

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 «Підвищення продуктивності обробки зубчастих коліс за рахунок використання сучасних верстатів з ЧПК»

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

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

ЛОГВИНЕНКО О.С.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГОНЧАР Н.В.

(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

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ЛОГВИНЕНКУ Олексію Сергійовичу

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Підвищення продуктивності обробки зубчастих коліс за рахунок використання сучасних верстатів з ЧПК»

керівник проекту (роботи) ГОНЧАР Наталя Вікторівна к.т.н., доц.

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 29.10.2024 р. №443

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 20.12.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) робоче креслення деталі; програма випуску N=2000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Підвищення продуктивності обробки зубчастих коліс за рахунок використання сучасних верстатів з ЧПК; 2. Автоматизація; 3. Технологічна частина; 4. Конструкторська частина; 5. Розрахунок деталі на міцність; 6. Економічне обґрунтування вибору варіанта операції; 7. Охорона праці.

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 класифікації та характеристики верстатів з ЧПК, плакат переваг верстатів з ЧПК, плакат технічного опису основних частин зубофрезерного верстата з ЧПК SH-410 Кількість слайдів - 15

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5, 7	ГОНЧАР Н.В., доц.		
6	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., доц.		
нормоконтроль	ДЯДЯ С.І., доц		

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Класифікація та характеристики верстатів з ЧПК	24.09.2024	
2	Переваги верстатів з ЧПК	08.10.2024	
3	Автоматизація	22.10.2024	
4	Технологічна частина	05.11.2024	
5	Конструкторська частина	19.11.2024	
6	Розрахунок на міцність	26.11.2024	
7	Оцінка очікуваної економічної ефективності	29.11.2024	
8	Оформлення пояснювальної записки та іншої технологічної документації	10.12.2024	
9	Нормоконтроль	12.12.2024	
10	Рецензія	16.12.2024	
11	Захист дипломного проєкту	18.12.2024	

Студент

_____ Олексій ЛОГВИНЕНКО
 (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ Наталя ГОНЧАР
 (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 99 с., 37 рис., 23 табл., 2 додатки, 18 джерел.

ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, МАРШРУТ ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ШЕСТЕРНЯ

Об'єкт дослідження – деталь – шестерня.

Мета роботи – підвищення продуктивності обробки зубчастих коліс за рахунок використання сучасних верстатів з ЧПК

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

В магістерській роботі розроблено рекомендації підвищення продуктивності обробки зубчастих коліс за рахунок використання сучасних верстатів з ЧПК, запропоновані рекомендації та обладнання для автоматизації робіт завантаження-розвантаження верстатів з ЧПК, що виключає людський фактор, з урахуванням цього спроектовано технологічний процес виготовлення шестерні, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, спроектовано робоче пристосування для фрезерування зубців та контрольне пристосування для перевірки биття в центрах, проведено розрахунок деталі на міцність за допомогою комп'ютерного моделювання в програмі NX, розроблено керуючі програми для токарної та свердлильної операцій з ЧПК за допомогою програми NX, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	7
Вступ.....	8
1 Підвищення продуктивності обробки зубчастих коліс за рахунок використання сучасних верстатів з ЧПК.....	9
1.1 Класифікація та характеристики верстатів з ЧПК.....	9
1.2 Переваги верстатів з ЧПК.....	13
1.3 Використання штучного інтелекту в верстатах з ЧПК.....	15
1.4 Технічний опис основних частин зубофрезерного верстата з ЧПК SH-410.....	16
2. Автоматизація. Застосування автоматизованих робототехнічних рук на токарних верстатах з ЧПК.....	25
3 Технологічна частина.....	29
3.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....	29
3.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт.....	30
3.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням.....	31
3.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	34
3.4.1 Вибір технологічних баз.....	34
3.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	35
3.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	37
3.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	39
3.6 Розрахунок режимів різання.....	44
3.6.1 Операція 030 – токарна.....	44
3.6.2 Операція 090 – шліфувальна.....	47
3.6.3 Операція 050 – зубофрезерна.....	49
3.6.4 Операція 045– свердлильна.....	51
3.7 Технічне нормування операції.....	55
3.7.1 Технічне нормування операції 030.....	55

3.7.2 Технічне нормування операції 090.....	57
3.7.3 Технічне нормування операції 050.....	58
3.7.4 Технічне нормування операції 045.....	59
3.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	61
3.8.1 Операція токарна 030.....	61
3.8.2 Операція свердлильна 045.....	64
3.8.3 Операція свердлильна 040.....	66
4 Конструкторська частина.....	69
4.1 Проектування та розрахунок робочого пристосування.....	69
4.1.1 Опис конструкції та принципу роботи пристосування.....	69
4.1.2 Обґрунтування способу базування.....	70
4.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску деталі	70
4.2 Проектування контрольного пристосування.....	72
4.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	72
4.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність.....	73
5 Розрахунок деталі на міцність.....	75
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів.....	78
7 Охорона праці при роботі на верстатах з ЧПК.....	90
Висновки	94
Перелік джерел посилання.....	95
Додаток А. Специфікація робочого пристосування	97
Додаток Б. Специфікація контрольного пристосування	99

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КГП – кульково-гвинтова пара

КГШП – кривошипно-гарячештампувальний прес

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – керуюча програма

КПП – коробка переключення передач

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ПЗВ – пристрої захисного вимкнення

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

САПР – системи автоматизованого проектування

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ЧПК – числове програмне керування

ШІ – штучний інтелект

ВСТУП

Виробництво шестерень є ключовим аспектом машинобудівної галузі, оскільки вони відіграють важливу роль у передачі механічної енергії у різних типах механізмів та машин. Якість та довговічність шестерень безпосередньо впливають на ефективність та надійність обладнання, тому підвищення продуктивності їх обробки залишаються актуальними завданнями для сучасного виробництва.

Метою даної дипломної роботи є підвищення продуктивності обробки зубчастих коліс за рахунок використання сучасних верстатів з ЧПК.

У роботі розглядаються сучасні методи проєктування шестерень, матеріали, що використовуються для їх виготовлення, а також різні технологічні процеси, зокрема механообробку та термічну обробку. Особливу увагу приділено вибору оптимальних параметрів, що дозволяють досягти високої точності зубів та збільшення терміну служби виробу та інших експлуатаційних характеристик. Розроблено технологію виготовлення шестірні, що забезпечує високу продуктивність та економічну доцільність обробки.

Актуальність теми визначається зростанням потреб у високоточних та довговічних деталях для машинобудування, що потребує розробки і вдосконалення виробничих процесів та впровадження інноваційних технологій. У роботі аналізуються існуючі підходи до виготовлення шестерень, виявляються недоліки, а також пропонуються шляхи підвищення ефективності технологічного процесу.

1 ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

1.1 Класифікація та характеристики верстатів з ЧПК

Автоматизація виробничих процесів, експлуатація програмованого обладнання та мінімізація ручної праці там, де це виправдано – не новизна. Це потреба, необхідна для прогресу [1].

З цієї причини багато світових підприємств, у тому числі й українські, також роблять ставку на автоматизацію, зокрема, для підвищення продуктивності. Вони замінюють верстати старого зразка з ручним керуванням, на нові – із числовим програмним керуванням (ЧПК) або оновлюють моделі з базовою конфігурацією на високопродуктивні системи з числовим програмним керуванням та масою розширених функцій [2, 3].

Верстати з ЧПК – це промислове обладнання нового покоління. Воно дозволяє оптимізувати процеси на підприємстві, підвищити виробничі обсяги та якість готових виробів [4], а також мінімізувати ручну працю, скоротивши вплив людської складової, та кардинально змінити ланцюжки виробничих процесів.

Верстати з ЧПК – це обладнання, яке, крім ключових технічних вузлів, має програмну систему управління та контролю. Цикли роботи такого пристрою контролюються заданими програмними алгоритмами, виключивши ручну обробку матеріалів та виробів [4]. Роботою такого обладнання керують оператори верстатів з ЧПК: вони вмикають обладнання, можуть задавати або змінювати параметри обробки матеріалів, виходячи з існуючих алгоритмів, вибирають програмні режими роботи на блоці керування верстатом з системою керування, яка автоматично задає робочі параметри кожному окремому вузлу та елементу системи (згідно з встановленим програмним забезпеченням).

Верстати з програмним керуванням класифікуються за тим же принципом, що й аналогічні моделі з ручним керуванням. Серед популярних промислових систем із ЧПК варто виділити [4] за розповсюдженістю:

- токарні верстати;
- фрезерні верстати;
- листообробні верстати;
- електроерозійні верстати;
- розточувальні верстати;
- мультизадачні верстати.

Класифікація верстатів з ЧПК за розташуванням осі шпинделя [4]:

- горизонтальні верстати, в яких вісь шпинделя розташована горизонтально;
- вертикальні верстати, в яких вісь шпинделя знаходиться у вертикальній площині;
- верстати зі шпинделем під кутом.

Класифікація верстатів з ЧПК за кількістю осей [4]:

- 2-осьові. Це горизонтальні моделі верстатів, які працюють тільки по осях X, Y. Належать до найпростіших варіантів обладнання з ЧПК;
- 3-осьові. Найпопулярніший тип верстатів за кількістю осей, які працюють із заготовками по осях X, Y, Z. У такому випадку сама заготовка знаходиться на осях X, Y, а шпиндель рухається по осі Z;
- 4-осьові. Крім стандартних осей X, Y, Z таке обладнання має ще й вісь обертання, якою рухається різальний інструмент круговими рухами, наприклад, у напрямку осі X.
- 5-осьові. На відміну від 4-осьових моделей мають не одну, а дві осі обертання.

Класифікація верстатів з ЧПК за впливом на матеріал [4]:

- фрезерна та свердлильна обробка. Різновид механічної дії на матеріали, у тому числі, і метали різної міцності та в'язкості, в процесі якого матеріал залишається нерухомим, а зміна його поверхні та зняття шару відбувається за

рахунок впливу інструменту (різних фрез, свердл, спеціалізованих інструментів) на поверхню;

- токарна обробка. Також різновид механічної дії на матеріал з використанням інструменту. На відміну від фрезерування та свердління, токарна обробка відбувається шляхом обертання заготовки, а не інструменту;

- лазерне оброблення. Верстати з ЧПК лазерного типу виконують різання та вплив на листові матеріали за рахунок лазерного променя. Це може бути CO₂ лазер або лазери твердотільного типу (волоконні, дискові, YAG-лазери);

- пресування. У таких установках вирублення та зміна форми листових виробів виконується шляхом пресування;

- електроерозійна обробка. Верстати електроерозійного типу для різання та формування отворів використовують високочастотні електричні імпульси і добре працюють з провідниковими матеріалами.

Класифікація за типом приводного двигуна, який використовується верстатом передачі руху на механізми устаткування [4]:

- гідравлічні. Об'ємні важкі двигуни відрізняються високою продуктивністю, потужністю і точністю;

- сервоприводні – електричні. Найоптимальніший варіант для більшості моделей верстатів через невеликі розміри, достатню потужність, відносний тихий режим роботи і мінімальні вібрації;

- пневматичні. Відрізняються відносно невеликою потужністю, вищим рівнем шуму, але разом з цим мають хороші показники пожежної безпеки. Вважаються більш бюджетним варіантом, ніж інші два види приводів.

Типи обладнання за функціоналом:

- 1) токарні верстати з ЧПК. Завдання верстатів такого типу – обробка металевих деталей (тіл обертання), заготовок та виробів за заданими параметрами та траєкторіями, згідно з заданим програмним алгоритмом. Вони обертають заготовку проти ріжучої кромки робочого інструменту. Залежно від розташування вісі шпинделя, токарні верстати з ЧПК можуть бути

горизонтальними, карусельними та токарними автоматами швейцарського типу, які використовуються як для точіння, так і для свердління, фрезерування. Токарні верстати застосовуються в металообробній та інших галузях промисловості для обточування простих та складних виробів; свердління та розточування циліндричних та конічних отворів; нарізування внутрішньої та зовнішньої різі тощо;

2) фрезерні верстати з ЧПК. Завдання фрезерних верстатів – зняття із заготовки шару матеріалу певної товщини з використанням вибраного різального інструменту, що обертається за допомогою шпинделя. Залежно від конструкції такі моделі поділяються на: горизонтальні, вертикальні, порталні, 5-осьові, мультифункціональні. Верстати з ЧПК фрезерного типу застосовуються для:

- обробки різних поверхонь відповідно до заданої програми (це може бути як сталь, м'які метали, дорогоцінні метали, так і деревина та пластик);
- свердління отворів під різьблення та нарізування різьблення мітчиком;
- полірування торцевої частини виробів;
- обробки зубчастих коліс;
- гравіювання;
- обробки канавок, пазів, перерізів.

3) листообробні верстати з ЧПК. Усі види верстатів з ЧПК листообробного типу працюють із листовими матеріалами. Залежно від призначення можуть бути: лазерними, листогибними, гідроабразивними, 4-валковими, координатно-пробивними, а також мати конструкцію гільйотинних ножиць. Основні завдання, які можуть виконувати листообробні верстати з ЧПК:

- різання матеріалу за заданими параметрами;
- згинання (вигинання) металевих заготовок для надання потрібної форми;
- розкрій металевих заготовок шляхом пробивання та пресування;

- прокат листового металу, формування виробів у формі циліндра, конуса, дугоподібної форми;
- різання металу під високим тиском за рахунок гідроабразивного впливу;
- лазерне різання;
- плазмове різання;
- різання металу різних габаритів за принципом гільйотини.

4) Електроерозійні верстати з ЧПК.

Верстати такого типу по функціоналу поділяються на дротяні, прошивні, свердлильні. Усі вони мають схожий принцип роботи. Різання, формування отворів та поверхонь у металевих заготовках електроерозійні верстати виконують за рахунок високочастотних електричних імпульсів.

4) Розточувальні верстати з ЧПК. Говорячи про види верстатів із ЧПК, не можна не відзначити розточувальні верстати. Обладнання такого типу призначене для розточування отворів у заготовках, нарізки внутрішніх та зовнішніх різьб та інших видів робіт.

5) Мультизадачні верстати з ЧПК. Промислові верстати мультифункціонального призначення – не рідкість. Це ще один різновид таких систем. Наприклад, нерідко зустрічаються токарно-фрезерні системи, які добре працюють у комплексі і дозволяють за один робочий цикл обробити виріб у різний спосіб.

1.2 Переваги верстатів з ЧПК

До переваги верстатів із ЧПК, незалежно від їх конфігурації та типу, можна виділити наступні [5].

1) Підвищення продуктивності. Верстати з ЧПК – продуктивні програмовані системи для роботи із заготовками, які кардинально

прискорюють процеси, тим самим підвищуючи обсяги виробництва [2]. За рахунок автоматизованих процесів та контрольованих програмно параметрів роботи із заготовками та матеріалами тривалість заданих циклів помітно скорочується, а швидкість обробки одного умовного елемента зростає. Як результат, один верстат з ЧПК залежно від конфігурації та обраного навантаження замінює до 6 аналогічних ручних верстатів та в рази підвищує виробничі обсяги підприємства, і одночасно зменшуючи штат і кількість одиниць обладнання.

2) Висока точність виконуваних робіт. Обладнання нового покоління, незважаючи на автоматизацію та високу продуктивність, навіть в умовах максимальної завантаженості демонструє високу точність виконуваних робіт [5]. Такі переваги верстатів з ЧПК дозволяють використовувати системи як для великих, так і невеликих підприємств, підвищуючи ефективність виробництва, а також вирішувати будь-які виробничі завдання з високою точністю. Це позитивно впливає на ефективність процесів, прибутковість бізнесу, репутацію, успішність виконання контрактів.

3) Висока якість готових виробів. Незважаючи на підвищення продуктивності обладнання і, відповідно, кількості виконаної роботи за зміну або робочий день, якість готових виробів, виготовлених на верстатах ЧПК, залишається максимально високою. І це ще одна важлива перевага обладнання. За рахунок того, що всі цикли обробки заготовок на таких верстатах відбуваються за алгоритмами в автоматичному режимі, суворо відповідаючи заданим програмним параметрам, досягається висока якість кожного готового виробу.

4) Мінімізація людського чинника. Системи нового покоління з програмованими циклами обробки заготовок здатні в рази збільшити виробничі потужності підприємства, але при цьому немає потреби у збільшенні штату [5] – з новим обладнанням працює лише один оператор з мінімальним втручанням у процеси обробки. Він запускає програмні режими, коректує параметри обробки та контролює відпрацювання програм та процесів

у режимі реального часу, але при цьому фізично не впливає на цикли та процеси. За рахунок цього в робочих процесах мінімізується людський фактор.

5) Мінімізація похибок. Точність роботи такого обладнання на всіх етапах контролюється на рівні електроніки, починаючи від програмних алгоритмів обробки заготовок до швидкості обточування, глибини фрезерування та іншого функціоналу, передбаченого в системі [6]. За рахунок цього відбувається мінімізація похибок та браку порівняно з роботою ручних верстатів. І це в свою чергу зменшує тимчасові та матеріальні виробничі витрати і підвищує рентабельність роботи підприємства в цілому.

6) Підвищення ефективності та прибутковості. Говорячи про переваги верстатів ЧПК, варто відзначити ключову перевагу систем, яка резюмує всі попередні пункти [6]. Підвищена продуктивність обладнання, мінімізація похибок та людського фактора, висока швидкість обробки без втрати якості – всі ці особливості роботи верстатів підвищують ефективність бізнес-процесів та прибутковість бізнесу загалом. Починаючи від оптимізації процесів, автоматизації виробництва і закінчуючи високою якістю кожного готового виробу, що випускається підприємством у невеликих або великих масштабах, все це трансформації на користь бізнесу. Це допомагає підвищити ефективність бізнесу, раціоналізувати та зменшити витрати, замінити неефективне використання часу та налагодити процеси так, щоб збільшити обсяги та підвищити дохід підприємства.

1.3 Використання штучного інтелекту в верстатах з ЧПК

Використання штучного інтелекту (ШІ) в верстатах із ЧПК стає дедалі популярнішим завдяки можливості підвищити продуктивність, точність і ефективність виробничих процесів [7]. Інтеграція ШІ у верстати ЧПК дозволяє

автоматизувати складні завдання, знижувати витрати і покращувати якість продукції.

Основні напрямки використання ШІ в ЧПК:

1) оптимізація виробничих процесів. ШІ аналізує дані в реальному часі та оптимізує параметри роботи верстата. Це дозволяє зменшити час виконання операцій, мінімізувати витрати матеріалів і енергії;

2) прогнозування зношення обладнання. Завдяки алгоритмам машинного навчання, ШІ може прогнозувати час зношення інструментів або деталей верстата. Це дозволяє планувати заміну/обслуговування заздалегідь, що зменшує ризик простоїв;

3) автоматичне коригування програм. ШІ може автоматично адаптувати програму ЧПК залежно від виявлених помилок або зміни умов (наприклад, різна твердість матеріалу чи температурний вплив);

4) моніторинг якості в реальному часі. За допомогою ШІ верстати можуть виявляти дефекти під час обробки деталей. Це дає можливість оперативно реагувати на проблеми та забезпечувати високу якість продукції;

5) розпізнавання патернів. Алгоритми ШІ аналізують великі обсяги даних для виявлення закономірностей. Наприклад, ШІ може виявляти, які налаштування верстата дають найкращі результати для певного типу матеріалу;

6) інтеграція з «розумними» фабриками. Верстати ЧПК із ШІ можуть стати частиною Інтернету речей, передаючи дані про свою роботу в центральні системи управління. Це дозволяє синхронізувати всі етапи виробництва.

Переваги ШІ в верстатах ЧПК:

1) підвищення точності та швидкості обробки;

2) зниження витрат на виробництво;

3) зменшення людського фактору і ризику помилок;

4) ефективне управління ресурсами;

5) прогнозування і планування технічного обслуговування.

Хоча впровадження ШІ у верстати ЧПК має значні переваги, існують і виклики, зокрема висока вартість обладнання та необхідність навчання персоналу. Однак з розвитком технологій ШІ стає доступнішим, а інтеграція його у виробництво – ключовим етапом цифрової трансформації.

1.4 Технічний опис основних частин зубофрезерного верстата з ЧПК SH-410

Для підвищення продуктивності, якості і точності оброблення деталі «Шестерня» (п.3) пропонується використання нового зубофрезерного верстата (рис. 1.1) фірми «Song-Ma» з ЧПК, який і було розроблено для забезпечення високої швидкості, високої жорсткості, високої точності фрезерування різних типів зубчастих коліс, включаючи шестерні для автомобільної промисловості.



Рисунок 1.1 – Зубофрезерний верстат з ЧПК SH-410 [8]

На верстаті за технологічною програмою можуть бути виконані такі зубчасті колеса:

- з прямим зубом;
- косозубі;
- конічна з невеликим конусом;
- коронна шестерня;
- зірочка;
- черв'ячне колесо.

Технічні характеристики верстата:

- 1) система керування – Siemens 828D/Siemens 840DSL;
- 2) максимальний зовнішній діаметр деталі при використанні кільцевого завантажувача – 410 мм;
- 3) максимальний зовнішній діаметр деталі при ручному завантаженні – 410 мм;
- 4) максимальний модуль – 8;
- 5) максимальна швидкість шпинделя деталі – 200 об/хв;
- 6) діаметр столу – 240 мм;
- 7) базовий діаметр затиску столу – 330 мм;
- 8) відстань між столом та задньою бабкою – 400 (265...665) мм;
- 9) максимальний діаметр/довжина черв'ячної фрези – $\varnothing 180/240$ мм;
- 10) максимальна швидкість обертання фрези – 1500 об/хв;
- 11) максимальний зсув черв'ячної фрези (вісь Y) – 200 мм;
- 12) кут нахилу – $\pm 45^\circ$ град;
- 13) посадковий конус фрези – BT-40;
- 14) потужність шпинделя фрези – 16 кВт;
- 15) крутний момент – 128 Нм;
- 16) прискорена подача:
 - вісь X 12 м/хв;
 - вісь Z 12 м/хв;
 - вісь Y 5 м/хв;
- 17) габаритні розміри:
 - довжина – 2 941 мм;

- ширина – 2 950 мм;
- висота – 2 970 мм;
- вага– 11000 кг.

Верстат оснащений 6-ма програмованими осями (рис. 1.2):

- вісь X – рух колони;
- вісь Y – усунення черв'ячної фрези;
- вісь Z – рух фрезерної голови;
- вісь A – нахил фрезерної голови;
- вісь B – обертання черв'ячної фрези;
- вісь C – обертання столу;

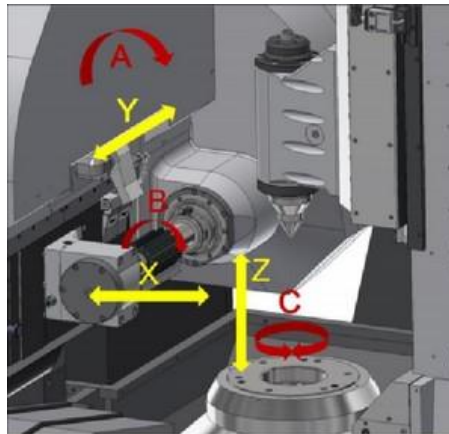


Рисунок 1.2 – Вісі верстата SH-410 [8]

Фрезерна головка оснащена лінійним роликовим підшипником осі Y та супортом оправки, що гарантує високу точність за важких умов різання та дозволяє здійснювати тангенціальне різання. Застосування подвійного контакту оправки черв'ячної фрези підтримує високу жорсткість під час складного різання. Основні характеристики фрезерної головки (рис. 1.3):

- матеріал: чавун та сталь;
- двигун шпинделя фрези: 1PH8133-1DD02-0BA1 (Siemens) 12/16кВт;
- підшипник шпинделя фрези: B7016E.TPA.P4.UL (FAG);
- підшипник ковзання відведення черв'ячної фрези: RUS 19105 (INA);
- КГП (кульково-гвинтова пара) осі Y: Ø40x765мм (TIC);

- підшипник осі YSP Y: 30TAC 62B SU C10PN7B (NSK);
- зусилля затиску осі нахилу фрезерної головки: 11700 Н.



Рисунок 1.3 – Фрезерна головка [8]

Використання міцної литої рами та роликів напрямних високої жорсткості роблять можливим забезпечити високу точність обробки за важких умов різання. Основні характеристики рухомої бабки (рис. 1.4):

- матеріал: чавун та сталь;
- підшипник шпинделя: B7010E.TPA.P4.UL (FAG);
- роликові напрямні: RGW45CC 2R937.5ZBP+KK/E2 (HIWIN);
- циліндр для підйому/опускання: 70H-71FA63BB400-AD-LN (TAIYO);
- зусилля підтискання бабки: макс. 15,58 кН.



Рисунок 1.4 – Рухома бабка [8]

Беззазорний стіл у поєднанні з високомоментним двигуном прямого приводу та прецизійним приводом гарантують високу точність обробки.

Основні характеристики столу:

- матеріал: чавун та сталь
- двигун осі С: прямого приводу Siemens
- підшипники шпинделя: NNU 9738K P4 (FAG)
- привід-енкодер: кругового типу (АМО)
- роздільна здатність столу: 0,001°
- зусилля затискного циліндра, що обертається: макс. 41,16 кН.

Широкі напрямні кутової структури, інтегровані в станину (рис. 1.5), забезпечують прецизійну робочу базу з низьким питомим тиском на площину та високим опором силам різання.

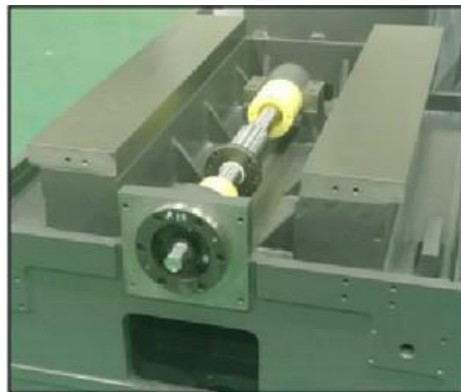


Рисунок 1.5 – Станина [8]

Станина з ухилом забезпечує чудовий схід стружки. Огородження з нержавіючої сталі на станині забезпечують систему оптимального сухого різання та високу термостабільність. Основні характеристики станини:

- матеріал: чавун та сталь;
- вага: 2890 кг;
- КГП осі Х: Ø50x1034 мм (ТІС);
- підшипник КГП осі Х: 40ТАС 90В SU С10РН7В (NSK).

Основні характеристики колони (рис. 1.6), в яку інтегровані напрямні кутової структури:

- матеріал: чавун та сталь;
- вага: 1400 кг;
- КГП осі Z: Ø50x798 мм (TIC);
- підшипник осі Z: 40TAC 90B SU C10PN7B (NSK).



Рисунок 1.6 – Колона [8]

Система змащення:

- система мастильна для напрямних (Hansung) HMGP303S-01-T12-F/P-F220.
- система змащення коробки передач шпинделя (A-ryung) AMTP-100-11MSVB.

- габарити: 466×360×445.

Гідравлічна система:

- головний насос: (Nachi) PVS-1B-16N1;
- соленоїдний клапан: (Nachi) SS-G01-A3X-R-C1(2EA).

Система охолодження MSCU-300AS-HL, виробництва «Mastertech», застосовується для охолодження двигуна осі С. Основні характеристики:

- продуктивність: 240 ккал/година.
- габарити: 255×430×1045.

Закріплення деталі цангове (рис. 1.7), змішане, застосовується робоча оправка спеціального типу.



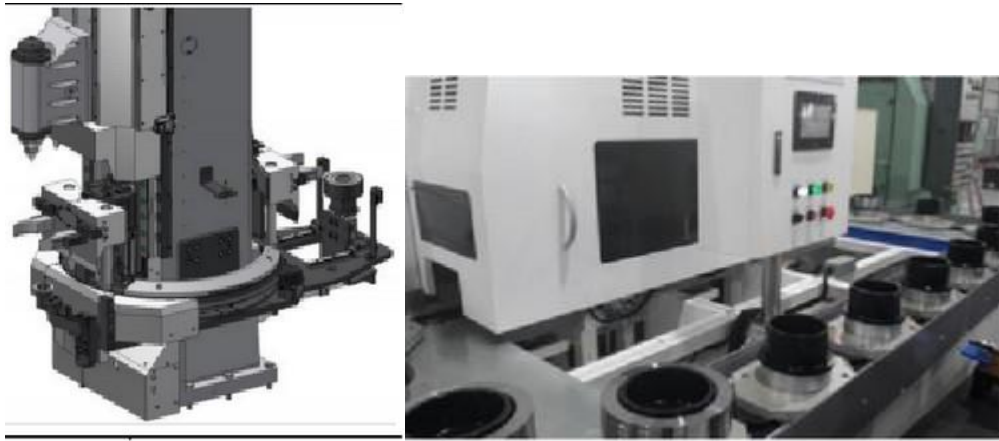
Рисунок 1.7 – Закріплення деталі [8]

Система ЧПК – Siemens 828D/Siemens 840D SL. Програмовані всі 6 вісей. Одночасна обробка можлива по 4 осях (Siemens 828D)/6 осях (Siemens 840D SL). Використовується кольоровий LCD 10,4” монітор (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Стійка з ЧПК [8]

Для автоматизації завантаження-розвантаження застосовується 2-х позиційний кільцевий завантажувач (1.9, а). Сховище заготовок (рис. 1.9, б) палетного типу застосовується для автоматизованого завантаження-розвантаження. Також може застосовуватися 4-х позиційний кільцевий завантажувач для автоматизації при використанні пристрою обробки фасок та видалення задирок.



а

б

Рисунок 1.9 – Автоматизація обробки: 2-х позиційний кільцевий завантажувач (а) и сховище заготовок (б) [8]

Так само для автоматизації встановлюється додатково на верстаті пристрій обробки фаски та видалення задирки (рис. 1.10). Воно застосовується для створення фаски на зубцях та видалення задирок під час обробки, при цьому необхідний 4-х позиційний кільцевий завантажувач. Час обробки зубчастого колеса не збільшується.

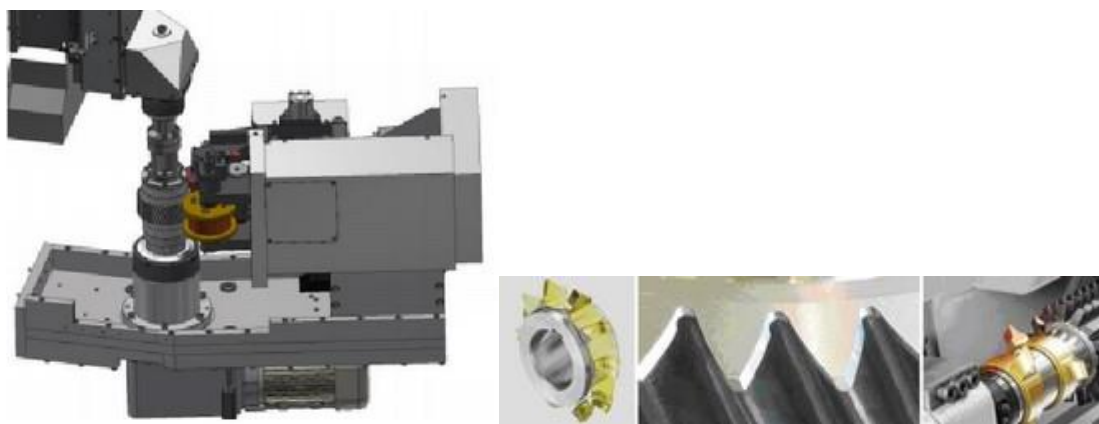


Рисунок 1.10 – Пристрій для зняття фаски [8]

2 АВТОМАТИЗАЦІЯ. ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ РУК НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Зі швидким розвитком технологій автоматизація все частіше застосовується у виробничій промисловості [9]. Приклади автоматизації завантаження-розвантаження деталей для фрезерного верстата SH-410 з ЧПК приведено в п.1.3.

Більш широким компонентом тенденції автоматизації є використання автоматизованих робототехнічних рук (рис. 2.1) на токарних верстатах з ЧПК для підвищення ефективності виробництва, як для підвищення загальної продуктивності, так і точності та якості продукції.

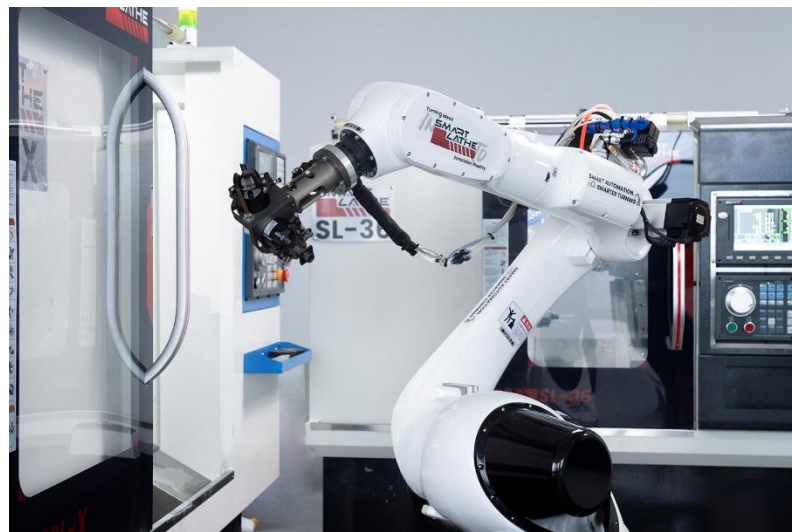


Рисунок 2.1 – Застосування автоматизованих робототехнічних рук [9]

Автоматизовані роботизовані руки пропонують численні переваги при виробництві на сучасних токарних верстатів з ЧПК. Основі переваги:

а) підвищення ефективності виробництва: роботизовані руки можуть працювати 24/7, значно підвищуючи ефективність виробництва. Особливо у масовому виробництві високоефективна робота роботизованих рук значно скорочує виробничі цикли;

б) гарантована точність обробки: роботизовані руки можуть працювати точно відповідно до встановлених програм, уникаючи помилок, які можуть виникнути під час ручних операцій, тим самим забезпечуючи точність і послідовність виробів;

в) зниження витрат на робочу силу: застосування автоматизованих роботизованих рук зменшує залежність від ручних операцій, зменшуючи трудомісткість і витрати. Крім того, компанії можуть перерозподіляти людські ресурси на посади, які потребують більшої креативності та розважливості, підвищуючи загальну ефективність роботи;

г) покращена безпека: роботизовані руки можуть працювати в небезпечних середовищах, наприклад, із високими температурами, високим тиском або токсичними умовами, замінюючи ручну працю. Це значно підвищує безпеку виробництва та зменшує кількість нещасних випадків на виробництві;

д) реалізація інтелектуального виробництва: завдяки інтеграції ШІ (штучного інтелекта) з системами ЧПК роботизовані руки можуть досягати інтелектуального керування та збору даних, формуючи інтелектуальну виробничу систему та сприяючи подальшому переходу заводів до інтелектуального виробництва.

Автоматизовані роботизовані руки імітують рухи рук людини та можуть виконувати різні складні завдання за допомогою програмного керування (рис. 2.2).

У токарних верстатах з ЧПК роботизовані руки можуть виконувати такі завдання:

а) розвантаження та позиційне складування (рис. 2.3) заготовок: роботизовані руки можуть автоматично виконувати завантаження та розвантаження заготовок, зменшуючи ручне втручання та підвищуючи ефективність виробництва;

б) передача та розміщення заготовок: у багатопроесовій обробці роботизовані руки можуть точно переносити заготовки з однієї зони в іншу,

забезпечуючи безперервність і точність процесу обробки;

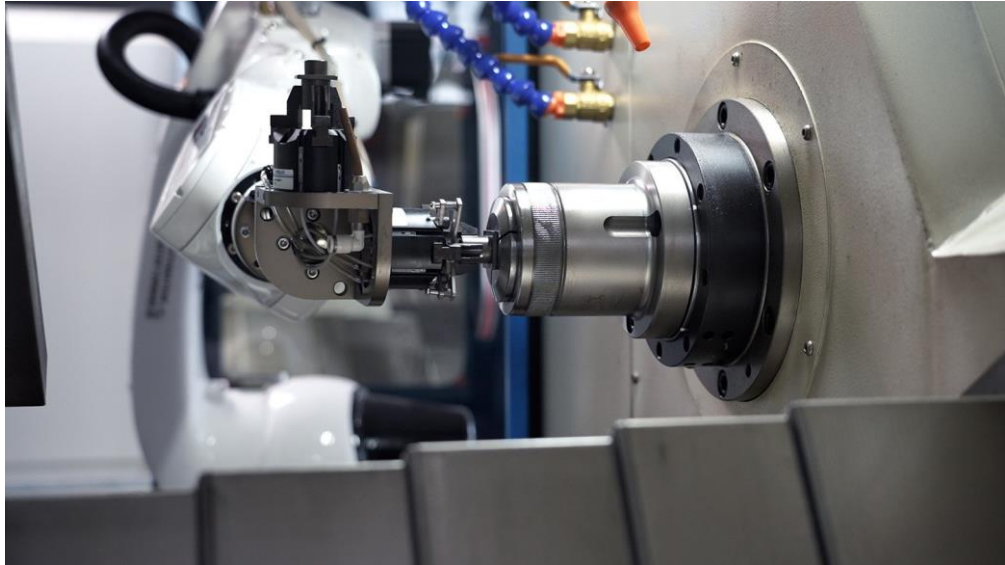


Рисунок 2.2 – Встановлення деталі роботом [9]

в) перевірка якості та сортування: роботизовані маніпулятори разом із датчиками та інспекційним обладнанням можуть виконувати онлайн-інспекцію заготовок, класифікувати та сортувати їх на основі результатів перевірки.

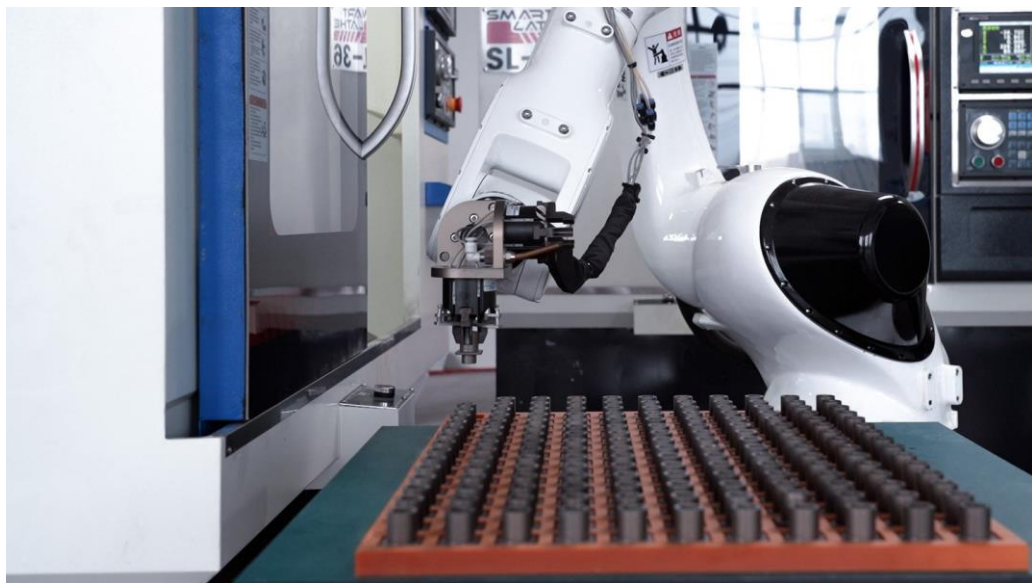


Рисунок 2.3 – Позиційне складування оброблених деталей [9]

Завдяки автоматизації ця робота може виконуватися без участі оператора, що дозволяє йому працювати на кількох машинах одночасно, і не витрачати весь час на виконання завдань при завантаженні/розвантаженні на одній машині.

Традиційно автоматизація розглядалась як вимога до багатосерійного виробництва однієї конкретної деталі. Однак обробна промисловість змінюється, і широко змішане виробництво, поширене в багатозадачності, стає нормальним.

Виробнича технологія була введена в ногу з цими змінами. Але автоматизація має багато форм, і хоча складні роботизовані установки мають своє місце, доступні та більш прості варіанти типу звичайного маніпулятора.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Шестерня (рис. 3.1) є механічною деталлю з зубчастим ободом, що передає обертальний рух між валами коробки переключення передач (КПП) за допомогою зачеплення її зубців з зубцями іншої шестерні. Вона складається з таких елементів:

- а) зубці – основна частина шестерні, які знаходяться на зовнішній поверхні, їх кількість і форма залежать від типу передачі;
- б) вінець – це обід, на якому розташовані зубці;
- в) маточина – центральна частина, через яку шестерня кріпиться до валу або іншої деталі.

Шестерні застосовують в таких механізмах:

- а) трансмісії автомобілів, тракторів і іншої техніки;
- б) редуктори промислового обладнання;
- в) приводи різноманітних машин, де необхідно передавати крутний момент з мінімальними втратами.



Рисунок 3.1 – Шестерня

Шестерня виконана з сталі 40Х, тому що використовується в умовах, де

потрібна підвищена міцність, зносостійкість і здатність витримувати значні навантаження. Завдяки своїй міцності та зносостійкості шестерні з сталі 40X здатні працювати тривалий час в умовах високих динамічних та ударних навантажень.

Зубці шестерні є найважливішим відповідальним елементом деталі, оскільки саме вони здійснюють передачу обертального руху. Їх конструкція, форма і точність визначають якість роботи всієї зубчастої передачі.

Сталь 40X – це конструкційна легована сталь, яка має підвищену міцність і твердість після термічної обробки. Хімічний склад (таблиця 3.1) сталі 40X включає хром, що підвищує зносостійкість та корозійну стійкість, а також забезпечує хорошу оброблюваність. Сталь 40X після загартування і відпуску має твердість приблизно HRC 28-32.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад, у %, сталі 40X [10]

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
основа	0,36... 0,44	0,17... 0,37	0,5... 0,8	<0,3	<0,035	<0,035	0,8... 1,1	<0,3

3.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Маса деталі «Шестерня» становить 0,54 кг, враховуючи річну програму випуску 5000 штук, тип виробництва призначаємо згідно методики [11], як серійний, а форму організації труда – змінно-потоківу.

Основною кількісною характеристикою серійного виробництва є кількість партії оброблених деталей, яка періодично запускається у виробництво, – розраховується за формулою:

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

де N – річна програма випуску, деталей;

a – періодичність запуску деталей в виробництво, днів;

A – кількість робочих днів на рік.

$$n = \frac{3 \cdot 5000}{250} = 60 \text{ шт}$$

3.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Для економічного аналізу отримання заготовки обираємо наступні методи:

– штампування на кривошипному гаряче-штампувальному пресі (КГШП);

– прокат.

Масу заготовок визначаємо за допомогою програмного забезпечення NX (рис. 3.2, 3.3).

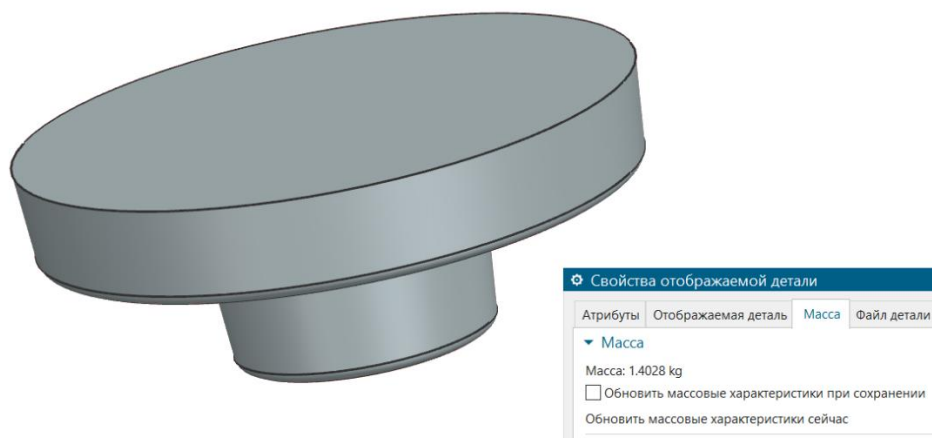


Рисунок 3.2 – 3D-модель заготовки, отриманої на КГШП

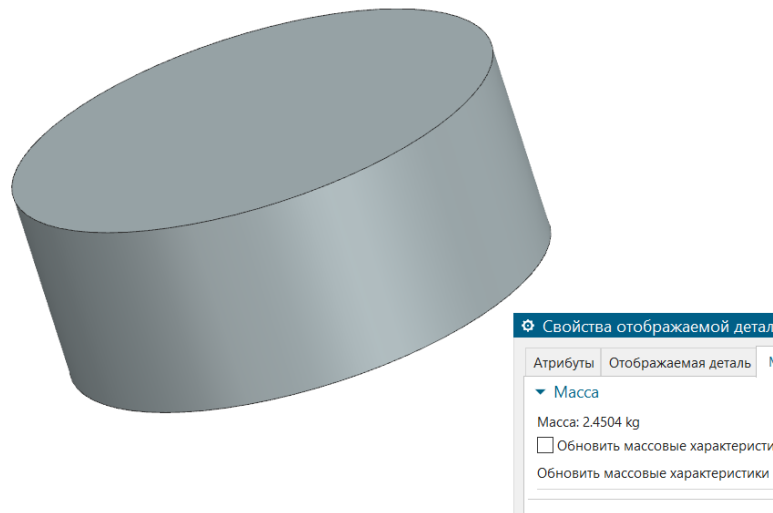


Рисунок 3.3 – 3D-модель заготовки – прокату

Собівартість виготовлення однієї заготовки [12], відповідно, штамповки і прокату:

$$V_{\text{КГШП}} = \frac{V_{\text{Б}}}{1000} \cdot Q \cdot K_{\text{Т}} \cdot K_{\text{М}} \cdot K_{\text{С}} \cdot K_{\text{З}} \cdot K_{\text{П}} - (Q - q) \frac{V_{\text{Відх}}}{1000}, \quad (3.2)$$

$$V_{\text{П}} = \frac{V_{\text{Б}}}{1000} \cdot Q - (Q - q) \frac{V_{\text{Відх}}}{1000}, \quad (3.3)$$

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

$K_{\text{М}}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [12];

$K_{\text{Т}}$ – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [12];

$K_{\text{П}}$ – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [12];

$K_{\text{С}}$ – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [12];

$K_{\text{З}}$ – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [12];

$V_{\text{Б}}$ – базова собівартість виготовлення 1 т заготовок, грн [12];

$V_{\text{Відх}}$ – вартість 1 т стружки [12].

$$V_{\text{КГШП}} = \frac{150000}{1000} \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 - (1,4 - 0,54) \cdot \frac{4000}{1000} = 306,6 \text{ грн}$$

$$V_{\text{П}} = \frac{60000}{1000} \cdot 2,4 - (2,4 - 0,54) \cdot \frac{4000}{1000} = 136,5 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) [12]:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (3.4)$$

$$\eta_{\text{КГШП}} = \frac{0,54}{1,4} = 0,38$$

$$\eta_{\text{П}} = \frac{0,54}{2,4} = 0,22$$

Так як отримане значення $V_{\text{П}} < V_{\text{КГШП}}$, і $\eta_{\text{П}} < \eta_{\text{КГШП}}$, тому необхідно порівняти додаткові витрати згідно формул (3.5)-(3.7):

Додаткові витрати щодо матеріалу метода отримання з прокату:

$$D_{\text{П}} = \frac{V_{\text{П}}}{1000} \cdot M_{\text{П}} \quad (3.5)$$

$$M_{\text{П}} = \frac{q(\eta_{\text{КГШП}} - \eta_{\text{П}})}{\eta_{\text{КГШП}} \cdot \eta_{\text{П}}} \cdot N \quad (3.6)$$

$$M_{\text{П}} = \frac{0,54 \cdot (0,38 - 0,22)}{0,38 \cdot 0,22} \cdot 5000 = 5167,4 \text{ кг}$$

$$D_{\text{П}} = \frac{60000}{1000} \cdot 5167,4 = 310047,8 \text{ грн}$$

Додаткові витрати методу отримання на КГШП:

$$D_{\text{КГШП}} = (V_{\text{КГШП}} - V_{\text{П}}) \cdot N, \quad (3.7)$$

$$D_{\text{КГШП}} = (306,6 - 136,5) \cdot 5000 = 850500 \text{ грн}$$

Порівняльні показники обраних методів виготовлення заготовок заносяться в таблицю 3.2.

Річне заощадження:

$$E_p = D_{\text{П}} - D_{\text{КГШП}} \quad (3.8)$$

$$E_p = 310047,8 - 850500 = 540542,2 \text{ грн}$$

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			КГШП	Прокат
Вага заготовки	Q	кг	1,4	2,4
Базова вартість 1 т заготовки	V_B	грн	150000	60000
Коефіцієнти	K_T		1	
	K_M		1,51	
	K_C		0,77	
	K_3		1,27	
	K_{II}		1	
Вартість 1 т стружки	$V_{в\dot{d}x}$	грн	4000	4000
Собівартість заготовки	V_3	грн	306,6	136,5
КВМ	η		0,38	0,22
Додаткові витрати	D	грн	850500	310047,8

Додаткові витрати при отриманні заготовки з прокату $D_{II} = 310047,8$ грн менші ніж додаткові витрати при отриманні заготовок на КГШП $D_{КГШП} = 850500$ грн. За масштабами виробництва різниця невелика. Однак, через те, що механічні властивості штампованої заготовки краще, ніж з прокату, тому обираємо варіантом отримання заготовки штампування на КГШП.

3.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

3.4.1 Вибір технологічних баз

В якості чорнових та чистових баз на токарних операціях обираємо зовнішні діаметри $\varnothing 98$, $\varnothing 40$ та крайні торці. Для свердлильної та зубофрезерної операцій в якості баз обираємо отвір $\varnothing 26$ та торець розмір 13 мм. При шліфуванні в якості баз обираємо отвір $\varnothing 26$ та зовнішній діаметр $\varnothing 40$. Такий вибір баз забезпечується найменшу похибку установки, точність обробки і точність при складанні.

3.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Для шестерні розробимо маршрут обробки поверхні (МОП). Для цього визначається загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (3.9)$$

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (3.10)$$

де Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (3.11)$$

де Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 40g6_{-0,025}^{-0,009}$ загальні уточнення за показниками якості:

$$\varepsilon_{d_0} = \frac{1,2}{0,016} = 75$$

$$\varepsilon_{\Delta_0} = \frac{0,6}{0,02} = 30$$

$$\varepsilon_{Ra_0} = \frac{25}{0,8} = 31,2$$

Кількість переходів розраховується за превалюючим показником точності ε_{d_0} за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (3.12)$$

$$k = 2 \cdot \lg 75 = 3,7 \rightarrow 4$$

Визначаємо різницю показників якості та розподіляємо цю різницю між $k=4$ переходами за законом прогресивного зменшення: $IT=IT17-k6=11=5+3+2+1$.

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

- 1) для допуску – $IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h9 \rightarrow TO \rightarrow h7 \rightarrow k6$;
- 2) для шорсткості – $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow TO \rightarrow Ra1,6 \rightarrow Ra0,8$.

Для першого переходу – точіння чорнове: $Td_1=250$ мкм; $T_{Ra1}=6,3$ мкм [3].

Уточнення:

$$E_{d1}=1200/250=4,8$$

$$E_{Ra}=25/6,3=4$$

Для другого переходу – точіння чистове: $Td_2=62$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [13].

Уточнення:

$$E_{d2}=250/62=4$$

$$E_{Ra}=6,3/3,2=2$$

$$E_{dj}=4,8 \cdot 4=19,2 < E_d=75$$

$$E_{Raj}=4 \cdot 2=8 < E_{Rz}=31,2$$

Для четвертого переходу – шліфування чорнове: $Td_4=25$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [13].

Уточнення:

$$E_{d4}=62/25=2,5$$

$$E_{Ra4}=3,2/1,6=2$$

$$E_{dj}=19,2 \cdot 2,5=48 < E_d=75$$

$$E_{Raj}=8 \cdot 2=16 < E_{Rz}=31,2$$

Для п'ятого переходу – чистове шліфування: $T_{d5}=16$ мкм; $T_{Ra5}=0,8$ мкм [13].

Уточнення:

$$E_{d5}=25/16=1,6$$

$$E_{Rz}=1,6/0,8=2$$

$$E_{dj}=48 \cdot 1,6=76,8 > E_d=75$$

$$E_{Rzj}=16 \cdot 2=32 > E_{Rz}=31,2$$

Таким же методом робимо розрахунки і для інших поверхонь. Отримані дані заносимо до таблиці 3.3.

3.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Поетапний маршрут виготовлення деталі (МВД) «Шестерня»:

а) отримання заготовки, термічна обробка (ТО) – нормалізація.

б) механічна обробка:

- 1) токарна обробка (чорнова, чистова);
- 2) протяжна обробка;
- 3) свердлильна обробка;
- 4) зубофрезерна обробка;
- 5) слюсарна;

в) ТО (гартування, відпуск);

г) абразивна обробка:

- 1) шліфування (чорнове, чистове);
- 2) зубошліфування;

Таблиця 3.3 – МОП деталі «Шестерня»

Характеристика поверхонь	МОП		Допуски			Уточнення		
	IT	Метод обробки	геометричних розмірів, мм	Шорсткість поверхні, мкм	Биття, мм	геометричних розмірів, мм	шорсткості поверхні, мкм	показника биття, мм
Ø40g6 Ra=0,8 ↑=0,02	17	Заготовка	1,200	25	0,6	-	-	-
	12	Точіння чорнове	0,250	6,3	0,12	4,8	4	5
	9	Точіння чистове	0,062	3,2	0,06	4	2	2
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	7	Шліфування чорнове	0,025	1,6	0,03	2,5	2	2
	6	Шліфування чистове	0,016	0,8	0,02	1,6	2	1,5
Ø98d8 Ra=1,6 ↑=0,024	17	Заготовка	1,300	25	0,6	-	-	-
	12	Точіння чорнове	0,350	6,3	0,1	3,7	4	6
	9	Точіння чистове	0,087	3,2	0,05	4	2	5
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	8	Шліфування	0,054	1,6	0,024	1,6	2	2
13-0,07 Ra=1,6 ↑=0,02	17	Заготовка	1,200	25	0,6	-	-	-
	14	Точіння чорнове	0,43	6,3	0,1	2,7	4	6
	12	Точіння чистове	0,18	3,2	0,04	2,4	2	2,5
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	10	Шліфування	0,07	1,6	0,02	2,6	2	2
Ø26 ^{+0,033} Ra=0,8 ↑=0,02	17	Заготовка	-	-	-	-	-	-
	14	Свердління	0,520	12,5	0,75	-	-	-
	12	Розсвердлювання	0,210	6,3	0,25	2,5	2	3
	10	Зенкерування	0,084	3,2	0,1	2,5	2	2,5
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	9	Шліфування чорнове	0,052	1,6	0,04	1,6	2	2,5
	8	Шліфування чистове	0,033	0,8	0,02	1,6	2	2

- з) слюсарна;
- д) мийка, контроль.

В графічній частині дипломної роботи маршрут виготовлення шестерні представлено на плакаті МВД.

3.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Для поверхні $\varnothing 40g6$ припуск визначаємо розрахунково-аналітичним методом. Значення шорсткості та глибини дефектного шару для заготовки: $Rz_1=160$ мкм та $h_1=200$ мкм [13]. Просторові відхилення розраховують за формулою:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (3.13)$$

де $\rho_{зм}$ – відхилення від співвісності, $\rho_{зм} = 0,8$ мм [13];

$\rho_{кор}$ – похибка від короблення, $\rho_{кор} = 0,5$ мм [13];

$$\rho_1 = \sqrt{0,8^2 + 0,5^2} = 0,943 \text{ мм}$$

Для чорнового точіння значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо: $Rz_2=40$ мкм та $h_2=40$ мкм [13]. Просторова похибка для механічних переходів розраховується за формулою:

$$\rho_j = K_{ут} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (3.14)$$

де $K_{ут}$ – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки [13].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 0,943 = 0,056 \text{ мм}$$

Похибка закріплення для токарної чорнкової операції при закріпленні в патроні $\varepsilon_2=0,2$ мм [13].

Для чистового точіння значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо: $Rz_3=20$ мкм та $h_3=20$ мкм [13]. Просторова похибка:

$$\rho_3 = 0,06 \cdot 0,056 = 0,003 \text{ мм}$$

Похибка закріплення:

$$\begin{aligned} \varepsilon_j &= K_{\text{ут}} \cdot \varepsilon_i, \text{ мм} \\ \varepsilon_3 &= 0,04 \cdot 0,2 = 0,008 \text{ мм} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Просторова похибка для ТО:

$$\rho_4 = \Delta_k \cdot L \quad (3.16)$$

де $\Delta_{\text{кор}}$ – кривизна після ТО, $\Delta_{\text{кор}}=0,1$ мм [13].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 36 = 3,6 \text{ мкм}$$

Для шліфування чорнового значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо: $Rz_5=10$ мкм та $h_5=15$ мкм [13].

Просторова похибка:

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (3 + 3,6) = 0,2 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 12 = 0,3 \text{ мкм}$$

Для шліфування чистового значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо: $Rz_5=5$ мкм та $h_5=5$ мкм [13].

Просторова похибка:

$$\rho_6 = 0,02 \cdot 0,2 = 0 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_6 = 0,02 \cdot 0,3 = 0 \text{ мкм}$$

Мінімальні припуски для переходів механічної обробки:

$$2z_i^{\min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (3.17)$$

$$2z_2^{\min} = 2(160 + 200 + \sqrt{943^2 + 200^2}) = 2647 \text{ мкм}$$

$$2z_3^{\min} = 2(40 + 40 + \sqrt{56^2 + 12^2}) = 274 \text{ мкм}$$

$$2z_5^{\min} = 2(20 + 20 + \sqrt{3^2 + 0,3^2}) = 86 \text{ мкм}$$

$$2z_6^{\min} = 2(10 + 15 + \sqrt{0,2^2 + 0^2}) = 50 \text{ мкм}$$

Максимальний розмір поверхні деталі – після останнього переходу розраховується за формулою:

$$d_6^{\max} = d_6^{\text{НОМ}} + ES_{d_6} \quad (3.18)$$

$$d_6^{\max} = 40 - 0,009 = 39,991 \text{ мм}$$

Максимальні розміри для механічних переходів розраховується за формулою:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (3.19)$$

$$d_5^{\max} = 39,991 + 0,05 + 0,025 = 40,066 \text{ мкм}$$

$$d_3^{\max} = 40,066 + 0,086 + 0,062 = 40,214 \text{ мкм}$$

$$d_2^{\max} = 40,214 + 0,274 + 0,25 = 40,738 \text{ мкм}$$

$$d_1^{\max} = 40,738 + 2,647 + 1,2 = 44,585 \rightarrow 44,6 \text{ мкм}$$

Мінімальні розміри поверхні розраховуються за формулою:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (3.20)$$

$$d_6^{\min} = 39,991 - 0,016 = 39,975 \text{ мм}$$

$$d_5^{\min} = 40,066 - 0,025 = 40,041 \text{ мм}$$

$$d_3^{\min} = 40,214 - 0,062 = 40,152 \text{ мм}$$

$$d_2^{\min} = 40,738 - 0,25 = 40,488 \text{ мм}$$

$$d_1^{\min} = 44,6 - 1,2 = 43,4 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (3.21)$$

$$2z_2^{\max} = 44,6 - 40,488 = 4,112 \text{ мм}$$

$$2z_3^{\max} = 40,738 - 40,152 = 0,586 \text{ мм}$$

$$2z_5^{\max} = 40,214 - 40,041 = 0,173 \text{ мм}$$

$$2z_6^{\max} = 40,066 - 39,975 = 0,091 \text{ мм}$$

Перевірка правильності розрахунків виконується за формулами:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{зар}} + TD_{\text{дет}} \quad (3.22)$$

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

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max} \quad (3.24)$$

$$2z_0^{\max} = 44,6 - 39,975 = 4,625 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\min} = 43,4 - 39,991 = 3,409 \text{ мм}$$

$$TD_0 = 1,2 + 0,016 = 1,216 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 4,625 - 3,409 = 1,216 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 43,8_{-0,4}^{+0,8}$ мм. Цей уточнений розмір проставляється на кресленні заготовки і на карті заготовки.

Таблиця 3.4 – Розрахунок припусків на обробку та технологічні операційні розміри по технологічним переходам.

Характеристики поверхонь	МОП		Складові припуску				Допуск Td, мм	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуску		Виконавчий розмір
	IT	Метод обробки	R _{zi}	h _i	ρ _i	ε _i		d _i ^{max} , мм	d _i ^{min} , мм	2z _i ^{max} мкм	2z _i ^{min} мкм	
Ø40g6 Ra=0,2 ↑=0,02	17	Заготовка	160	200	943	-	1,2	44,6	43,4	-	-	Ø43,8 ^{+0,8} _{-0,4} Ø 40,7 _{-0,25} Ø 40,2 _{-0,062} - Ø 40,06 _{-0,025} Ø 40 _{-0,009} -0,025
	12	Точіння чорнове	40	40	56	200	0,25	40,738	40,488	4112	2647	
	9	Точіння чистове	20	20	3	12	0,062	40,214	40,152	586	274	
	-	ТО	-	-	3,6	-	-	-	-	-	-	
	7	Шліфування чорнове	10	15	0,2	0,3	0,025	40,066	40,041	173	86	
	6	Шліфування чистове	5	5	0	0	0,016	39,991	39,975	91	50	
							4,625-3,409=1,2+0,016 1,216=1,216		4,625	3,409		
Ø98d8 Ra=1,6 ↑=0,024	17	Заготовка					1,3	102,3	101,0	-	-	Ø101,4 ^{+0,9} _{-0,4} Ø 99 _{-0,35} Ø 98,1 _{-0,087} - Ø 98 _{-0,12} -0,174
	12	Точіння чорнове					0,35	99,017	98,667	3650	2000	
	9	Точіння чистове					0,087	98,167	98,08	937	500	
	-	ТО					-	-	-	-	-	
	8	Шліфування					0,054	97,88	97,826	341	200	
							4,491-3,137=1,3+0,054 1,354=1,354		4,491	3,137		

Результати розрахунку припусків та технологічних розмірів наведено в таблиці 3.4.

3.6 Розрахунок режимів різання

3.6.1 Операція 030 - токарна

Точіння виконуємо на токарному верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК) моделі Comak 320x500 SAM6. Операційний ескіз зображено на рис. 3.4. Операція складається з двох переходів: 1 – точіння зовнішнього діаметру та фаски; 2 – підрізання торця (і розточування вибірки та точіння фаски). В якості інструменту обираємо різець токарний прохідний T15K6 та різець токарний розточний T15K6.

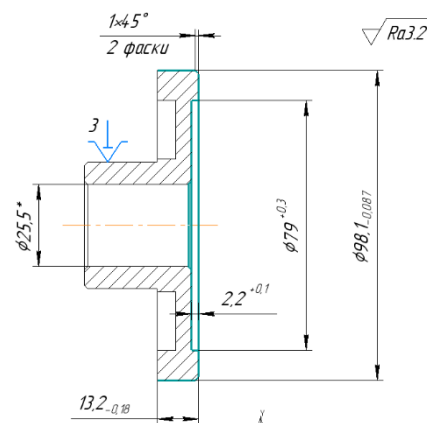


Рисунок 3.4 – Операційний ескіз деталі

Технічні характеристики верстата Comak 320x500 SAM6:

- а) діаметр обробки над станиною – 320 мм;
- б) діаметр обточування над супортом – 135 мм;
- в) довжина обробки – 500 мм;
- г) обороти шпинделя – 100...2500 об/хв;
- д) прохідний діаметр шпинделя – 32 мм;

- є) конус шпинделя – $mt5$;
- е) кількість інструментів – 4;
- ж) розмір інструменту – 16×16 мм;
- з) потужність двигуна – 2,2 кВт.

Розраховуємо режими різання для зовнішнього точіння.

Припуск на обробку – $a = Z_{\max}/2 = 0,937/2 = 0,46$ мм.

Глибина різання для зовнішнього точіння – $t = h/i = 0,46/2 = 0,23$ мм, де $i=2$ – кількість проходів. Для розточування вибірки $t=0,5$ мм та $i=5$.

Подача:

$$S = S^{\text{табл}} \cdot K_{S_n} \cdot K_{S_{\text{м}}} \cdot K_{S_3} \cdot K_{S_{\phi}} \cdot K_{S_{\text{ж}}} \cdot K_{S_{\text{м}}} \quad (3.25)$$

де S_{0T} – табличне значення подачі, $S_{0T} = 0,18$ мм/об [9];

K_{S_n} – коефіцієнт, враховуючий стан поверхні, $K_{S_n} = 1$ [14];

$K_{S_{\text{м}}}$ – коефіцієнт, враховуючий матеріал різця, $K_{S_{\text{м}}} = 0,85$ [14];

K_{S_3} – коефіцієнт, враховуючий форму поверхні, $K_{S_3} = 1,0$ [14];

$K_{S_{\phi}}$ – коефіцієнт, враховуючий припуск на обробку, $K_{S_{\phi}} = 1,0$ [14];

$K_{S_{\text{ж}}}$ – коефіцієнт, враховуючий жорсткість деталі, $K_{S_{\text{ж}}} = 0,7$ [14];

$K_{S_{\text{м}}}$ – коефіцієнт, враховуючий матеріал деталі, $K_{S_{\text{м}}} = 1,0$ [14].

$$S_p = 0,18 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Приймаємо $S=0,1$ мм/об за паспортом верстату.

Розраховуємо швидкість різання:

$$V_p = V_T \cdot K_{V_M} \cdot K_{V_{\text{И}}} \cdot K_{V_{\phi}} \cdot K_{V_T} \cdot K_{V_{\text{Ж}}} \cdot K_{V_{\text{П}}} \cdot K_{V_O} \quad (3.26)$$

де $V_m=241$ м/хв – табличне значення швидкості [14];

$K_{PI} = 0,86$ – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал [14];

$K_{CT} = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує стійкість фрези [14];

$K_{II} = 1,2$ – коефіцієнт, що залежить від виду обробки [14];

$K_C = 0,9$ – коефіцієнт, що залежить від використання змащувально-

охолоджувального технологічного середовища (ЗОТС) [14];

$K_L=1$ – коефіцієнт, що залежить від глибини різання [14].

$$V_p = 241 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 0,86 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 179 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (3.27)$$

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 179}{3,14 \cdot 98,1} = 581 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 179}{3,14 \cdot 79} = 721 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по верстату: $n_1=550$ об/хв, $n_2=700$ об/хв.

Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (3.28)$$

$$V_{d1} = \frac{3,14 \cdot 98,1 \cdot 550}{1000} = 169 \text{ м/хв}$$

$$V_{d2} = \frac{3,14 \cdot 79 \cdot 700}{1000} = 173 \text{ м/хв}$$

Розраховуємо основний машинний час:

$$t_o = \frac{(l+l_{вр}+l_{пер}) \cdot i}{S \cdot n}, \text{ хв} \quad (3.29)$$

де l – довжина різання, мм;

$l_{пер}$ – величина перебігу, мм;

$l_{вр}$ – величина врізання, мм;

i – кількість проходів.

$$t_o = \frac{2+9,5+13,2+1+2}{550 \cdot 0,1} \cdot 2 + \frac{(4+26,5+4) \cdot 4 + (4+1+26,5+4)}{700 \cdot 0,1} = 4,65 \text{ хв}$$

3.6.2 Операція 090 – шліфувальна

Шліфування зовнішньої поверхні виконуємо на круглошліфувальному верстаті моделі 3У10В. В якості інструменту використовуємо шліфувальне круг 1 250x20x76 15А 40Н СТ1 6 К8 А 50 м/с ГОСТ 2424-82 [10]. Операційний ескіз зображено на рис. 3.5.

Технічні характеристики верстата:

- 1) найбільший діаметр оброблюваної деталі – 100 мм;
- 2) найбільша довжина оброблюваної деталі – 160 мм;
- 3) частота обертання круга – 2800 об/хв;
- 4) частота обертання шпинделя (безступінчаста) – 85...1000 об/хв;
- 5) потужність – 1,1 кВт.

Припуск на обробку $Z_{\max}=0,091/2=0,045$ мм.

Глибина різання $t=0,025$ мм

Кількість проходів $i=Z_{\max}/t=0,045/0,025=1,8\approx 2$.

Подача повздовжня розраховуємо по формулі (3.25):

де S_{0T} – табличне значення подачі, $S_{0T} = 0,28$ мм/об [14];

K_D – коефіцієнт, враховуючий діаметр круга, $K_D=0,7$ [14];

K_R – коефіцієнт, враховуючий радіус галтелі, $K_R=0,8$ [14];

K_T – коефіцієнт, враховуючий стійкість круга, $K_T=1,0$ [14];

K_h – коефіцієнт, враховуючий припуск на обробку, $K_h=1,0$ [14];

K_{IT} – коефіцієнт, враховуючий квалітет виконання розміру, $K_{IT}=0,8$ [14];

K_M – коефіцієнт, враховуючий матеріал деталі, $K_M=1,0$ [14].

$$S_{\text{поп}} = 0,28 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,12 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S=0,1$ мм/об.

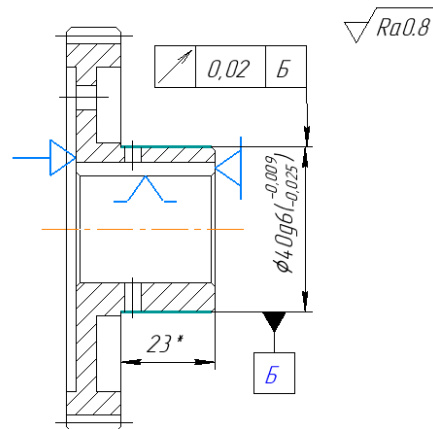


Рисунок 3.5 – Операційний ескіз

Табличне значення швидкості обертання деталі – $V_{ш.дет.} = 50$ м/хв [14]:

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

$$n_{дет.}^p = \frac{1000 \cdot V_{ш.дет.}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (3.30)$$

$$n_{дет.}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 40} = 398 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстату $n_{ш.кр.} = 2800$ об/хв, $n_{дет.} = 400$ об/хв.

Фактичну швидкість різання для деталі розраховуємо за формулою (3.28):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 400}{1000} = 50 \text{ м/хв}$$

Фактичну швидкість різання для круга розраховуємо за формулою:

$$V_{ш.кр.} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000 \cdot 60} \quad (3.31)$$

$$V_{ш.кр.} = \frac{3,14 \cdot 250 \cdot 2800}{1000 \cdot 60} = 37 \text{ м/с}$$

Визначаємо основний час:

$$t_0 = \frac{l_{\text{рез}} \cdot k \cdot i}{n_{\text{дет}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (3.32)$$

де k – коефіцієнт уточнення, $k=1,7$.

$l_{\text{рез}}$ – довжина шліфування, $k=1,7$.

$$t_0 = \frac{23 \cdot 1,7 \cdot 2}{400 \cdot 0,1} = 1,95 \text{ хв}$$

3.6.3 Операція 050 – зубофрезерна

Для фрезерування зубців на шестерні використовуємо зубофрезерний верстат з ЧПК моделі SH-410. Операційний ескіз зображено на рис. 3.6. В якості інструменту вибираємо черв'ячну фрезу $D=80$ мм, $L=100$ мм, $z=14$, $m=2$ мм по ГОСТ 9324-80 [15].

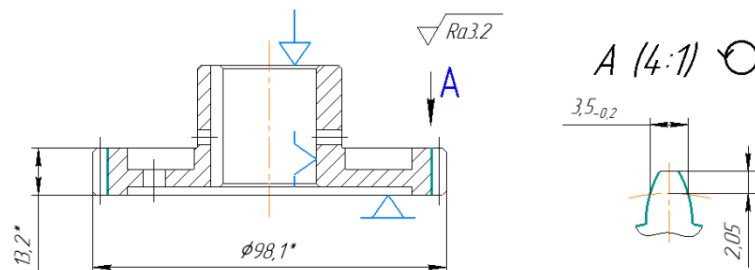


Рисунок 3.6 – Операційний ескіз

Технічні характеристики верстата:

- 1) найбільший діаметр деталі – 500 мм;
- 2) найбільший діаметр вінця деталі – 300 мм;
- 3) частота обертання фрези – 50...310 об/хв;
- 4) подача повздовжня – 0,8...5 мм/об;
- 5) подача тангенційна – 0,17...3,7 мм/хв;

б) подача радіальна – 0,27...1,67 мм/об;

7) потужність верстата – 7,5 кВт.

Розраховуємо подачу за формулами (3.25):

де S_T – табличне значення подачі, $S_T=0,6$ мм/об [14];

K_{HB} – коефіцієнт оброблюваного матеріалу, $K_{HB}=0,8$ [14];

$K_{ЗОТС}$ – коефіцієнт використання ЗОТС, $K_{ЗОТС}=1$ [14];

K_s – коефіцієнт подачі, $K_s=1$ [14];

K_{HP} – коефіцієнт точності фрези, $K_{HP}=0,9$ [14];

K_{PI} – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези, $K_{PI}=1$ [14].

$$S_p = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,56 \text{ мм/об}$$

Подачу приймаємо 0,5 мм/об за паспортом верстата.

Швидкість різання розраховуємо за формулою (3.26):

де V_m – табличне значення швидкості, $V_m=35$ м/хв [14];

K_{PI} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, $K_{PI}=1$ [14];

K_{CT} – коефіцієнт, що враховує стійкість фрези, $K_{CT}=0,9$ [14];

K_{II} – коефіцієнт, що залежить від виду обробки, $K_{II}=1$ [14];

K_C – коефіцієнт, що залежить від використання ЗОТС, $K_C=0,75$ [14];

K_L – коефіцієнт, що залежить від глибини різання, $K_L=1$ [14].

$$V_p = 35 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 = 23,6 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (3.27):

$$n = \frac{1000 \cdot 23,6}{3,14 \cdot 80} = 94 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_d=90$ об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (3.28):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 90}{1000} = 22,6 \text{ м/хв}$$

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{(b + L_{вр} + L_{пер}) \cdot Z}{S \cdot n \cdot K}, \text{ хв} \quad (3.33)$$

де b – ширина вінця, мм;

$L_{пер}$ – величина перебігу, мм;

$L_{вр}$ – величина врізання, мм.

K – кількість заходів фрези;

Z – кількість зубів колеса.

$$L_{вр} = \sqrt{t \cdot (D_{\phi} - t)}, \text{ мм} \quad (3.34)$$

де t – глибина западини зубців;

$$L_{вр} = \sqrt{4,4 \cdot (80 - 4,4)} = 18,2 \text{ мм}$$

$$L_{пер} = 3 \cdot m + tg(\beta - \omega) + 4, \text{ мм} \quad (3.35)$$

де ω – кут підйому витка фрези,

m – модуль, мм,

β – кут нахилу зубців.

$$L_{пер} = 3 \cdot 2 + tg(0 - 2) + 4 = 10 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{(18,2 + 13,2 + 10) \cdot 47}{0,5 \cdot 90 \cdot 1} = 43,2 \text{ хв}$$

3.6.4 Операція 045 – свердлильна

Для свердління трьох отворів обираємо фрезерний верстат з ЧПК моделі V1165. Операція складається з двох переходів: центрування та свердління трьох отворів. Для центрування отвору обираємо свердло центрувальне

діаметром 2 мм та для свердло спіральне діаметром 6 мм із швидкорізальної сталі Р6М5. Операційний ескіз зображено на рис. 3.7.

Технічні характеристики верстата:

- 1) Переміщення шпинделя X/Y/Z – 1100, 650, 600 мм;
- 2) Оберти шпинделя – 0...10000 об/хв;
- 3) Швидкість подачі – 0...10000 мм/хв;
- 4) Потужність електродвигуна – 11 кВт;

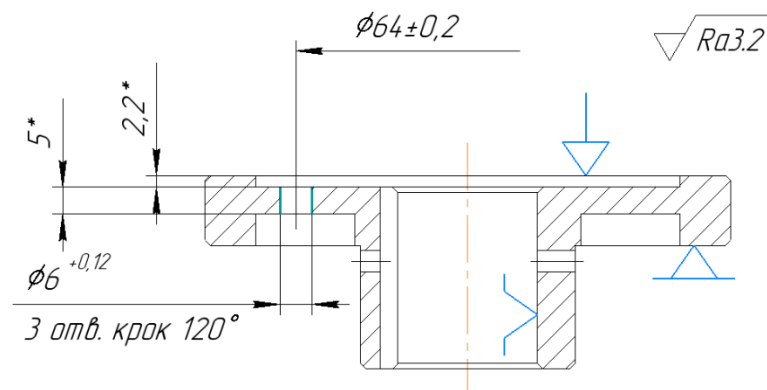


Рисунок 3.7 – Операційний ескіз

Глибина різання t , мм розраховується за формулою:

$$t = \frac{D_{\text{св}}}{2} \quad (3.36)$$

$$t_1 = \frac{2}{2} = 1 \text{ мм}$$

$$t_2 = \frac{6}{2} = 3 \text{ мм}$$

Подача розраховується за формулою (3.25):

де S_{0T} – табличне значення подачі, $S_{0T} = 0,15$ мм/об [14];

K_{SI} – коефіцієнт, що враховує матеріал свердла, $K_{SI} = 0,7$ [14];

K_{SZ} – коефіцієнт, що враховує заточку свердла, $K_{SZ} = 0,8$ [14];

K_{SI} – коефіцієнт, що враховує довжину свердла, $K_{SI} = 1$ [14];

K_{SM} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу, $K_{SM} = 0,6$ [14].

$$S_0 = 0,15 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,6 = 0,05 \text{ мм/об}$$

Розраховуємо швидкість різання (3.26):

де V_T – табличне значення швидкості різання, $V_T = 25,7$ м/хв [14];

K_{Vc} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, $K_{Vc} = 1$ [14];

K_{Vi} – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези, $K_{Vi} = 1$ [14];

K_{VT} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента, $K_{VT} = 0,8$ [14];

K_{Vj} – коефіцієнт, що враховує довжину свердла, $K_{Vj} = 1,0$ [14];

K_{Vo} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні, $K_{Vo} = 1,0$ [14];

$K_{Vж}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням, $K_{Vж} = 1,2$ [14].

$$V = 25,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 24,6 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (3.27):

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 24,6}{3,14 \cdot 2} = 3928 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 24,6}{3,14 \cdot 6} = 1305 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_{д1} = 3900$ об/хв, $n_{д2} = 1300$ об/хв..

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (3.28):

$$V_{д1} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 3900}{1000} = 24,4 \text{ м/хв}$$

$$V_{д2} = \frac{3,14 \cdot 6 \cdot 1300}{1000} = 24,4 \text{ м/хв}$$

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{l+l_2+l_1}{nS} \cdot n, \text{ хв} \quad (3.37)$$

де l – довжина свердління, мм;

l_2 – величина перебігу, мм;

l_1 – величина врізання, мм;

n – кількість отворів.

$$l_1 = \frac{D_{\text{св}}}{2tg60}, \text{ мм} \quad (3.38)$$

$$l_{11} = \frac{2}{2tg60} = 0,6 \text{ мм};$$

$$l_{12} = \frac{6}{2tg60} = 1,7 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{0,6+3+2}{0,05 \cdot 3900} \cdot 3 + \frac{1,7+5+2}{0,05 \cdot 1300} \cdot 3 = 0,52 \text{ хв.}$$

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

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку режимів різання

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
1	2	3	4	5	6	7
015 Токарна	01	1	2	0,2	150	500
	02	1	2	0,2	150	600
	03	5	1	0,1	25	2000
020Токарна	01	1	2	0,2	125	1150
	02	10	1	0,2	25	1500
025 Токарна	01	0,5	2	0,1	150	500
	02	0,5	2	0,1	150	700
	03	0,5	2	0,1	150	1200
030 Токарна	01	0,23	2	0,1	169	550

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7
	02	0,5	5	0,1	173	700
035 Протяжна	01	3,5	3	80	34	1800
040 Свердлильна	01	2	4	50	35	500
045 Свердлильна	01	1	3	0,1	24,4	3900
	02	2	3	0,1	24,4	1300
050 Зубофрезерна	01	4,4	47	0,5	22,6	90
075 Внутрішньошліфувальна	01	0,1	20	0,0025/0,2	40/45	10000/750
080 Круглошліфувальна	01	0,1	5	0,0025	40/48	2800/400
	02	0,1	5	0,0025	40/48	2800/400
	03	0,1	5	0,0025	40/48	2800/400
085 Внутрішньошліфувальна	01	0,015	20	0,0025/0,2	47/37	10000/750
090 Круглошліфувальна	01	0,025	2	0,1	37/50	2800/400
095 Зубошліфувальна	01	0,1	47	0,005	40/37	1272/400

3.7 Технічне нормування операцій

3.7.1 Технічне нормування операції 030

Допоміжний час:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{мд}} + t_{\text{контр}}, \quad (3.39)$$

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, де $t_{\text{вст}} = 0,5$ хв [16];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{мд}} = 0,3$ хв [16];

$t_{\text{контр}}$ – час на контроль деталі, хв.

$$t_{\text{контр}} = t_{\text{вим}} \cdot K_n, \quad (3.40)$$

де $t_{\text{вим}}$ – час на вимірювання, $t_{\text{вим}} = 0,2$ хв [16];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,5$ [16].

$$t_{\text{контр}} = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,5 + 0,3 + 0,1 = 0,9 \text{ хв}$$

Оперативний час:

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{доп}} \quad (3.41)$$

$$t_{\text{оп}} = 4,65 + 0,9 = 5,55 \text{ хв}$$

Додатковий час:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (3.42)$$

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [16].

$$t_{\text{дод}} = 5,55 \cdot 0,1 = 0,55 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (3.43)$$

$$t_{\text{шт}} = 5,55 + 0,55 = 6,1 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час:

$$t_{\text{пз}} = t_{\text{пз1}} + t_{\text{пз2}} \quad (3.44)$$

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здачу в кінці зміни, $t_{\text{пз1}} = 8 \text{ хв}$ [16];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, що не увійшли в комплекс вище, $t_{\text{пз2}} = 7 \text{ хв}$ [16]

$$t_{\text{пз}} = 8 + 7 = 15 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт-к}} = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{пз}}}{n} \quad (3.45)$$

$$t_{\text{шт-к}} = 6,1 + \frac{15}{60} = 6,35 \text{ хв}$$

3.7.2 Технічне нормування операції 090

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (3.39), (3.40):

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{вст}} = 0,4 \text{ хв}$ [16];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{мд}} = 0,5 \text{ хв}$ [16];

$t_{\text{вим}}$ – час на вимірювання, $t_{\text{вим}} = 0,1 \text{ хв}$ [16];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 1$ [16].

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

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

Оперативний час розраховується за формулою (3.41):

$$t_{\text{оп}} = 1,95 + 1 = 2,95 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (3.42):

де $\alpha = 10\%$ – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [16].

$$t_{\text{дод}} = 2,95 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (3.43):

$$t_{шт} = 2,95 + 0,3 = 3,25 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (3.44):

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{пз1} = 12$ хв [16];

$t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс, $t_{пз2} = 13$ хв [16];

$t_{пз3}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{пз3} = 5$ хв [16].

$$t_{пз} = 12 + 13 + 5 = 30 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (3.45):

$$t_{шт-к} = 3,25 + \frac{30}{60} = 3,75 \text{ хв}$$

3.7.3 Технічне нормування операції 050

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (3.39), (3.40):
де $t_{вст}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{вст} = 0,4$ хв [16];

$t_{мд}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{мд} = 0,3$ хв [16];

$t_{вим}$ – час на вимірювання, $t_{вим} = 0,2$ хв [16];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,5$ [16].

$$t_{контр} = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ хв}$$

$$t_{доп} = 0,4 + 0,3 + 0,1 = 0,8 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (3.41):

$$t_{оп} = 43,2 + 0,8 = 44 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (3.42):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [16].

$$t_{дод} = 44 \cdot 0,1 = 4,4 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (3.43):

$$t_{шт} = 4,4 + 44 = 48,4 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (3.44):

де $t_{пз1} = 12$ хв – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни [16];

$t_{пз2} = 13$ хв – час на додаткові прийоми, що не увійшли в комплекс [16];

$t_{пз3} = 2$ хв – час на пробну обробку деталі [16].

$$t_{пз} = 12 + 13 + 2 = 27 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (3.45):

$$t_{шт-к} = 48,4 + \frac{27}{60} = 48,85 \text{ хв}$$

3.7.4 Технічне нормування операції 045

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (3.39), (3.40):

де $t_{вст}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{вст} = 0,3$ хв [16];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{мд}} = 0,2$ хв [16];

$t_{\text{вим}}$ – час на вимірювання, $t_{\text{вим}} = 0,2$ хв [16];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,5$ [16].

$$t_{\text{контр}} = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ хв}$$

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

Оперативний час розраховується за формулою (3.41):

$$t_{\text{оп}} = 0,52 + 0,6 = 1,12 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (3.42):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [16].

$$t_{\text{дод}} = 1,12 \cdot 0,1 = 0,11 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (3.43):

$$t_{\text{шт}} = 1,12 + 0,11 = 1,23 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (3.44):

де $t_{\text{пз1}} = 12$ хв – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни [16];

$t_{\text{пз2}} = 13$ хв – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс [16];

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

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (3.45):

$$t_{\text{шт-к}} = 1,23 + \frac{25}{60} = 1,65 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_0 , хв	$t_{\text{доп}}$, хв	$t_{\text{дод}}$, хв	$t_{\text{шт}}$, хв	$t_{\text{пз}}$, хв	$t_{\text{шт-к}}$, хв
015 Токарна	15	0,9	1,59	17,49	15	17,74
020 Токарна	12	0,9	1,29	14,19	15	14,44
025 Токарна	10	0,9	1,09	11,99	15	12,24
030 Токарна	4,65	0,9	0,55	6,10	15	6,35
035 Протяжна	3	1,2	0,42	4,62	20	4,95
040 Свердлильна	2,5	0,6	0,31	3,41	25	3,83
045 Свердлильна	0,52	0,6	0,11	1,23	25	1,65
050 Зубофрезерна	43,2	0,8	4,40	48,40	27	48,85
075 Внутрішньошліфувальна	2,5	1	0,35	3,85	30	4,35
080 Круглошліфувальна	3,5	1	0,45	4,95	30	5,45
085 Внутрішньошліфувальна	1,5	1	0,25	2,75	30	3,25
090 Круглошліфувальна	1,95	1	0,30	3,25	30	3,75
095 Зубошліфувальна	25	1,5	2,65	29,15	27	29,60

3.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

3.8.1 Операція токарна 030

Продуктивність виробничого процесу загалом можливо підвищувати за рахунок використання сучасних комп'ютерних пакетів на етапі підготовки виробництва – щодо верстатів з ЧПК – це отримання керуючих програм (КП) за допомогою САПР. Для токарної операції №030 з ЧПК (ескіз див. рис. 3.4, режими різання – п. 3.6.1), яка включає підрізку торцю, точіння зовні, точіння виборки, точіння двох фасок, розроблюємо керуючу програму в програмному

забезпечені NX CAM. Спочатку було об'єднано 3D-моделі деталі до і після обробки на даній операції (рис. 3.8). Це дає можливість виділити, як різницю між цими моделями, – шар металу, який необхідно видалити на цій операції, а також на симуляції покаже, якщо якусь частину припуску не було знято.

Далі було обрано в програмі (рис. 3.9) необхідний інструмент для всіх переходів даної операції.

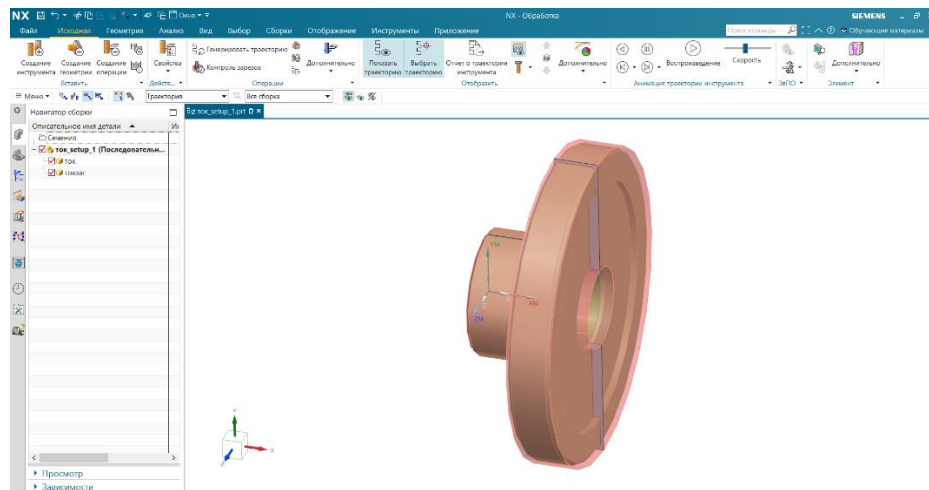


Рисунок 3.8 – Поєднання 3D-моделей деталі до і після обробки на оп. 030

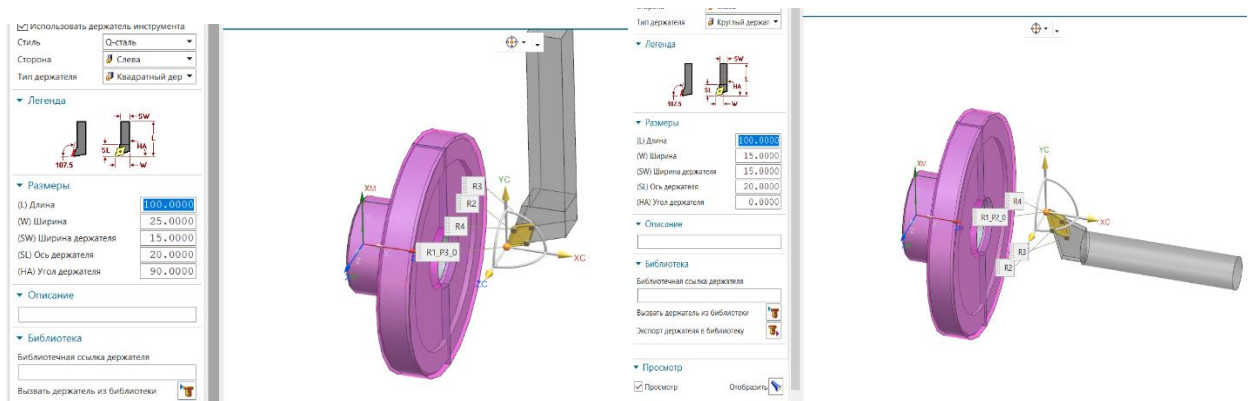


Рисунок 3.9 – Вибір інструментів з визначеними параметрами

Після цього було покроково створено переходи обробки. Визначено положення системи координат, задано режими різання (призначені в п.3.6.1) та автоматично згенеровано траєкторії (рис. 3.11).

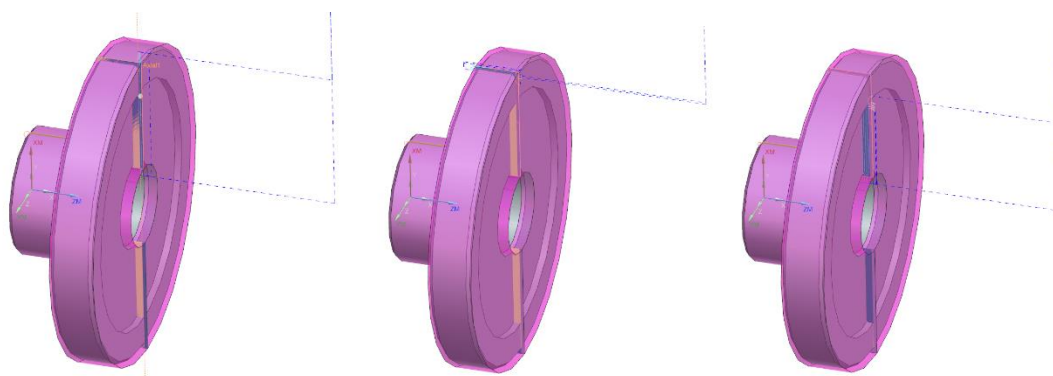


Рисунок 3.10 – Траєкторії обробки

Після перевірки траєкторій була проведена симуляція процесу оброблення (рис. 3.11).

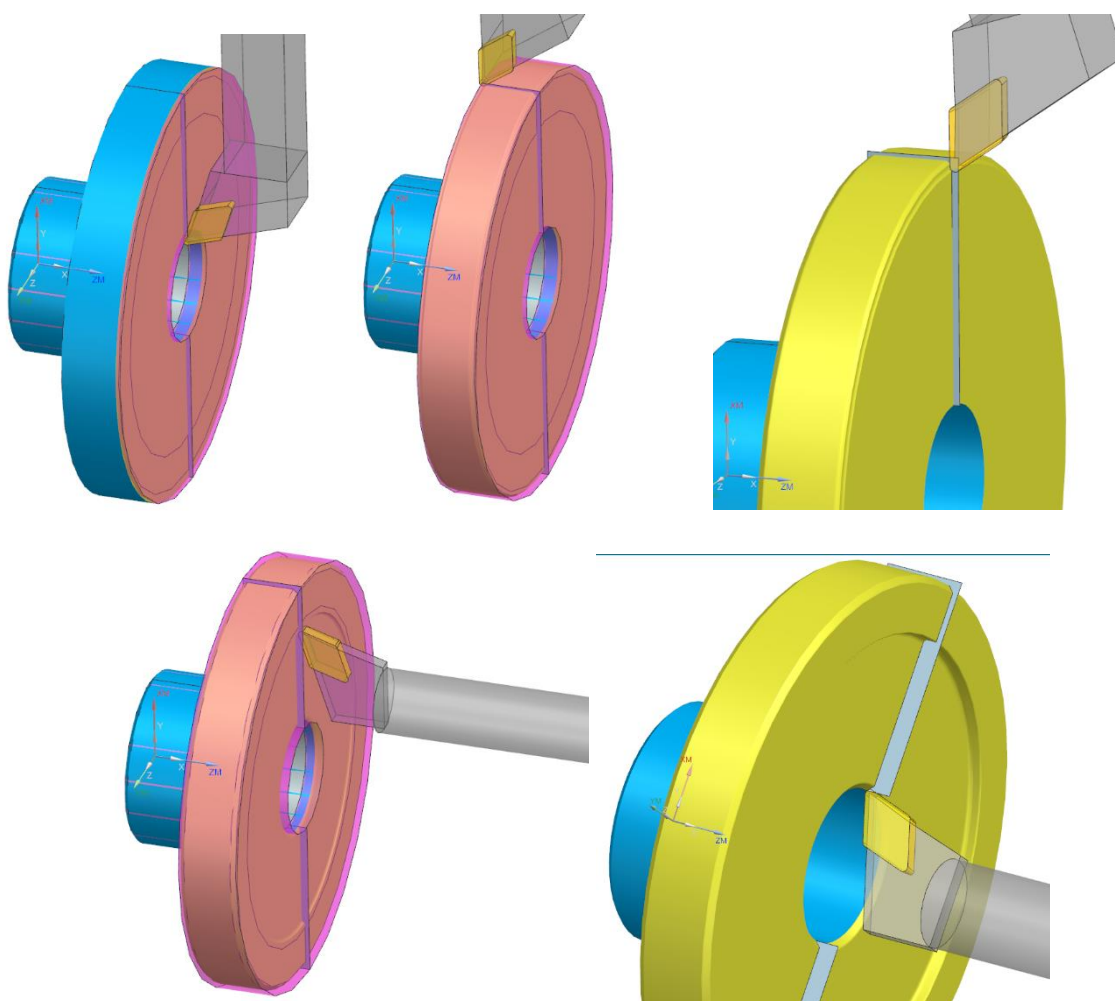


Рисунок 3.11 – Проведення симуляції за переходами

Результат розробки керуючої програми операції з ЧПК в модулі NX CAM наведено покроково в графічній частині дипломного проєкту.

3.8.2 Операція свердлильна 045

Для свердлильної операції №045 з ЧПК (операційна технологія на цю операцію розраховано в п. 6.3.4, ескіз показано на рисунку 3.7), яка включає центрування та свердління трьох отворів, розроблюємо КП в програмному забезпеченні NX CAM.

Також спочатку було об'єднано 3D-моделі деталі до і після обробки на даній операції (рис. 3.12) для розуміння припусків, які необхідно видалити на цій операції.

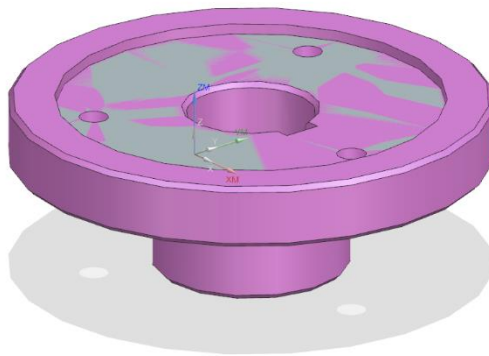


Рисунок 3.12 – Поєднання 3D-моделей деталі до і після обробки на оп. 045

Далі було обрано в програмі (рис. 3.13) необхідні інструменти для двох переходів даної операції. Для центрування отвору обираємо свердло центральне діаметром 2 мм та для свердло спіральне діаметром 6 мм із швидкорізальної сталі P6M5.

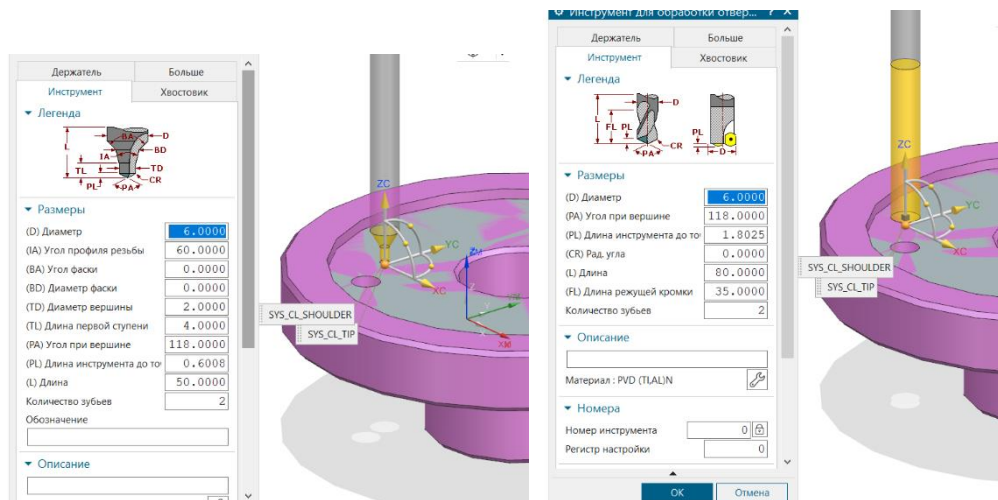


Рисунок 3.13 – Вибір інструментів з визначеними параметрами

Після цього було створено переходи обробки: центрування та свердління трьох отворів. Визначено положення системи координат, задано режими різання та автоматично згенеровано траєкторії (рис. 3.14) з урахуванням площин безпеки; також для центрування враховано довжину врізання, для свердлення наскрізних отворів – довжину врізання і перебігу.

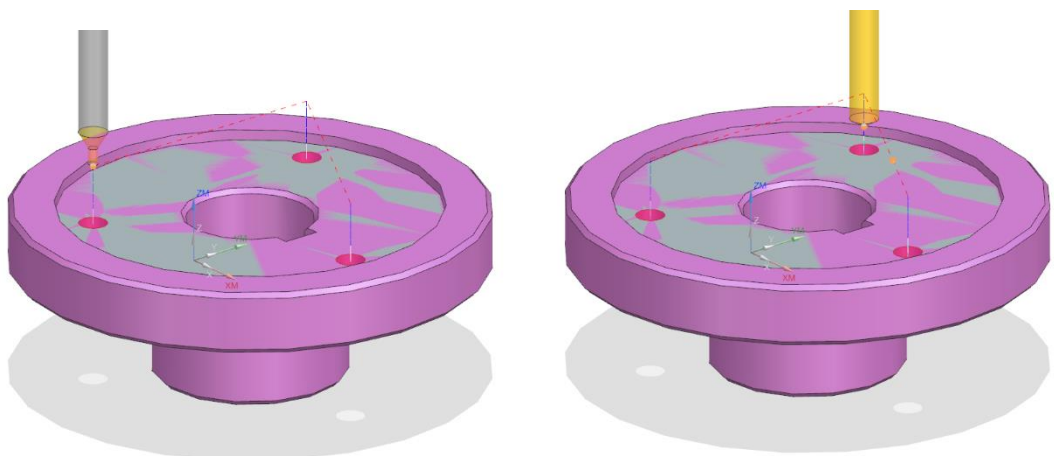


Рисунок 3.14 – Траєкторії обробки

Після перевірки траєкторій була проведена симуляція процесу оброблення (рис. 3.15), яка показала безпечність проходу інструментів через кільцевий бортик.

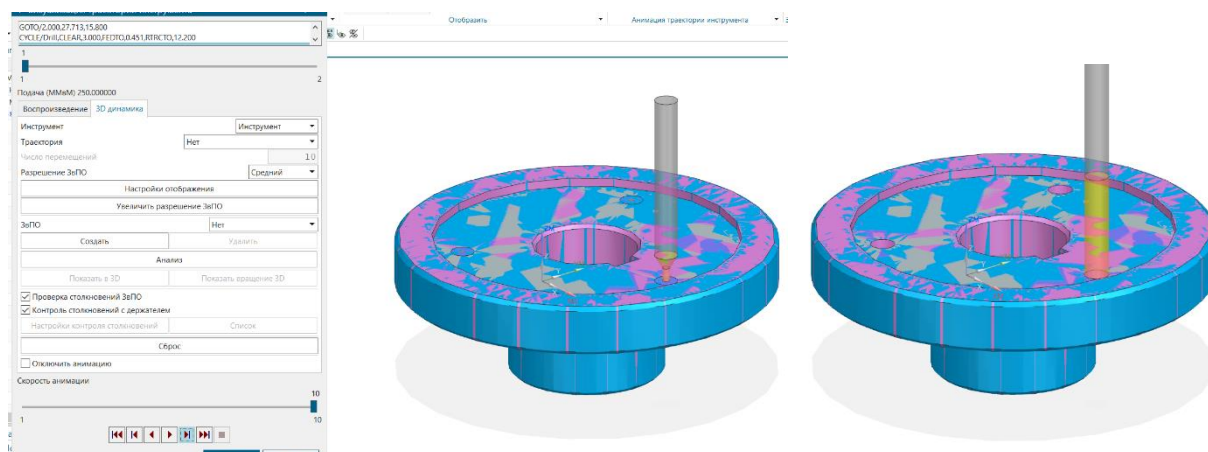


Рисунок 3.15 – Симуляція

Результат покрокової розробки керуючої програми операції з ЧПК в модулі NX CAM наведено на форматі А1 графічної частини магістерської роботи.

3.8.3 Операція свердлильна 040

Для свердлильної операції №040 з ЧПК, яка включає центрування та свердління чотирьох отворів, розроблюємо КП в програмному забезпеченні NX CAM. Спочатку було об'єднано 3D-моделі деталі до і після обробки на даній операції (рис. 3.16).

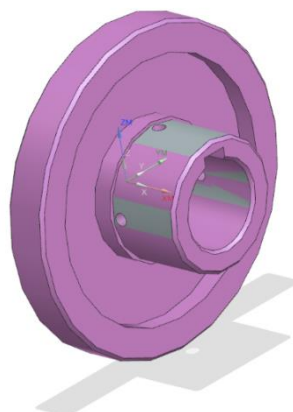


Рисунок 3.16 – Поєднання 3D-моделей деталі до і після обробки на оп. 040

Далі було обрано в програмі (рис. 3.17) необхідний інструмент для всіх переходів даної операції.

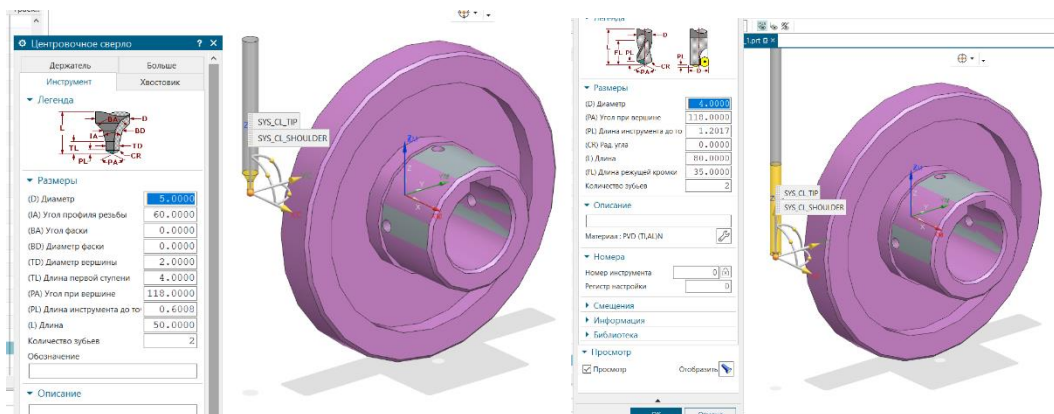


Рисунок 3.17 – Вибір інструментів з визначеними параметрами

Після цього було створено переходи обробки: центрування та свердління отворів. Визначено положення системи координат, задані режими різання та згенеровано траєкторії (рис. 3.18).

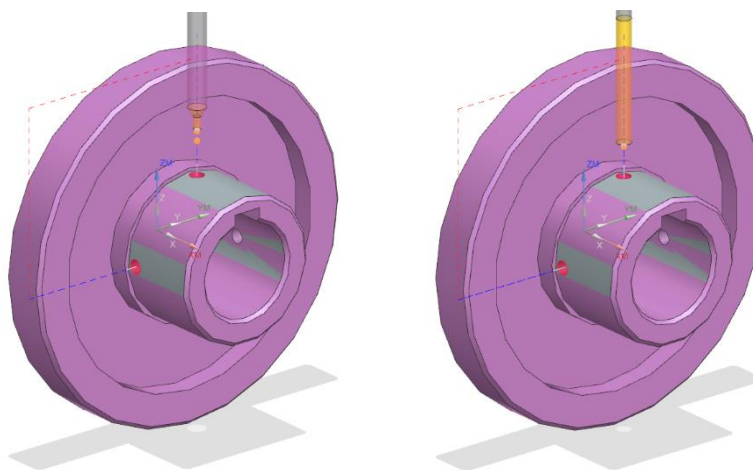


Рисунок 3.18 – Траєкторії обробки

Після перевірки траєкторій була проведена симуляція процесу оброблення (рис. 3.19).

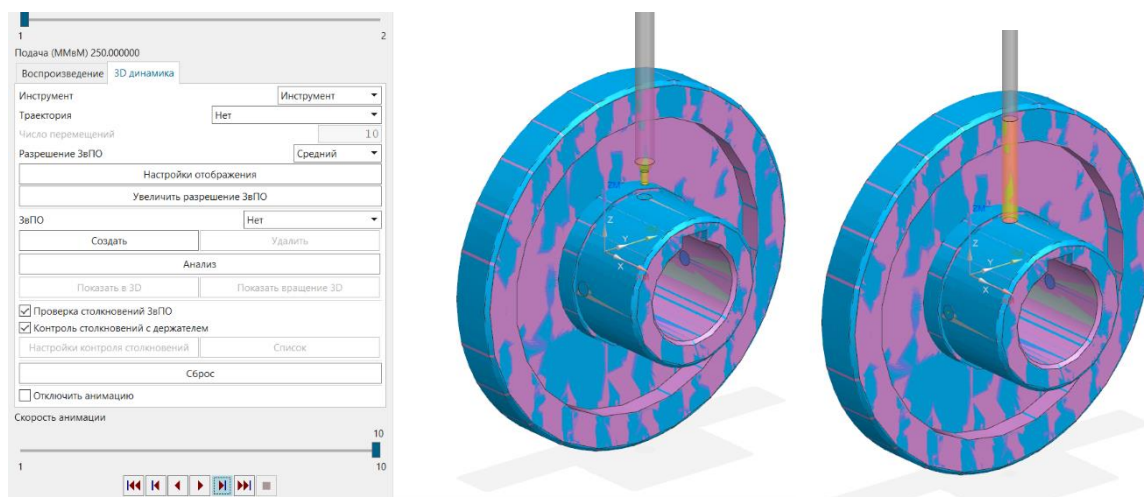


Рисунок 3.19 – Симуляція

Результат розробки керуючої програми операції з ЧПК в модулі NX CAM наведено в графічній частині проекту.

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Проектування та розрахунок робочого пристосування

4.1.1 Опис конструкції та принципу роботи пристрою

Даний пристрій (рис. 4.1) призначений для закріплення при зубофрезуванні деталей типу «шестерня». Заготовка, що обробляється, встановлюється на оправку 9. Пневмоциліндр, встановлений у корпусі, при зворотно-поступальному пересуванні за допомогою штока 3 тисне на шайбу 13, яка, у свою чергу, притискає деталь. Після закінчення обробки шток 3 пневмациліндра переміщається вгору і відпускає шайбу 13 та звільняє оброблену деталь.

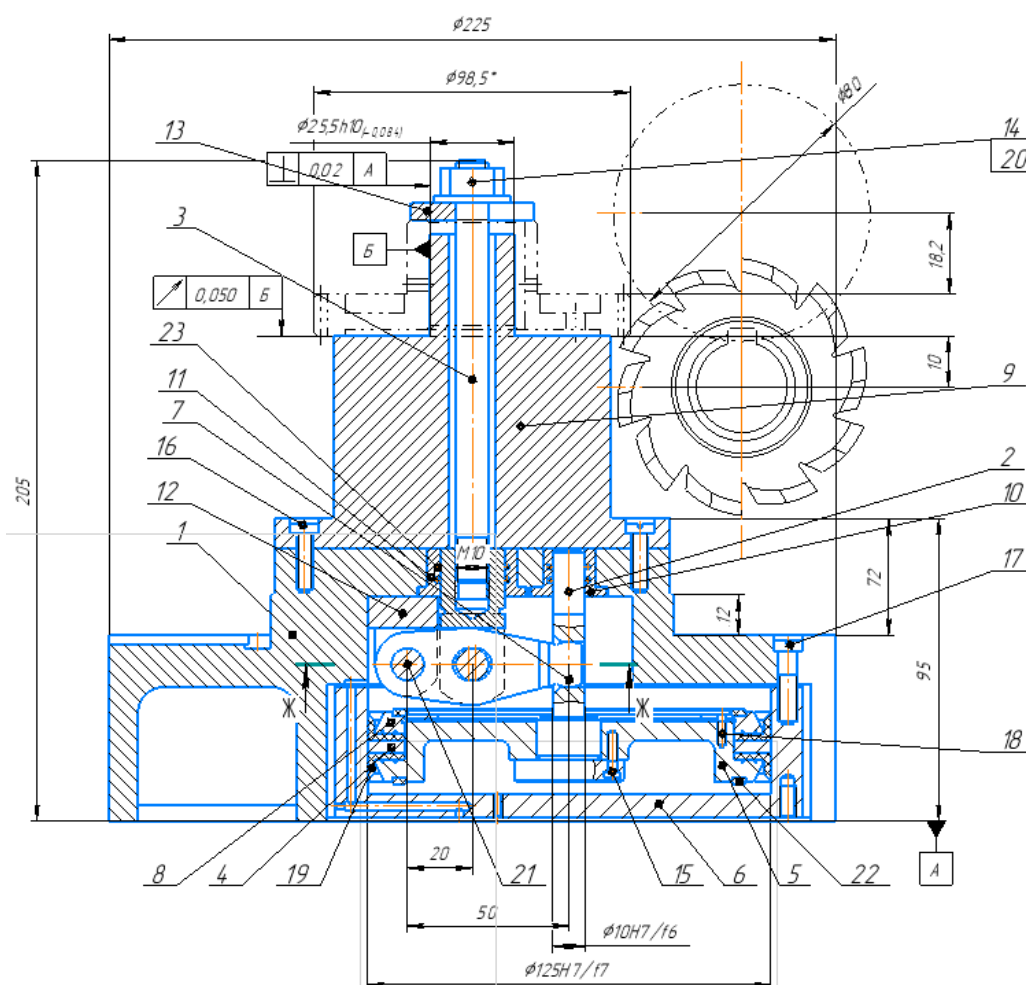


Рисунок 4.1 – Робоче пристосування

4.1.2 Обґрунтування способу базування

Похибка встановлення, як одна із складових загальної похибки виконавчого розміру, підсумовується з похибок базування, закріплення [16]:

$$\varepsilon_B = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} \quad (4.1)$$

Деталь встановлюється на оправку по розміру $\varnothing 25,5H10/h9$. Похибка базування дорівнює максимальному зазору в з'єднанні $\varepsilon_{\text{баз}}=S_{\text{max}}=0,136$ мм. Похибка закріплення дорівнює нулю $\varepsilon_{\text{закр}}=0$, тому що сила закріплення перпендикулярна розміру на обробку.

Похибка встановлення:

$$\varepsilon_y = \sqrt{0,136^2 + 0^2} = 0,136 \text{ мм}$$

4.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску деталі

Ефективність затискання деталі залежить від напрямку та місця застосування сили. Вихідною величиною для розрахунків сили затиску є сумарний момент різання $M_{\text{різ}}$, що діє на деталь в процесі обробки.

Момент різання:

$$M_{\text{різ}} = P_z \cdot l \quad (4.2)$$

де P_z – сила різання.

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^n z_\phi}{D_\phi^q n^w} K_{mp}; \quad (4.3)$$

де x, y, q, w, n, C_p – коефіцієнти, $x=0,86, y=0,72, q=0,86, w=0, n=1, C_p=68,2$ [17]

K_{mp} – поправочний коефіцієнт матеріалу.

B – ширина фрезерування, $B=12,56$ мм.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_6}{750} \right)^{0,3}; \quad (4.4)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{650}{750} \right)^{0,3} = 0,95$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 9^{0,86} \cdot 0,06^{0,72} \cdot 12,56^{1,9}}{80^{0,86} \cdot 105^0} \cdot 0,95 = 1488,1 \text{ Н};$$

$$M_{різ} = 1488,1 \cdot 0,02413 = 35,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Статична сила затиску [17]:

$$W_{CT} = \frac{3M_p(D^2 - d^2)}{f(D_1^3 - d_1^3)} \quad (4.5)$$

де D, d, D_1, d_1 – конструктивні розміри.

$$W_{CT} = \frac{3 \cdot 35,9 \cdot (0,038^2 - 0,0255^2)}{0,15(0,086^3 - 0,079^3)} = 4334,4 \text{ Н}$$

Дійсна сила затиску [17]:

$$W_g = k \cdot W_{CT} \quad (4.6)$$

де k – коефіцієнт запасу закріплення.

$$k = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (4.7)$$

де K_0 – гарантований коефіцієнт запасу, $K_0=0,5$ [17].

K_1 – враховує зміни (коливання) сил різання у процесі обробки через нерівномірність припусків, $K_1=1,2$ [17];

K_3 – коефіцієнт залежить від виду обробки, що обробляє матеріалу, $K_3=1$ [17];

K_4 – характеризує затискний пристрій з погляду постійності сил затиску, $K_4=1$ [17];

K_5 – характеризує ручні затискачі з погляду зручності закріплення деталі, $K_5=1$ [17];

K_6 – враховується, коли розрахунок сил затиску виробляється з урахуванням моментів різання залежить від виду опорної поверхні, $K_6=1$ [17].

$$k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,16$$

$$W_g = 4334,4 \cdot 2,16 = 9362,5 \text{ Н}$$

Сила на поршні:

$$Q = W_g \cdot l / L \quad (4.8)$$

де l – плече застосування сили, $l = 0,02\text{м}$;

L – плече застосування сили, $L = 0,05\text{м}$.

$$Q = 9362,5 \cdot 0,02 / 0,05 = 3745 \text{ Н}$$

Визначаємо діаметр пневмоциліндра [17]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P \cdot \eta}} \quad (4.9)$$

де P – тиск стисненого повітря, $p = 0,4 \text{ МПа}$ [17],

η – коефіцієнт корисної дії (ККД), що враховує втрати на тертя, $\eta = 0,85$ [17].

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3745}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,85}} = 122 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр пневмациліндра 125 мм

4.2 Проектування контрольного пристосування

4.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Під час контролю перевіряють радіальне биття 0,024 мм зовнішнього діаметру $\varnothing 98$ відносно отвору $\varnothing 26$. Пристосування (рис. 4.2) являє собою корпус 5 із встановленою на ньому центрами 1, 2, в які встановлюється деталь.

Вимірювання биття проводиться індикаторним годинником, який кріпиться на штанзі 3. Штанга 3 розташована збоку від деталі та прикріплена до корпусу 5 пристосування трьома стяжними болтами 7. Вона також має можливість повороту навколо осі на 360 градусів. А також є можливість перезакріплення штанги 3 з індикаторним годинником на необхідний діаметр. Дані особливості пристрою дозволяють легко здійснювати його переналадження.

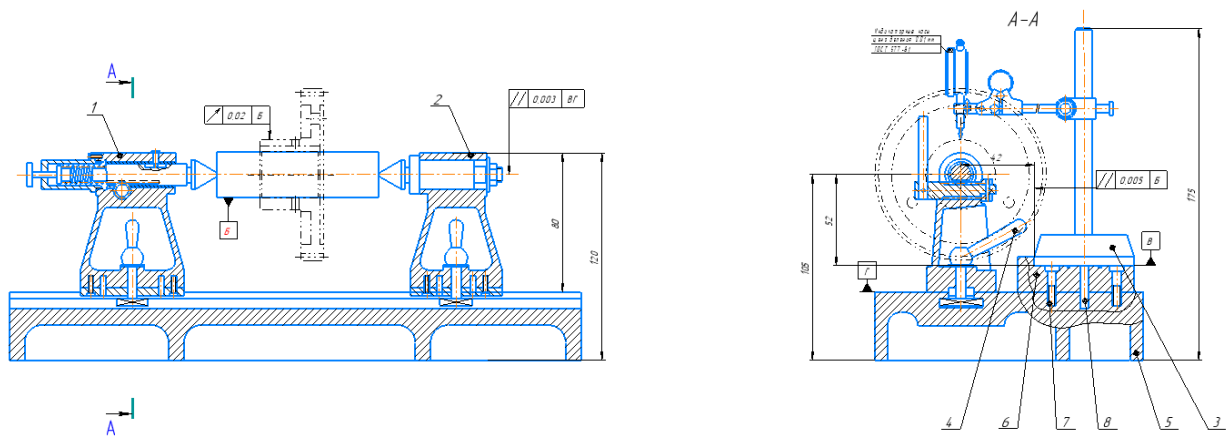


Рисунок 4.2 – Контрольне пристосування

4.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність

Допустиму сумарну похибку вимірювання визначають за формулою:

$$\varepsilon_{\text{изм}} = \varepsilon_{\text{иу}} + \varepsilon_{\text{ип}} + \varepsilon_{\text{им}} + \sqrt{\varepsilon_{\text{нб}}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{ис}}^2 + \varepsilon_{\text{зп}}^2 + \varepsilon_{\text{си}}^2 + \varepsilon_{\text{др}}^2} \quad (4.10)$$

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

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

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

$\varepsilon_{iy}=0,0015\text{мм}$ – частка похибки конструкції пристосування [17];

$\varepsilon_{зп}=0,006\text{мм}$ – похибка, що виникає через зазори між осями важелів передавальних пристроїв за їх наявності [17];

$\varepsilon_{си}=0,001\text{мм}$ – похибка засобу вимірювання [17];

$\varepsilon_{др}=0,0015\text{мм}$ – похибка, викликана дією випадкових факторів [17].

$$\varepsilon_{ип}=\Delta_{рд}+\Delta_{ру}+\Delta_{рн}+\Delta_{рк}+\Delta_{ра} \quad (4.11)$$

$\Delta_{рд}=0$ – похибка від неточності виготовлення довжин плечей важелів [17];

$\Delta_{ру}=0$ – похибка від неточності виготовлення кута плечей важелів [17];

$\Delta_{рн}=0$ – похибка від непропорційного переміщення плечей важелів [17];

$\Delta_{рк}=0$ – похибка від зміщення точки контакту важелів [17];

$\Delta_{рп}$ – похибка прямої передачі [17].

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

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

$$\varepsilon_{изм} = 0,008\text{мм} \leq [\varepsilon_{изм}] = 0,02\text{мм}$$

Умова придатності виконується, пристосування можна використовувати для контролю діаметру.

5 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

Під час роботи шестерня через зубці передає крутний момент. В повному зубчастому зачепленні завжди перебуває тільки один зуб. Один зуб при цьому входить в зачеплення, і ще один виходить. Так як зубчасте зачеплення прямозубе, то на зуб діє дві сили: тангенційна та радіальна. Розрахунок на міцність шестерні проводимо за допомогою програми Siemens.NX. Через те, що кутове розташування 3-х отворів і шпонкового пазу доволіне, для розрахунку виберемо найбільш несприятливий варіант, коли один з отворів і паз знаходяться на одній лінії, і навантажимо найближчу до них частину зубчастого вінця. Допустимий коефіцієнт запасу міцності по напруженням не менше 1,5. Спочатку будемо 3D-модель шестерні та розбиваємо її на сітку кінцевих елементів (рис. 5.1).

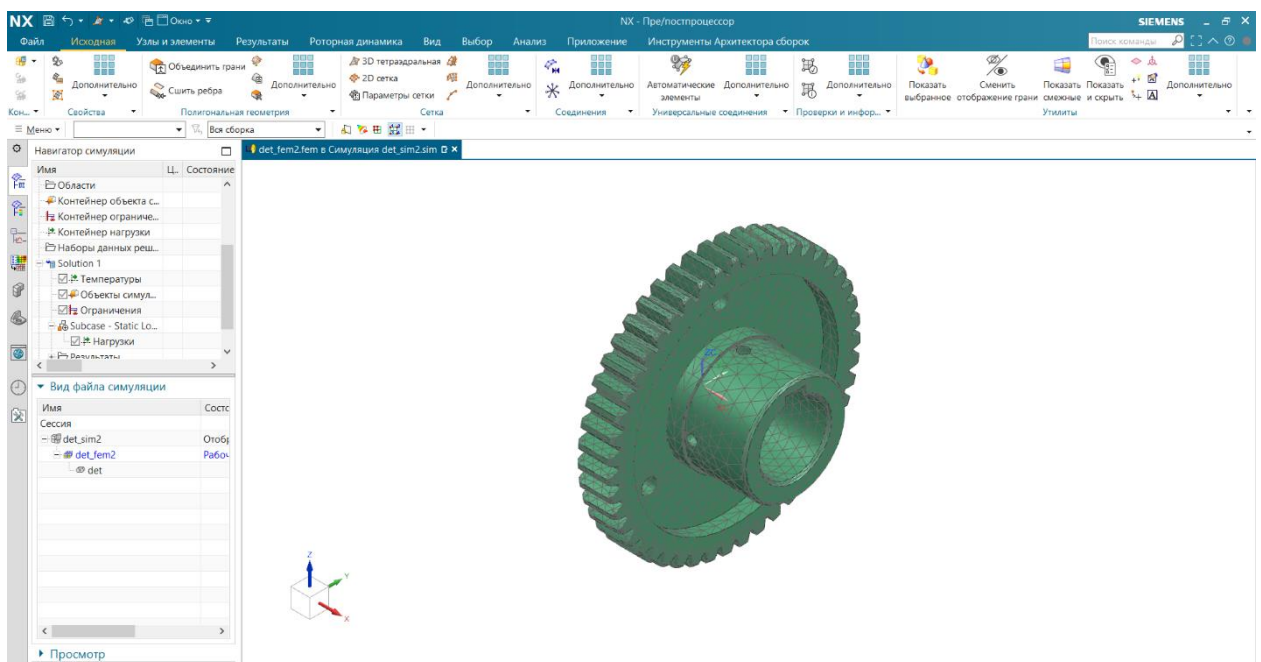


Рисунок 5.1 – 3D-модель шестерні з сіткою кінцевих елементів

Прикладаємо до зуба тангенційну силу, рівну 400 Н, та радіальну силу рівну 1000 Н. По шпонковому пазу закріплюємо шестерню (рис. 5.2).

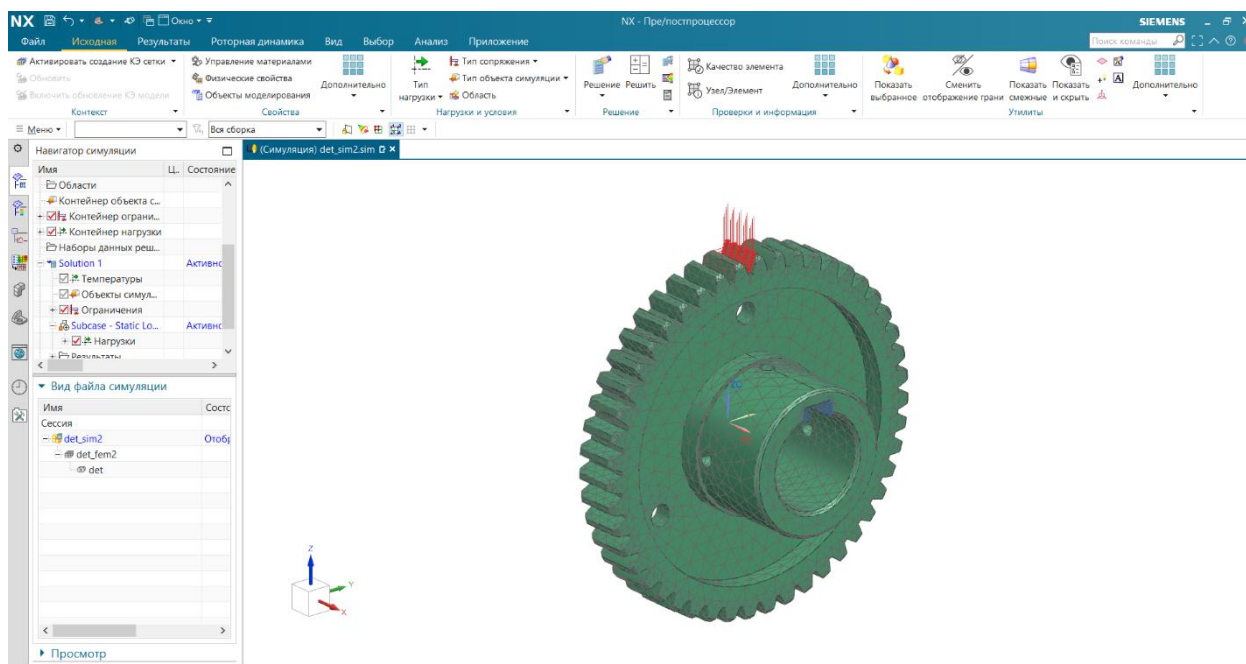


Рисунок 5.2 – Модель з накладеними обмеженнями

Після проведення розрахунку напружено-деформованого стану шестерні за допомогою програмного забезпечення Siemens.NX було отримано розподіл напружень (рис. 5.3). Максимальне напруження виникає у основі зуба та в кутах шпонкового пазу, дорівнює 501,63 МПа.

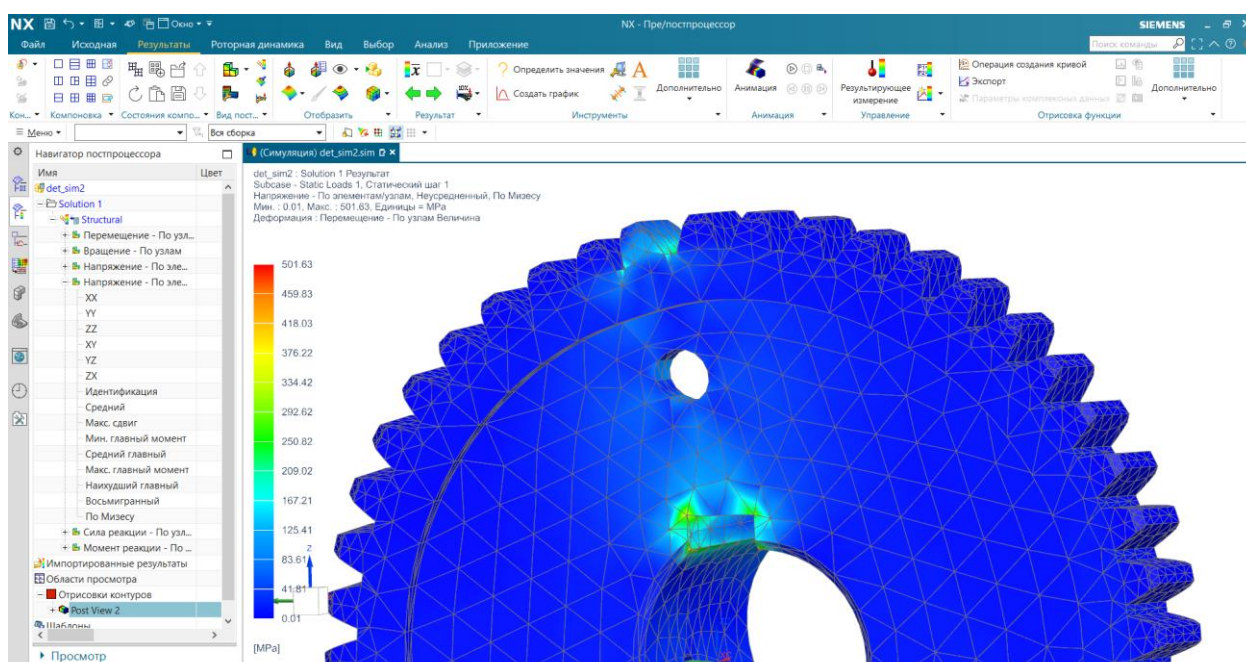


Рисунок 5.3 – Розподіл напружень

Перевірку міцності шестерні проводимо по коефіцієнту запасу міцності за наступною формулою:

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

де $[\sigma]$ – допустиме значення границі плинності для сталі 40Х, $[\sigma]=785$ МПа [10];

σ_{max} – максимальне напруження згідно комп'ютерного розрахунку.

$$k = \frac{785}{501,63} = 1,56$$

Так як коефіцієнт запасу міцності дорівнює 1,56 та більший ніж рекомендоване значення 1,5, то обраний варіант конструкції шестерні відповідає діючим навантаженням.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

Для оцінки очікуваної економічної ефективності заходів при підвищенні продуктивності обробки шестерні за рахунок використання сучасних верстатів з ЧПК було вдосконалено обробку на універсальних токарно-гвинторізних верстатах обробкою токарними верстатами з ЧПК (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунку

Розрахункові параметри	Базова технологія					Нова технологія			
	1М63М	1М63М	1М63М	1М63М	1М63М	Cormak 320x500	Cormak 320x500	Cormak 320x500	Cormak 320x500
Штучний час $t_{шт}$, хв	21,2	31,4	18,5	16,7	13,4	17,49	14,19	11,99	6,1
Розряд верстатника	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	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
Оптова ціна верстата F , грн	252000					780990			
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань N_a , %	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	12,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів N , кВт	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	2,2	2,2	2,2	2,2

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників по формулі [18]:

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_б \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (6.1)$$

де m_{on} – кількість операцій у технологічному процесі (ТП);

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

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

$K_б$ – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатостатному обслуговуванні, $K_б=0,39$;

$k_{доп}$ – 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.

Таблиця 6.2 – Заробітна плата верстатника за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
010	Токарна	21,2	76,6	1,2	1,4	45,47
015	Токарна	31,4	76,6	1,2	1,4	67,35
020	Токарна	18,5	76,6	1,2	1,4	39,68
025	Токарна	16,7	76,6	1,2	1,4	35,82
030	Токарна	13,4	76,6	1,2	1,4	28,74
					Σ	217,05

Таблиця 6.3 – Заробітна плата верстатника за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
015	Токарна	17,49	57,5	1,2	1,4	28,16
020	Токарна	14,19	57,5	1,2	1,4	22,85
025	Токарна	11,99	57,5	1,2	1,4	19,30
030	Токарна	6,1	57,5	1,2	1,4	9,82
					Σ	80,13

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою [18]:

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

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_{on} – кількість операцій у технологічному процесі.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	Φ_p , год	$C_{тар}$, грн	$Ч_n$	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$З_o$, грн
015	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
020	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
025	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
030	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
						Σ	40,64

Визначимо амортизацію на обладнання за формулою [18]:

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

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 [18]:

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

де $Ц_{інij}$ – 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 базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
010	Токарна	21,2	252000	14,2	4015	3,15
015	Токарна	31,4	252000	14,2	4015	4,66
020	Токарна	18,5	252000	14,2	4015	2,75
025	Токарна	16,7	252000	14,2	4015	2,48
030	Токарна	13,4	252000	14,2	4015	1,99
					Σ	15,03

Таблиця 6.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
015	Токарна	17,49	780990	12,2	4015	6,92
020	Токарна	14,19	780990	12,2	4015	5,61
025	Токарна	11,99	780990	12,2	4015	4,74
030	Токарна	6,1	780990	12,2	4015	2,41
					Σ	19,69

Визначимо витрати на електроенергію за формулою [18]:

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

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_q – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом (для верстатів з ЧПК – 0,7, для решти обладнання – 0,6);

$k_{од}$ – 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 базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	C_e грн	N_e кВт	k_N	k_q	$k_{од}$	k_w	η_e	k_B	S_e , грн
010	Токарна	21,2	3,45	18,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	7,09
015	Токарна	31,4	3,45	18,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	10,49
020	Токарна	18,5	3,45	18,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	6,18
025	Токарна	16,7	3,45	18,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	5,58
030	Токарна	13,4	3,45	18,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,48
										Σ	33,82

Таблиця 6.10 – Витрати на електроенергію за новою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Ц _е грн	N _е кВт	k _N	k _ч	k _{од}	k _w	η _е	k _B	S _е , грн
015	Токарна	17,49	3,45	2,2	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	1,71
020	Токарна	14,19	3,45	2,2	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	1,39
025	Токарна	11,99	3,45	2,2	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	1,17
030	Токарна	6,1	3,45	2,2	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	0,60
										Σ	4,87

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою [18]:

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

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 базовою технологією

№ опер	Найменування операції	C _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
010	Токарна	252000	0,02	0,64	0,65
015	Токарна	252000	0,02	0,64	0,65
020	Токарна	252000	0,02	0,64	0,65
025	Токарна	252000	0,02	0,64	0,65
030	Токарна	252000	0,02	0,64	0,65
				Σ	3,23

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

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	К _р	С _р	S _р , грн
015	Токарна	780990	0,02	0,78	2,44
020	Токарна	780990	0,02	0,78	2,44
025	Токарна	780990	0,02	0,78	2,44
030	Токарна	780990	0,02	0,78	2,44
				Σ	9,75

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули [18]:

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

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 підріз.	17,49	50,9	6	4	0,9	120	4	0,06
		Різець канав.		50,9	6	4	0,9	120	4	0,04
		Свердло		50,9	6	4	0,9	120	4	0,05
020	Токарна	Різець підр.	14,19	50,9	6	4	0,9	120	4	0,06
		Різець прохід.		50,9	6	4	0,9	120	4	0,04
		Свердло		50,9	6	5	0,9	120	4	0,02
025	Токарна	Різець прохід.	11,99	50,9	6	5	0,9	120	4	0,05
		Різець розточ.		50,9	6	5	0,9	120	4	0,05
		Різець канав.		50,9	6	5	0,9	120	4	0,02
030	Токарна	Різець прохід.	6,1	50,9	6	5	0,9	120	4	0,02
		Різець підріз.		50,9	6	5	0,9	120	4	0,02
		Різець розточ.		50,9	6	5	0,9	120	4	0,02
									Σ	0,45

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою [18]:

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

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

$$I_{H1} = 217,05 \cdot 0,2 = 43,41 \text{ грн}$$

$$I_{H2} = 80,13 \cdot 0,2 = 16,02 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою [18]:

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

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	
		Базовий	Новий
Заробітна плата верстатника	Z_o	217,05	80,13
Заробітна плата наладчика	Z_n		40,64
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{від}$	15,03	19,69
Витрати на різальний інструмент	$S_{ін}$	25,56	5,8
Витрати на електроенергію	S_e	33,82	4,87
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	3,23	9,75
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_n		0,45
Витрати інші	I_n	43,41	16,02
Технологічна собівартість	C_T	338,1	177,35

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою [18]:

$$E_{ур} = (C_{T1} - C_{T2}) \cdot N \quad (6.10)$$

$$E_{ур} = (338,1 - 177,35) \cdot 5000 = 803750 \text{ грн}$$

Таким чином, річна економія від впровадження нового ТП за статтею собівартість може становити 803750 грн, що свідчить про ефективність запропонованої технологічної інновації.

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 [18]:

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

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 _д	K _о , грн
010	Токарна	21,2	252000	4015	22,18
015	Токарна	31,4	252000	4015	32,85
020	Токарна	18,5	252000	4015	19,35
025	Токарна	16,7	252000	4015	17,47
030	Токарна	13,4	252000	4015	14,02
		Σ	1260000	Σ	105,86

Таблиця 6.16 - Капітальні витрати на обладнання за новим ТП

№ опер	Найменування операції	T _{шт} , хв	Ц, грн	F _д	K _о , грн
015	Токарна	17,49	780990	4015	56,70
020	Токарна	14,19	780990	4015	46,00
025	Токарна	11,99	780990	4015	38,87
030	Токарна	6,1	780990	4015	19,78
		Σ	3123960	Σ	161,35

Оскільки капітальні витрати є суттєво різними, оцінювати ефективність варіантів ТП слід на основі мінімуму наведених витрат за формулою [18]:

$$B_{нав} = C + E_n K, \quad (6.12)$$

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	338,10	177,35
Капітальні витрати на деталь	K_o	105,86	161,35
Наведені витрати на деталь	W_o	353,98	201,55
Собівартість річної програми	C_p	1690500,00	886500,00
Капітальні витрати на програму	$K_{оріч}$	529300,00	806750,00
Наведені витрати на програму	$W_{річ}$	1769895,00	1007762,50
Річна економія (збиток), грн	ΔW	762132,5	

При придбанні нових верстатів згідно запропонованої нової технології виготовлення деталі «Шестерня» згідно проведених розрахунків буде отримано прибуток в розмірі 762132,5 грн.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Робота на верстатах з ЧПК вимагає дотримання особливих вимог охорони праці, оскільки ці пристрої працюють з високою точністю, швидкістю та потужністю. Недотримання правил може призвести до травм, пошкодження обладнання або продукції. До основних положень щодо охорони праці належать:

1) загальні вимоги. Працівники, які працюють на верстатах з ЧПК, мають пройти інструктаж з охорони праці та навчання щодо правильної експлуатації обладнання. До роботи допускаються особи віком від 18 років, які пройшли медичний огляд і не мають протипоказань до такої діяльності. Робоче місце повинно бути організовано так, щоб забезпечувати вільний доступ до обладнання та уникати ризику травматизму. Всі дії з обладнанням здійснюються відповідно до інструкції з експлуатації;

2) підготовка до роботи. Перед початком роботи необхідно перевірити стан верстата: справність систем безпеки, заземлення, пускових і зупинних пристроїв. Оглянути інструменти та заготовки для виявлення дефектів, які можуть призвести до несправностей або аварій. Встановити заготовку в верстат і перевірити її надійне кріплення. Упевнитися у відсутності сторонніх предметів у зоні обробки;

3) особливості експлуатації. Під час роботи оператор повинен знаходитися в безпечній зоні, визначеній для експлуатації верстата. Необхідно використовувати засоби індивідуального захисту:

- захисні окуляри для запобігання потраплянню стружки;
- спеціальний одяг, що не має звисаючих елементів, які можуть зачепитися за рухомі частини.

Забороняється здійснювати ручне втручання у процес обробки під час роботи верстата. Під час роботи верстата не допускається відходити від робочого місця або залишати його без нагляду. У разі виявлення

несправностей необхідно негайно зупинити роботу обладнання і повідомити про це відповідальну особу;

4) завершення роботи. Після завершення роботи необхідно вимкнути верстат з мережі, очистити його від стружки та пилу, використовуючи спеціальні інструменти (щітки, пилососи). Перевірити інструмент та видалити оброблені деталі. Зробити записи у відповідному журналі про проведену роботу і можливі технічні проблеми;

5) додаткові заходи безпеки. У приміщенні, де працюють верстати з ЧПК, повинна бути передбачена система вентиляції для видалення пилу, металевої стружки та інших шкідливих речовин. Працівники мають бути ознайомлені з планом евакуації і правилами дій у разі виникнення аварійних ситуацій. Не допускається робота на верстаті з ЧПК у стані втоми, алкогольного чи наркотичного сп'яніння.

Верстати з ЧПК є високотехнологічним обладнанням, яке живиться від електричної мережі, що вимагає особливої уваги до питань електробезпеки. Невиконання вимог може спричинити ураження електричним струмом, пожежу або вихід обладнання з ладу.

Основні вимоги електробезпеки:

1) допуск до роботи. До роботи з електрифікованим обладнанням допускаються тільки особи, які пройшли інструктаж з електробезпеки та мають відповідну групу допуску (не нижче II групи для обслуговуючого персоналу);

2) справність обладнання. Перед початком роботи необхідно переконатися у відсутності видимих пошкоджень ізоляції проводів, цілісності заземлювальних пристроїв і корпусу обладнання;

3) заземлення. Верстат має бути правильно заземлений згідно з проектною документацією. Відсутність або несправність заземлення категорично забороняється;

4) контроль електромережі. Перевірити, чи відповідає напруга живлення параметрам, зазначеним у технічній документації на обладнання.

Основні вимоги електробезпеки при підготовці до роботи:

- 1) перед включенням верстата перевірити стан пускового пристрою та аварійної кнопки «Стоп»;
- 2) упевнитися, що всі кабелі живлення правильно підключені, і відсутні пошкодження;
- 3) заборонено використовувати подовжувачі або багатоканальні розетки без перевірки їхньої відповідності потужності верстата.

Вимоги під час експлуатації:

- 1) забороняється працювати з верстатом з ЧПК у разі:
 - вологості рук,
 - наявності води або іншої рідини поблизу проводів чи електричних компонентів;
- 2) всі ремонтні та профілактичні роботи на верстаті виконуються тільки після повного відключення обладнання від мережі;
- 3) оператору заборонено самостійно відкривати електричні шафи або проводити їх обслуговування без відповідної кваліфікації;
- 4) під час роботи верстата не допускається знімати захисні кришки з електричних компонентів.

У разі виникнення іскріння, запаху гару або диму необхідно негайно зупинити верстат, відключити його від мережі та повідомити відповідальну особу.

У разі ураження електричним струмом слід:

- 1) знеструмити обладнання,
- 2) надати першу допомогу постраждалому (серцево-легенева реанімація при необхідності),
- 3) викликати медичну допомогу.

Електрообладнання верстатів повинно регулярно перевірятися на предмет справності ізоляції, наявності заземлення та працездатності автоматичних вимикачів. У приміщенні, де працює верстат з ЧПК, необхідно встановити автоматичні пристрої захисного вимкнення (ПЗВ), які

спрацьовують при струмі витоку. Періодично проводити навчання персоналу з правил електробезпеки.

Дотримання цих вимог допомагає уникнути аварій і травм, а також забезпечує якісну та безпечну роботу обладнання.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи було розроблено заходи підвищення продуктивності обробки шестерні за рахунок використання сучасних верстатів з ЧПК технологічними методами та за допомогою автоматизації завантаження/розвантаження та інших елементів і прийомів допоміжних переходів. Розглянуто класифікацію та характеристики верстатів з ЧПК, їх переваги. Запропоновані рекомендації та обладнання для автоматизації зубофрезерної операції. Проаналізовано можливість використання роботизованої руки/маніпулятора для обслуговування верстатів з ЧПК. З урахуванням проведеного аналізу було розроблено технологічний процес виготовлення шестерні.

Було економічно обґрунтовано отримання заготовки на КГШП, розраховано масу заготовки 1,4 кг, коефіцієнт використання матеріалу 0,38. Економічний ефект від впровадження отримання заготовки штампуванням становив 540542,2 грн.

Розроблено 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 762132,5 грн.

Для токарної та свердлильної операцій розроблено керуючі програми в програмі NX.

Було спроектовано робоче пристосування для зубофрезерування. проведені розрахунки на точність, зусилля затиску тощо. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю радіального биття.

Деталь була розрахована на міцність при несприятливому розташуванні отворів та шпонкового пазу. Встановлено, що такий варіант конструкції забезпечує надійну експлуатацію деталі у вузлі.

Проаналізовані заходи безпеки при роботі на верстатах з ЧПК.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Types Of CNC Machines [Електронний ресурс]. – <https://learnmech.com/types-of-cnc-machines-classification-of-cnc-machines/> (дата звернення: 21.11.2024).
2. What is CNC machining? [Електронний ресурс]. – <https://www.fastems.com/cnc-machining/> (дата звернення: 21.11.2024).
3. What is CNC Machining? [Електронний ресурс]. – <https://wisconsinmetaltech.com/what-is-cnc-machining/> (дата звернення: 21.11.2024).
4. Liu L.A knowledge-centric CNC machine tool design and development process management framework / L. Liu, B.S. Caldwell, H. Wang, Y. Li // International Journal of Production Research. – 2014. – Vol. 52 (20), P. 6033-6051.
5. Все о ЧПК верстатах [Електронний ресурс]. – <https://abplanalp.ua/ru/vse-o-chpu-stankah> (дата звернення: 21.11.2024).
6. Переваги верстатів з ЧПК: основні плюси ЧПК-верстатів [Електронний ресурс]. – <https://abplanalp.ua/ru/preimushestva-stankov-s-chpu> (дата звернення: 21.11.2024).
7. Штучний інтелект стимулює нові тенденції в технологіях ЧПК [Електронний ресурс]. – <https://ua.pft-cncmachining.com/news/artificial-intelligence-drives-new-trends-in-c-80776234.html> (дата звернення: 21.11.2024).
8. Зубофрезерний верстат з ЧПК SH-410 [Електронний ресурс]. – <https://tools/import/song-ma/zubofrezernye-stanki/sh-410> (дата звернення: 21.11.2024).
9. Application of Automated Robotic Arms in CNC Lathes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.smartlathe.com/blogs-1/application-of-automated-robotic-arms-in-cnc-lathes> (дата звернення: 21.11.2024).
10. Марка сталі 40Х: використання, хімічний склад та властивості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://olteh.com.ua/articles/2664264->

marka-stali-40h-vikoristannya-himichniy-sklad-ta-vlastivosti/ (дата звернення: 21.11.2024).

11. 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.

12. 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.

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

14. 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.

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

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

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

18. 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

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Документация</u>						
A1			НУЗП 293226.007	Складальне креслення		
<u>Детали</u>						
		1		Корпус	1	
		2		Палець	1	
		3		Шток	1	
		4		Кільце	1	
		5		Поршень	1	
		6		Кришка	1	
		7		Кулачок	1	
		8		Кільце	1	
		9		Оправка	1	
		10		Втулка	1	
		11		Втулка штока	1	
		12		Кронштейн	1	
		13		Шайба розрізна	1	
<u>Стандартные изделия</u>						
		4		Гайка М10 ГОСТ 15915-80	3	
		15		Гвинт М5х10 ГОСТ 17475-80	3	
НУЗП 293226.007						
Изм.		Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.		Логвиненко				
Проб.		Ганчар				
Н.контр.		Дядя				
Утв.		Дядя				
Пристосування для фрезерування зубців				Лист	Лист	Листов
					1	2
				НУЗП М-113М		
Копіюваль				Формат А4		

ДОДАТОК Б

Специфікація контрольного пристосування

Формат Зона Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		<u>Документация</u>		
	НУЗП 402153.007	Складальне креслення	1	
		<u>Сборочные единицы</u>		
1		Корпус лівого центру	1	
2		Корпус правого центру	1	
3		Штанга	1	
4		Ручка	2	
		<u>Детали</u>		
4		Корпус	1	
6		Плита	1	
		<u>Стандартные изделия</u>		
7		Гвинт М10х40 ГОСТ 1491-70	4	
8		Штифт 10х50 ГОСТ 3128-70	2	
НУЗП 402153.007				
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.	Логвіненко			
Проб.	Гончар			
Н.контр.	Дядя			
Утв.	Дядя			
Пристосування для контролю біття			Лист	Листов
				1
			НУЗП гр. М-113м	
Копія			Діагност	