetary transmission gears. Kalashnikov A. S., Morgunov Y. A., Kalashnikov P. A. // *Procedia Engineering*– 2017 – Vol. 206 – P. 1167-1172.
4. Исследование разрушения зубьев в науглероженных и закаленных шестернях: Сравнительный анализ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.machinemfg.com/ru/tooth-fracture-of-carburized-and-quenched-gears/> (дата звернення: 31.10.2024). – Назва з екрана.
5. Robotics in Gear Manufacturing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gearmotions.com/robotics-in-gear-manufacturing/> (дата звернення: 21.11.2024). – Назва з екрана.
6. Характеристика материала 35X [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=260 (дата звернення: 21.11.2024). – Назва з екрана.
7. Богуслаєв В.О. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / В.О. Богуслаєв, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.
8. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми (спеціалізації) «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна

інженерія» всіх форм навчання / Укл. : Гончар Н.В., Тришин П.Р. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 61 с.

9. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.

10. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985.– 652 с.

11. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания при нормировании работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 472с.

12. Справочник нормировщика – машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.

13. Богуслаев В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 430 с.

14. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська – Запоріжжя: НУ«Запорізька політехніка», – 2023 – 41 с..

ДОДАТОК А
Специфікація робочого пристосування

ДОДАТОК Б
Специфікація контрольного пристосування

