

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти магістра
Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі
Назва теми

«Корпус 035-DH435-P» із застосуванням верстатів з ЧПК

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Галузь знань 13 механічна інженерія
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 131 прикладна механіка
Шифр і назва спеціальності
Назва

Освітня програма «технології машинобудування»
Назва

Шифр ДРМ.ФІТА.ПМ.25.17.ПЗ

Виконав студент 2 курсу група ПМТм-24-1
Шифр


Підпис

Назарій САВЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доцент
Науковий ступінь, звання


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

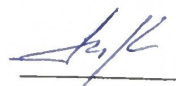
Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент
Науковий ступінь, звання


Підпис

Сергій БИСЬ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри
технології машинобудування
Назва

Дата « 29 » 12 2025


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії транспорту та архітектури

Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Галузь знань 13 механічна інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 131 прикладна механіка

Шифр і назва

Освітня програма «технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

Віталій ТКАЧУК

2 . 09 . 2025

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Савчуку Назарію Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема дипломної роботи Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус 035-DH435-P» із застосуванням верстатів з ЧПК

керівник роботи Ткачук Віталій Павлович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25 серпня 2025 р. № 65

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 10 грудня 2025

3 Вихідні дані до проекту (роботи) кресленик деталі Корпус 035-DH435-P та технічні вимоги до її виготовлення, обсяг випуску 5450 шт.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Загальний розділ
2. Технологічний розділ
3. Конструкторський розділ
4. Дослідницький розділ
5. Охорона праці

5 Перелік графічного матеріалу: кресленик деталі із 3D моделлю (1 лист A1); графотехнологія (1 лист A1); кресленик карти наладки (1 лист A1); кресленик верстатного пристрою (1 лист A1); кресленик контрольного пристрою (1 лист A1)

6 Консультанти розділів дипломної роботи (за наявності)

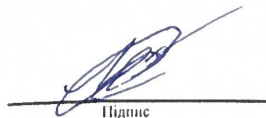
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання 1.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Загальний розділ	01.10.2025	
2 Технологічний розділ	01.11.2025	
3 Конструкторський розділ	20.11.2025	
4 Дослідницький розділ	10.12.2025	
5 Охорона праці	15.11.2025	

Студент


Підпис

Назарій САВЧУК
Ім'я, прізвище

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, прізвище

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект студента Савчука Н.С.
Тема проекту: Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі
«Корпус 035-DH435-P» із застосуванням верстатів з ЧПК

Тема дипломного проекту, та його зміст відповідають обраній спеціальності. Дипломний проект містить необхідні розділи, розрахунки та креслення згідно завдання.

У дипломному проекті студент проаналізував конструкцію обраної корпусу, її технологічність та визначив тип виробництва.

Вибрав (економічно обґрунтувавши) метод виготовлення заготовки, в подальшому був розроблений маршрутний і технологічний процес механічного оброблення корпусу з використанням сучасного устаткування з ЧПК. Згідно виданого завдання розраховані припуски на обробку, визначені режими різання, норми штучного часу. Всі прийняті рішення технологічного розділу підкріплені відповідними розрахунками і виконані на високому рівні.

В конструкторській частині розроблено конструкції пристроїв та спеціального інструменту для оброблювальних операцій.

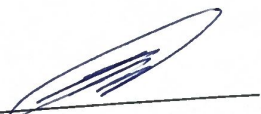
Всі конструкторські рішення підкріплені розрахунками і заслуговують позитивної оцінки.

Графічна частина виконана у відповідності з вимогами ЕСКД та ДСТУ, розділи розрахунково-пояснювальної записки оформлені з виконанням основних вимог ЕСТД та ДСТУ на досить високому рівні.

Все це свідчить про досить високий рівень дипломника як сформованого молодого спеціаліста.

Вагомих недоліків в дипломному проекті не виявлено.
Дипломний проект, виконаний згідно завдання, у повному обсязі та на достатньому технічному рівні і заслуговує оцінки «добре».

Рецензент: _____



О.В. Духа, Зоб. Корп. ТАМ
Дир., інж.

« 29 » « 12 » 2025 р.

Завідувачу кафедри

ТМ

Віталіно ТКАЧУКУ

здобувача вищої освіти (студента

ПБ, факультет, «курс», «група»)

Савчук И. ПМТн-24-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на академічний плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та/або Anti-Plagiarism) і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

24.12.24

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус 035-DH435-P» із застосуванням верстатів з ЧПК
 Автор Савчук Назарій Сергійович
 Освітня програма Технології машинобудування
 Рівень вищої освіти магістр
 Спеціальність 131 Прикладна механіка
 Науковий керівник Ткачук Віталій Павлович

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	+
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

.....

Дата

Завідувач кафедри


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Гарант освітньої програми


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

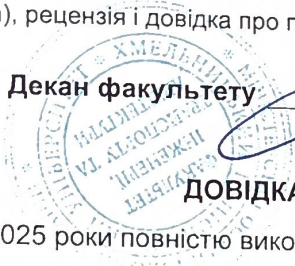
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Савчук Назарій Сергійович на захист дипломного проєкту (роботи)
(прізвище, ім'я, по батькові)
за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус 035-DH435-P» із застосуванням верстатів з ЧПК

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.



Декан факультету

(підпис)

ОЛЕГ ПОЛІЩУК

(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Савчук Н.С. з 2024 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за:

національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 66,67 %, задовільно 33,33 %.

шкалою ЄКТС: А 13,33 %, В 26,67 %, С 26,67 %, D 0,00 %, E 33,33 %.

Методист факультету

(підпис)

(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Назарій Савчук вчасно прислав до виконання дипломний проєкт та активно працював над його виконанням проявив високу інженерну значну та уважну роботу виконана згідно із завданнями та заслужує оцінки

Оцінка дипломного проєкту (роботи)

"добре"

Керівник дипломного проєкту

В. Трачук

(підпис)

В. Трачук

(ім'я, прізвище)

" 29 " 12 2025 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Савчук Н.С. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

технології машинобудування

(назва)

" 29 " 12 2025 р.

(підпис, ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус 035-DH435-P» із застосуванням верстатів з ЧПК

Пояснювальна записка містить 96 сторінок та додатки, до складу яких входять специфікації креслеників, технологічна документація та програма для верстата з ЧПК. Графічна частина роботи виконана на 9 аркушах формату А1. Відповідно до виданого завдання розроблено технологічний процес механічного оброблення для виготовлення деталі «Корпус 035-DH435-P».

Пояснювальну записку складають усі необхідні розділи, розрахунки та виконана відповідно до встановлених вимог до кваліфікаційних робіт.

У загальному розділі проведено аналіз вихідних даних для проектування та характеристики деталі.

У технологічному розділі обґрунтовано вибір методу одержання заготовки, спроектовано процес технологічний по виготовленню деталі корпус на сучасних верстатах з ЧПК. Розроблено керуючу програму обробки деталі на верстатах з ЧПК.

В конструкторському розділі спроектовано захватний пристрій для роботизованого технологічного комплексу та контрольно-вимірювального приладу для контролю радіального биття циліндричної поверхні.

В дослідницькому розділі проведено аналіз впливу деформації та температури на розм'якшення матеріалу під час різання.

В розділі охорона праці розглянуто питання охорони праці працівників при обробці матеріалів різанням та проведено розрахунок захисного заземлення.

Автор роботи:

Назарій САВЧУК

2025 р.

/Підпис/

Дата

ABSTRACT:

Topic of the work: Improvement of the technological process for manufacturing the part "Housing 035-DH435-P" using CNC machines

The explanatory note contains 96 pages and appendices, which include specifications of drawings, technological documentation and a program for a CNC machine tool. The graphic part of the work is performed on 9 sheets of A1 format. In accordance with the issued task, a technological process of mechanical processing for the manufacture of the part "Housing 035-DH435-P" has been developed.

The explanatory note consists of all the necessary sections, calculations and is performed in accordance with the established requirements for qualification work.

In the general section, an analysis of the initial data for the design and characteristics of the part was carried out.

In the technological section, the choice of the method for obtaining the workpiece was justified, the technological process for manufacturing the body part on modern CNC machines was designed. A control program for machining the part on CNC machines was developed.

The design section designed a gripping device for a robotic technological complex and a control and measuring device for monitoring the radial runout of a cylindrical surface.

The research section analyzed the influence of deformation and temperature on the softening of the material during cutting.

The occupational safety section considers the issue of occupational safety of workers when processing materials by cutting and calculates protective grounding.

The author of the work

Nazariy SAVCHUK

/Signature/

2025 p.

Date

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Вихідні дані для проектування	10
1.2 Характеристика деталі	10
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	15
2.1 Визначення типу виробництва	15
2.2 Обґрунтування вибору методу одержання заготовки	16
2.2.1 Рекомендації щодо вибору методу отримання заготовки	16
2.2.2 Розрахунок маси деталі та заготовки	20
2.2.3 Економічне обґрунтування вибору заготовки	18
2.3 Аналіз технологічності конструкції деталі	21
2.3.1 Якісна оцінка технологічності	22
2.3.2 Кількісна оцінка технологічності	23
2.4 Вибір схеми базування	24
2.5 Розробка технологічного маршруту та вибір обладнання	26
2.6 Розрахунок припусків на механічну обробку	27
2.7 Розрахунок режимів різання	34
2.8 Нормування технологічної операції	46
2.9 Розробка керуючої програми обробки деталі	48
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	56
3.1 Проектування захватного пристрою для роботизованого технологічного комплексу	56
3.2 Аналіз відомих типових схем захватів	60
3.3 Обґрунтування обраної конструкції захвату та опис його роботи	63
3.4 Конструкція та розрахунок губок захвата	66
3.5 Вибір приводу промислового робота	67
3.6 Вибір транспортно-складської системи	69

3.7 Розрахунок циклу обробки в РТК	70
3.8 Проектування контрольно - вимірювального пристрою	71
3.8.1 Розробка схеми вимірювання	71
3.8.2 Розрахунок точності контролю	73
4 ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	75
4.1 Аналіз впливу деформації та температури на розм'якшення матеріалу під час різання	74
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	88
5.1 Охорона праці при обробці матеріалів різанням	88
5.2 Розрахунок захисного заземлення	93
ВИСНОВОК	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	99

ВСТУП

Досягненнями останніх десятиліть в області технології механічної обробки деталей є комплексна автоматизація виробництва, що забезпечує значне підвищення точності та ефективності технологічних операцій. Велику роль у цьому грає металорізальне обладнання з числовим програмним управлінням (ЧПУ), яке зрозуміло випереджає обладнання з ручним управлінням за основними технологічними, технічними та економічними показниками. Верстати з ЧПУ – це результат об'єднання досягнень у галузі технології машинобудування, кібернетики, математики, електроніки та інших фундаментальних та прикладних наук.

Сучасні верстати з числовим програмним керуванням інтенсивно розвиваються як у площині конструктивних рішень, які дають змогу значно підвищити статичну й динамічну жорсткість, вібронестійкість, точність функціонування та продуктивність, так і в напрямі створення високоефективного програмного забезпечення.

Провідні світові верстатобудівні компанії випускають сучасне багатофункціональне металорізальне обладнання з числовим програмним управлінням, що дозволяє з високою продуктивністю та точністю виконувати на одному верстаті велику кількість найрізноманітніших технологічних переходів. Багатофункціональні токарні верстати з ЧПУ надають можливість виконувати не лише операції точіння та розточування складнопрофільних поверхонь і свердління осьових отворів, а й фрезерування поверхонь різної конфігурації та габаритів, а також свердління й нарізування різних типів різьб і їх комбінацій як у паралельному, так і в перпендикулярному напрямках відносно осі деталі.

У сучасних багатофункціональних токарних верстатах з ЧПУ реалізовано один із базових наукових принципів теорії базування, що полягає в забезпеченні мінімальних похибок механічної обробки за рахунок повної обробки деталі за одну установку. З цією метою в новітніх моделях застосовують два шпинделі – головний та протишпиндель, а також розподіл головних рухів: ріжучому інструменту

надається головний рух різання, тоді як головний шпindel виконує рух кругової подачі.

Сучасні багатофункціональні токарні верстати з ЧПУ є високоефективним видом обладнання, що забезпечує виготовлення особливо складних і високоточних виробів. Для обслуговування цього обладнання потрібні технологи-програмісти, здатні з використанням комп'ютерних технологій розробляти керуючі програми для обробки різних за формою і розмірами деталей. Найкращий результат може бути досягнутий при грамотній експлуатації цього виду обладнання, а для цього потрібні кваліфіковані наладчики, оператори та технологи- програмісти.

Технічний прогрес у машинобудуванні визначається не лише вдосконаленням конструкцій машин, а й постійним розвитком технологій та організації виробництва. Важливим завданням є забезпечення виготовлення машин високої якості з мінімальними витратами праці, у встановлені терміни та з найменшою собівартістю шляхом застосування сучасного високопродуктивного обладнання, інструменту, технологічного оснащення, а також засобів механізації й автоматизації виробничих процесів. Точність у машинобудуванні відіграє ключову роль у підвищенні експлуатаційних характеристик машин і забезпеченні технологічності виробництва. Розв'язання питань точності повинно ґрунтуватися на науково обґрунтованому підході, оскільки підвищення точності виготовлення заготовок сприяє зменшенню трудомісткості механічної обробки, а підвищення точності обробки, у свою чергу, знижує трудомісткість складальних операцій. Особливої актуальності проблема точності набуває в умовах автоматизованого виробництва, де вимоги до якості продукції постійно зростають.

Створення безперервних автоматизованих виробництв зумовлює необхідність інтеграції в єдині потоки механічної обробки та складання різнорідних технологічних процесів, що визначає комплексний характер технології машинобудування та тісний взаємозв'язок її окремих галузей.

Метою кваліфікаційної роботи є вдосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі на основі вибору прогресивного обладнання з числовим

програмним керуванням, оптимального виду заготовки, технологічних пристроїв, ріжучого та вимірювального інструменту, а також розроблення виробничої ділянки.

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вихідні дані для проектування

Вихідні дані для розробки технологічного процесу механічної обробки деталі «Корпус 035-DH435-P» включають:

1. базову інформацію;
2. довідкову інформацію;
3. нормативно-технічну інформацію;
4. науково-технічну літературу;
5. періодичну та патентну літературу.

Базова інформація – це інформація, яка збирається за умов базового заводу. Сюди входить робоче креслення деталі з технічними вимогами та технічними умовами; програма випуску N , у разі дорівнює 5450 штук на рік;

До довідкової інформації входить інформація, що міститься в довідниках, нормувальника, металіста, конструктора тощо; каталоги, що випускаються підприємствами України та зарубіжними фірмами.

У нормативно-технічну інформацію входять ДСТУ, стандарти України та міжнародні стандарти, машинобудівні норми, стандарти підприємств та ін.

Окрім цих, вихідними даними являється і трудомісткість та верстатомісткість операцій по механічній обробці деталі «Корпус 035-DH435-P»; дійсний загальний фонд робочого часу обладнання становить $F = 2007$ годин на рік при варіанті роботи в 1 зміну; кількість змін роботи підприємства становить 1 зміна.

1.2 Характеристика деталі

Деталь є тілом обертання і є трубчастий вал іменований «КОРПУС», який входить до складу бормащини, що використовується в медицині (рис.1.1).

якостям відповідає верстат багатофункціональний токарний DMG MORI NLX. Обробка цієї деталі на представленому верстаті не є можливим без розробки керуючої програми та вирішення ряду технологічних питань. У верстаті використовується система числового програмного керування Siemens Sinumerik 840D німецького виробництва. Дана система забезпечує можливість контурної обробки з графічною візуалізацією траєкторії руху інструмента на дисплеї. Перед розробкою робочої програми, що управляє виготовленням деталі «Корпус» слід вирішити особливі технологічні питання. Вибираємо схему базування та закріплення заготовлі; аналізуємо, скільки установок заготовки потрібна одна чи дві; намічаємо послідовність обробки кожної поверхні; складаємо технологічний маршрут; підбираємо підходящий ріжучий інструмент та розподіляємо його по робочих позиціях у револьверній головці. При вирішенні цих питань необхідно постійно мати на увазі необхідну точність кожної поверхні і як цю точність будемо забезпечувати. При вирішенні поставлених технологічних питань опираємося на наукові закони технології машинобудування по принципам сумарної похибки обробки, базування та ін.

Для вирішення технологічних питань рекомендується паралельно розробляти щонайменше два варіанти виконання технологічної операції. На основі аналізу та розрахунку очікуваної точності обробки отримуємо результати для кожного варіанту, порівняння яких дозволить вибрати найкращий варіант. Порівняння варіантів необхідно проводити як з позиції очікуваної точності обробки, так і продуктивності технологічної операції. Це дозволить заощаджувати машинний та допоміжний час на обробку, а, отже, зменшити собівартість виконання операції [1].

Проаналізувавши робоче креслення корпусу робимо висновок, що його будемо виконувати з однієї установки та закріплення заготовки. Для проведення обробки зовнішніх поверхонь робимо вибір на користь прохідних різців, а для здійснення обробки внутрішніх циліндричних поверхонь – на користь розточувальних різці. Для проведення обробки криволінійного паза будемо застосовувати кінцеву фрезу, приводний шпиндель револьверної головки, координатний поворот головного шпинделя навколо осі та осьову подачу кінцевої

фрези в напрямку, паралельному осі Z. Обробка криволінійного паза проводиться в результаті трьох формотворних рухів, а саме, головного руху ріжучого інструменту, встановленого в револьверній головці, а головний шпиндель звільняємо від обертального руху різання. Взамін, головному шпинделю повідомляємо рух кругової подачі відносно осі Z заготовки.

Встановлену точність розмірів деталі корпусу досягаємо шляхом точної прив'язки вершин різців і осі фрези до системи координат програми, яку задаємо в площині, що збігається з правим торцем корпусу, при цьому початок системи координат розташовуємо на осі обертання заготовки (осі Z). Точність розміру за шириною паза забезпечуємо добором фрези відповідного діаметра. Технологічні вимоги до просторового взаємного розташування поверхонь корпусу виконуємо обробкою всіх поверхонь заготовки за одну установку. Після попередньої та остаточної обробки поверхонь корпусу деталь відокремлюємо шляхом відрізання, для чого до комплекта ріжучого інструменту додаємо відрізний різець [2].

Встановлену точність розмірів деталі корпусу надаємо точною прив'язкою вершини різців та осі фрези до системи координат програми, яку вибираємо у площині, що збігається з правим торцем корпусу, а початок системи координат програми лежить на осі обертання заготовки (осі Z). А точність розміру за шириною паза влаштуємо підбором фрези відповідного потрібного діаметра. Технологічні вимоги, що ставляться до просторового розташування поверхонь корпусу одних щодо інших буде забезпечуватися проведенням обробки всіх поверхонь заготовки за одну установку. В комплект ріжучих інструментів, крім цього включаємо відрізний різець для відрізання деталі після попередньої та остаточної обробки поверхонь корпусу [2].

Наводимо фізичні та механічні властивості матеріалу заготовки та його хімічний склад. Деталь Корпус 035-DH435-P виготовляється із дюралюмінію Д16Т відповідно до ДСТУ ISO 209-1:2002.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад дюралюмінію Д16Т ДСТУ ISO 209-1:2002

Cu %	Mg %	Mn %	Si %	Fe %
3,8 – 4,9	1,2 – 1,6	0,3 – 0,9	< 0,5	< 0,5

Таблиця 1.2 – Механічні властивості дюралюмінію Д16Т ДСТУ 8833:2019

Марка матеріалу	Щільність 1000 кг/м ³	Границя міцності при розтягуванні МПа, σ_B	Модуль пружності ГПа	Гранична жорсткість ГПа	Гранична міцність МПа	Гранична текучість МПа	Відносне подовження %	Температура плавлення t
Д16Т	2,78	490	70	25	175	390	23-11	660

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Визначення типу виробництва

Тип виробництва залежить від розмірів, маси та річного обсягу виготовлення виробів.

Тип виробництва та форми організації праці, що відповідають йому встановлюють характер технологічного процесу. За ДСТУ ГОСТ 3.1128:2014 тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о.}$, що розраховується відношення всіх механічних операцій, які виконуються або будуть виконуватися підрозділом (цехом чи дільницею) протягом місяця, до кількості усіх робочих місць

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P}, \quad (2.1)$$

де $\sum O$ – сумарна кількість різних операцій; P – явочне число робочих місць, у яких виконуються різні операції.

Відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 3.1128:2014 приймаємо наступні коефіцієнти закріплення операцій:

$K_{з.о.} = 1$ – для масового виробництва;

$1 < K_{з.о.} \leq 10$ – для великосерійного виробництва;

$10 < K_{з.о.} \leq 20$ – для середньосерійного виробництва;

$20 < K_{з.о.} \leq 40$ – для дрібносерійного виробництва;

$K_{з.о.} > 40$ – для одиничного виробництва.

Перш ніж обчислити коефіцієнт закріплення операцій, розраховують кількість верстатів, необхідних виконання конкретної операції, за формулою:

$$C_P = \frac{N \cdot T_{ум}}{F_{Д} \cdot 60 \cdot \eta_{исп}} \quad (2.2)$$

де N – обсяг випуску деталей за 1 рік, $N = 5450_{ум}$.;

$T_{ум}$ – кількість верстато-годин чи верстатомісткість, вер.год.;

F_D – фонд річного часу роботи верстата, $F_D = 2007z$;

$\eta_{з.н.}$ – середній коефіцієнт використання обладнання, $\eta_{з.н.} = 0,8$.

Розраховану кількість верстатів C_P округляємо до найближчого цілого числа, в результаті отримуємо прийнятну кількість верстатів C_{PP} (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Коефіцієнта закріплення операцій ($K_{з.о.}$)

№ опер.	Найменування операції	$T_{шт}$, вер.год	C_P , шт.	$C_{пр}$, шт.	$\eta_{з.ф.}$	O
1	2	3	4	5	6	7
005	Токарна з ЧПУ	10,84	0,61	1	0,61	1,31
010	Оздоблювально-зачистна	1	0,05	1	0,05	16
015	Контрольна	1,1	0,06	1	0,06	13,3
020	Гальванічна	2,15	0,12	1	0,12	6,6
025	Контрольна	1,1	0,06	1	0,06	13,3
Всього		$\Sigma 16,19$		$\Sigma 5$		$\Sigma 56$

За формулою 2.3 визначаємо кількість операцій, що виконуються на робочому місці:

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}} \quad (2.3)$$

Розраховуємо $K_{з.о} = \frac{56,0}{5} = 11,2$ (Див. табл. 2.1). За розрахованим значенням встановлюємо, що тип виробництва є середньосерійним, тому що коефіцієнт закріплення операцій $10 < K_{з.о} \leq 20$, а це умова для середньосерійного виробництва.

Розрахуємо такт випуску деталей за формулою:

$$\tau = \frac{F_D \cdot 60}{N} = \frac{2007 \cdot 60}{5450} = 22,09_{хв}$$

2.2 Обґрунтування вибору методу одержання заготовки

2.2.1 Рекомендації щодо вибору методу отримання заготовки

Метод отримання заготовок деталей для машин встановлюється за матеріалом, призначенням та конструкцією деталі, масштабом, технічними вимогами, серійністю випуску та економічністю виготовлення. Заготовка – це напівфабрикат,

що надходить на механічну обробку. При виборі заготовки головним є забезпечення високої якості готової деталі при її мінімальній собівартості. Правильно вибрати заготовку – це означає визначити раціональний метод її отримання із забезпеченням фізико-механічних властивостей матеріалу, встановити припуски на оброблювані поверхні, вказати розміри заготовки та встановити допуски на неточність їх виготовлення. Для здійснення раціонального вибору заготовки необхідно враховувати одночасно всі вихідні дані, тому що між ними існує тісний зв'язок. Позитивне рішення можна прийняти тільки після розрахунку економічної собівартості заготовки та механічної обробки в загальному [3].

Механічній обробці на верстатах піддаються заготовки з прокату, виливків, поковок та штампувань. Заготовки з любого прокату круглого, квадратного, шестигранного застосовуються для тих деталей, що по конфігурації наближені до будь-якого виду вибраного прокату та тоді, коли немає великої різниці в поперечних перерізах деталі і коли при отриманні її остаточної форми можна уникнути варіантів зняття великої тоді, коли за виробничою програмою необхідна значна кількість деталей, а саме, у великосерійному та масовому виробництві, тому що для виготовлення таких заготовок потрібні дорогі штампи. Корпусні деталі одержують литими або зварено-литими методами. Зварно-литі способи застосовують тоді, коли при виготовленні цільноливої заготовки виникає великий ливарний брак в наслідок нетехнологічності конструкції, коли тільки окремі частини заготовки, що працюють в певних особливо важких умовах, вимагають використання для їх виготовлення більш дорогих металів чи складної обробки. Фасонні корпусні деталі, що можуть працювати під тиском та несуть велику напругу, виробляють литвом. Враховуючи обраний тип виробництва – середньосерійне та технічних вимог, що висуваються до готового виробу, заготовку для деталі корпус доцільно отримувати литтям під тиском. Як матеріал корпусу в даному випадку застосовується алюмінієвий сплав Д16Т.

2.2.2 Розрахунок маси деталі та заготовки

Масу деталі та заготовки розраховуємо за відомою щільністю матеріалу, з якого вони виготовлені, та обсягу, тобто:

$$m = \rho \cdot V, \quad (2.4)$$

де ρ – щільність матеріалу, що становить для Д16Т $\rho = 2,78 \text{ г/см}^3$;

V – обсяг деталі.

Знаходимо обсяги шаблів, з яких складається заготовка чи деталь. Для цього заготовку або корпус поділяємо на окремі стандартні шаблі. Після проведених підрахунку обсягів окремих ступенів визначаємо $V_{\text{дет}}$ [9]:

$$V_{\text{дет}} = \sum V = 8,84 \text{ см}^3, \quad m = 8,84 \cdot 2,78 = 24,52 = 0,024 \text{ кг}.$$

$$V_{\text{заг}} = \sum V = 12,25 \text{ см}^3, \quad m = 12,25 \cdot 2,78 = 34,052 = 0,036 \text{ кг}$$

Проведений розрахунок перевіряємо за допомогою системи автоматизованого проектування SolidWorks, а побудована МЦХ модель підтверджує правильність розрахунку.

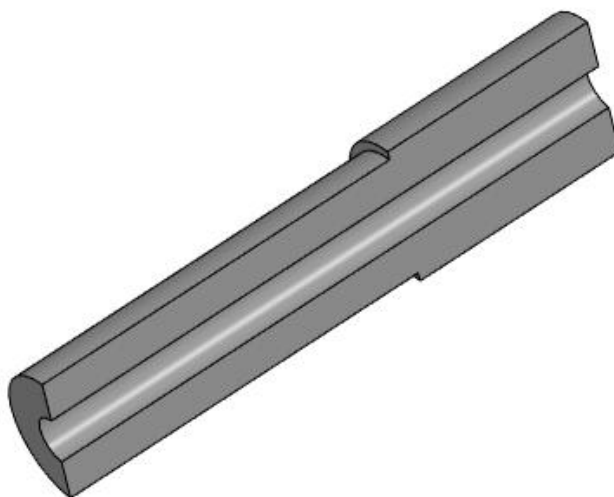


Рисунок 2.1 – 3D-форма розрізу заготовки

При проведенні розрахунку маси заготовки було враховано обсяг тільки деякої частини заготовки, тому що та частина, за яку відбувається затискання в 3-х кулачковому патроні, що самоцентрується, не можна вважати відходом.

На рис. 2.2 представлений ескіз заготовки, за яким розраховувався обсяг і маса заготовки для деталі «Корпус 035-DH435-P».

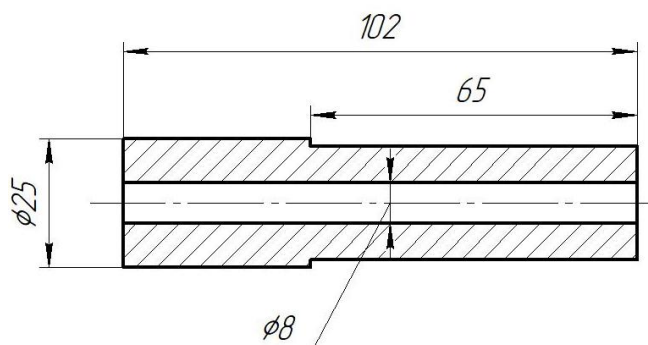


Рисунок 2.2 - 2D-модель креслення заготовки

Дані по розрахункам маси заготовки та деталі за побудованою МЦХ моделлю в САПР SolidWorks, повністю збіглися з проведеним розрахунком методом обсягів щаблів.

На основі розрахованої маси заготовки та деталі проводимо розрахунок коефіцієнта використання матеріалу $K_{\text{вм}}$:

$$K_{\text{вм}} = M_{\text{дет}} / M_{\text{заг}} , \quad (2.5)$$

де $M_{\text{дет}}$ – маса деталі.

$M_{\text{заг}}$ – маса заготовки.

$$K_{\text{вм}} = 0,024 \text{ кг} / 0,0361 \text{ кг} = 0,660.$$

Для отримання явної переваги обраного методу одержання заготовки литтям під тиском над іншими порівняльним методом прокат здійснимо розрахунок $K_{\text{вм}}$ для останнього з наскрізним отвором труби.

Вага заготовки відповідно побудованої моделі МЦХ в САПР SolidWorks 3D становить 97,71г.

$$K_{\text{вм}} = 0,024 / 0,097 = 0,24$$

Значення коефіцієнту демонструє дуже велику витрату матеріалу на одиницю виробу, отже, використовувати другий метод недоцільно.

2.2.3 Економічне обґрунтування вибору заготовки

Для вибору більш вигідного способу отримання заготовок роздивимося два варіанти: виготовлення деталі з прокату та метод одержання заготовки гарячим штампуванням у закритих штампах. Перевагу слід віддавати заготовці, що характеризується найкращим використанням матеріалу та меншою вартістю.

1-й спосіб виготовлення деталі з прокату, витрати на заготовку розраховуємо за масою прокату та масою стружки, що знімається.

$$M = Q S - (Q - q) S / 1000; \quad (2.6)$$

де Q – маса заготовки, кг;

q – маса готової деталі становить 1,9 кг;

$S_{\text{відх}}$ – ціна однієї тони відходів,

$$S_{\text{відх}} = 19500 \text{ грн/тонну};$$

S – ціна одного кілограму матеріалу заготовки;

$$S = 195 \text{ грн /кг.}$$

$$Q = 0,0971 \text{ кг}$$

$$K_{\text{вм}} = 0,25$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$M = 0,0971 \cdot 195 - (0,0971 - 0,024) \cdot 19500 / 1000 = 17,402 \text{ грн.}$$

2-й спосіб виготовлення деталі, за яким заготовку отримують литтям під тиском. Вартість заготовки, отриманої литтям під тиском, визначаємо за наступною формулою:

$$C_{\text{заг}} = (C_i / 1000 \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{II}) - S_{\text{відх}} / 1000(Q - q), \quad (2.7)$$

де C_i - базова вартість однієї тони заготовок, грн;

$$C_i = 300000 \text{ грн /тона};$$

k_m, k_c, k_b, k_m, k_n – коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу, та обсягу виробництва заготовок.

Визначаємо масу заготовки: $Q = 0,0361$ кг

$$K_{\text{вм}} = Q_{\text{дет}} / Q_{\text{заг}} = 0,024 / 0,0361 = 0,7052$$

$$S_{\text{заг}} = ((300000/1000) \cdot 0,036 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,21 \cdot 1) - (0,036 - 0,024) \cdot (19500/1000) = \\ = 12,141 \text{ грн.}$$

Висновок: Прокат (труба), вартість однієї заготовки дорівнює 17,4 грн. З 1 тони матеріалу за ціною 195000 грн можна отримати 10309 заготовок. При литті під тиском, вартість заготовки дорівнює 12,141 грн, з одну тону матеріалу вартістю 300000 грн можна отримати 27778 заготовок для виготовлення деталі «Корпус». Отримані результати розрахунків точно демонструють вигідність використання методу отримання заготовок литвом під тиском, тому для виготовлення нашої деталі вибираємо даний метод.

2.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

Проводимо оцінку технологічності конструкції за рядом показників, такими, як кількісними та якісним. При проведенні якісної оцінки технологічність конструкції має описовий характер, без врахування чисельних значень показників. Кількісна оцінка технологічності деталі включає розрахунки низки коефіцієнтів, що мають чисельне значення.

Конструкція деталі являється технологічною, якщо вона обумовить економічне та просте виготовлення деталі з мінімальними витратами та високою продуктивністю. Відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 3.1102:2014 розробляють технологічні процеси виготовлення деталей, конструкції яких вказують на технологічність. При проведенні аналізу на технологічність деталі необхідно проаналізувати матеріал виготовлення деталі, види та методи отримання заготовки, технологічні процеси та види механічної обробки, монтаж, складання, контроль, необхідні випробування, доцільність застосування типових маловідходних, енергозберігаючих технологій. Потрібно провести якісну та кількісну оцінку технологічності конструкції деталі. Якісна оцінка технологічності вивчає

конструкцію деталі узагальнено, без застосування чисельного значення показника технологічності та надається виходячи з особистого досвіду технолога. А кількісна оцінка технологічності конструкції деталі описується чисельним значенням показника, який характеризує ступінь відповідності вимог до технологічності. До кількісних показників відносяться коефіцієнти шорсткості, використання матеріалу, точності, та ін. Після отриманих результатів аналізу технологічності деталі висувають висновок про рівень технологічності деталі, а у випадку, якщо деталь є не технологічною, пропонують реальні шляхи підвищення її технологічності з описом та наведенням схем по зміні конструкції деталі та повним мотивованим обґрунтуванням.

2.3.1 Якісна оцінка технологічності

При ретельному вивченні креслень деталі було встановлено, що воно містить всі необхідні відомості, які дають необхідне уявлення про деталь, а саме, всі проекції, перерізи та розрізи, що ясно пояснюють її конфігурацію. На кресленні вказують всі розміри з необхідною шорсткістю поверхонь, що обробляються, необхідними відхиленнями, допускаються відхилення від геометричних форм, а також взаємного розташування поверхонь. На креслення вказано необхідна інформація про матеріал деталі – Д16Т, що створює труднощі при обробці. Зазначений матеріал дозволяє корпусу виконувати своє службове призначення. Даний матеріал володіє позитивними властивостями та не призводить до зниження технологічності деталі.

2.3.2 Кількісна оцінка технологічності

В якості кількісних показників технологічності розглядаються коефіцієнти використання матеріалу, точності, шорсткості.

Коефіцієнт використання матеріалу розраховується за такою формулою (2.8):

$$K_{BM} = \frac{q}{Q} \quad (2.8)$$
$$K_{BM} = \frac{0,024}{0,036} = 0,6$$

де Q – маса заготовки, кг, q – маса деталі;

Проводимо розрахунок коефіцієнта точності для деталі корпусу. Коефіцієнт точності часто використовують, як показник технологічності конструкції деталі та визначається за ДСТУ EN 13480-6:2018.

Розрахункова формула коефіцієнта точності має вигляд

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{CP}}, \quad (2.9)$$

де T_{CP} – середній квалітет точності обробки поверхні деталі визначається за формулою (2.10):

$$T_{CP} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (2.10)$$

де n_i – число розмірів деталі за квалітетом точності T_i .

Параметри точності зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Визначення коефіцієнта точності

T_i	n_i	$T_i \cdot n_i$
6	5	30
7	1	7
12	5	60

$$\sum T_i \cdot n_i = 30 + 7 + 60 = 97;$$

$$T_{CP} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{97}{11} = 8,8;$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{8,8} = 0,88$$

1. Якщо $K_T \leq 0,25$ – деталь не є технологічною;
2. Якщо $0,25 < K_T < 0,85$ – деталь є середньої технологічності;
3. Якщо $K_T \geq 0,85$ – деталь є технологічною.

Коефіцієнт точності задовольняє нормативному значенню, оскільки $K_T = 0,88$, це $> 0,85$ ($K_{T,НОРМ} \geq 0,85$), робимо висновок, що деталь є технологічною.

Розраховуємо коефіцієнт шорсткості для деталі «Корпус 035-DH435-P».

Коефіцієнт шорсткості $K_{Ш}$ встановлюється за ДСТУ EN 13480-6:2018 та приймається в межах від 0 до 1.

$$K_{Ш} = \frac{1}{T_{Ш.СР.}}, \quad (2.11)$$

де $T_{Ш.СР.}$ – середня шорсткість, що визначається за формулою:

$$T_{Ш.СР.} = \frac{\sum T_{Ш.i} \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (2.12)$$

де n_i – кількість поверхонь відповідної шорсткості $T_{Ш.i}$.

Параметри шорсткості представлено в Таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Визначення коефіцієнта шорсткості

$T_{Шi}$	n_i	$T_{Шi} n_i$
5 клас (3,2)	5	25
6 клас (1,6)	3	18
7 клас (0,8)	4	28
8 клас (0,4)	2	16
9 клас (0,2)	2	18

$$\sum T_{Ш.i} \cdot n_i = 25 + 18 + 28 + 16 + 18 = 105;$$

$$T_{Ш.СР.} = \frac{105}{16} = 6,56;$$

$$K_{Ш} = \frac{1}{T_{Ш.СР.}} = \frac{1}{6,56} = 0,15$$

Деталь є технологічною, тому, що задовольняє умові $k_{Ш} < 0,26$.

2.4 Вибір схеми базування

Схеми базування та закріплення деталі, технологічні бази, затискні та опорні елементи та пристрої, допоміжне пристосування призначені забезпечувати надійність її закріплення, потрібне положення заготовки відносно різальних інструментів та незмінність базування на протязі усього процесу обробки при

заданій установці. Поверхні заготовки, що прийняті як бази, їх відносне розташування мають бути такими, щоб можна було примінити зручність установки, найбільш просту та надійну конструкцію пристосування, закріплення, відкріплення та зняття заготовки, можливість застосування сил затиску в потрібних місцях та підведення інструментів.

Як технологічні бази необхідно застосовувати поверхні достатніх розмірів, тим самим забезпечується велика точність базування і достатня сила закріплення заготовки в пристосуванні. Якщо в заготовці обробляються всі поверхні, то як технологічну базу для першої операції слід застосовувати поверхні з найменшим припуском.

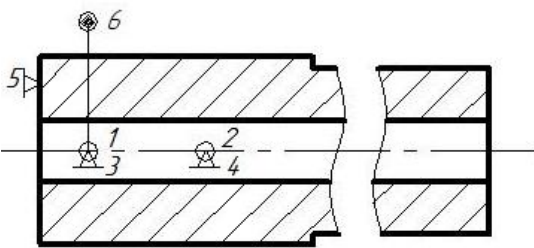
При виборі баз необхідно враховувати основні засади проведення базування. В звичайних випадках повний цикл обробки деталі від чорнової операції до кінцевої обробки здійснюється при послідовній зміні комплектів баз. Але для зменшення похибки та збільшення ефективності обробки деталей необхідно прагнути до зменшення переустановок заготівлі під час процесу обробки [1].

При виборі баз слід пам'ятати, що максимальна точність базування усім операціям механічної обробки досягається за умови базування одні й самі поверхні, тобто за дотримання принципу сталості баз. При чистовій обробці також рекомендується дотримуватися принципу поєднання (єдності) баз, згідно з яким, як технологічні базові поверхні використовуються технологічні, конструкторські та вимірювальні бази. При проведенні суміщення технологічної та вимірювальної баз, похибка базування буде дорівнювати нулю.

Схема базування та закріплення заготовки на операції механічної обробки наведена в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4.

Найменування операції	Технологічні бази використовуються, як при обробці деталі	Схема базування
-----------------------	---	-----------------

005. Токарна з ЧПУ	Встановлення деталі в 3-х кулачковий патрон, самоцентрує. Базування на зовнішньому діаметрі з упором у торець.	
--------------------	--	--

2.5 Розробка технологічного маршруту та вибір обладнання

При обробці корпусних тонкостінних деталей для забезпечення найбільшої жорсткості технологічної системи необхідно визначити раціональну послідовність обробки окремо взятих поверхонь: отворів, різьблення, пазів та ін.

Обробка деталі корпус проводиться на багатофункціональному токарному верстаті з ЧПУ моделі DMG MORI NLX, який обладнано додатковою віссю С і приводним різальним інструментом.

Враховуючи розроблену технологію, представимо послідовність обробки поверхні корпусу:

Обробка зовнішньої циліндричної поверхні, підрізування торця, підрізування торця бурта з правого боку.

Обробка внутрішньої циліндричної поверхні.

Обробка канавок на внутрішній циліндричній.

Обробка канавок на зовнішній циліндричній поверхні.

Нарізання різьблення на внутрішній циліндричній поверхні.

Нарізання різьблення на зовнішній циліндричній поверхні перед буртом.

Фрезерування криволінійного паза.

Зовнішнє оброблення циліндричної поверхні за буртом.

Нарізання різьблення на зовнішній циліндричній поверхні перед за буртом.

Відрізка заготовки.

Спроектований технологічний маршрут механічної обробки деталі корпус та обладнання, що використовується для його реалізації, представлено у Таблиці 2.5.

Таблиця 2.5.

Номер і зміст операції	Обладнання	Ріж. інструмент	Мер. інструмент
1	2	5	6
1. (005) Токарно-фрезерна з ЧПУ Обробити зовнішні та внутрішні поверхні, нарізати різьблення, фрезерувати паз, відрізати	Багатофункціональний токарний верстат DMG MORI NLX 	Різці видів: прохідний, відрізний, різьбовий, розточувальний, кінцева фреза	-
2. (010) Оздоблювально-зачисна Зачистити поверхні, притупити крайки	Зенковка. Верстак.	Зенковка, шабер	-
3. (015) Контрольна Виміряти деталь	Стіл контролера	-	Штангенциркуль, нутрометр, мікрометр
4. (020) Гальванічна Нанести покриття	Гальванічна лінія	-	-
5. (025) Контрольна Виміряти деталь	Стіл контролера	-	Штангенциркуль, нутрометр, мікрометр.

2.6 Розрахунок припусків на механічну обробку

Припуск на механічну обробку – це шар матеріалу, що підлягає видаленню у процесі обробки. Припуск призначається на всі поверхні, що проходять механічну обробку для видалення поверхневого шару металу та надання деталі ступеня точності розмірів та чистоти, зумовлених технічними умовами деталі.

Припуск на обробку поверхонь деталі може бути визначеним за довідковими таблицями, ДСТУ або на основі розрахунково-аналітичного методу визначення припусків.

Довідковими та таблиці ДСТУ дозволяють призначити припуски незалежно від технологічного процесу обробки деталі та умов його здійснення і тому в загальному випадку є завищеними, містять резерви зниження витрати матеріалу та трудомісткості виготовлення деталі.

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків на обробку включає в себе розрахунок припусків на усіх технологічних переходах для обробки будь-якої поверхні деталі - проміжні припуски, підсумовування їх для визначення загального припуску на обробку певної поверхні та розрахунок розмірів заготовки та проміжних розмірів, що вказують на положення поверхні. Мінімальний припуск на обробку є розрахунковою величиною, яка є достатньою для усунення на переході, який виконується, дефектів поверхневого шару та похибок обробки, що отримано на попередньому переході та компенсації похибок, що виникають на переході, який виконується. Проміжні розміри, що встановлюють положення поверхні, яка обробляється та розміри заготовки розраховують з процесом використання мінімального припуску.

Застосування такого розрахунково-аналітичного методу визначення припусків дає можливість скоротити відхід металу в стружку, якщо це порівняти з табличними значеннями, надає єдину систему визначення припусків для обробки розмірів деталі за технологічними переходами та підвищує технологічну культуру виробництва.

Мінімальний, номінальний та максимальний припуски на обробку розраховують наступним чином.

1 Мінімальний припуск:

$$z_{i \min} = (Rz+h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i; \quad (2.13)$$

де Rz_{i-1} – висота нерівностей профілю, що виникає на попередньому переході;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару (безвуглецевий або вибілений шар) на попередньому переході;

$\Delta_{\Sigma i-1}$ – сумарні відхилення розташування поверхні, такі, як відхилення від перпендикулярності, паралельності, симетричності, співвісності, перетину осей, позиційне та іноді відхилення форми поверхні, такі, як відхилення від площинності, прямолінійності на попередньому переході;

ε_i – похибки установки заготовки на переході, що виконується.

2 Номінальний припуск на обробку поверхонь:

зовнішніх:

$$z_i = z_{i \min} + e_{i-1} + e_i; \quad (2.14)$$

$$2z_i = 2z_{i \min} + e_{D_{i-1}} + e_{D_i}; \quad (2.15)$$

внутрішніх

$$z_i = z_{i \min} + ES_{i-1} - ES_i; \quad (2.16)$$

$$2z_i = 2z_{i \min} + ES_{D_{i-1}} - ES_{D_i}, \quad (2.17)$$

де e_{i-1} , $e_{D_{i-1}}$, e_i , e_{D_i} – нижні відхилення розмірів на вказаних попередньому та виконуваному переходах;

ES_{i-1} , $ES_{D_{i-1}}$, ES_i , ES_{D_i} – верхні відхилення розмірів відповідно на попередньому та виконуваному переходах;

$e_{D_{i-1}}$, e_{D_i} , $ES_{D_{i-1}}$, ES_{D_i} – розміри, що належать до діаметральних.

3 Максимальний припуск на обробку поверхонь:

зовнішніх

$$z_{i \max} = z_{i \min} + TD_{i-1} + TD_i; \quad (2.18)$$

$$2z_{i \max} = 2z_{i \min} + TD_{i-1} + TD_i; \quad (2.19)$$

внутрішніх

$$z_{i \max} = z_{i \min} + Td_{i-1} + Td_i; \quad (2.20)$$

$$2z_{i \max} = 2z_{i \min} + Td_{i-1} + Td_i, \quad (2.21)$$

де Td_{i-1} , TD_{i-1} – допуски розмірів на попередньому переході;

Td_{i-1} , TD_i – допуски розмірів на переході.

Разом з цим, максимальні припуски та припуски для технологічних напрямлень - ухили, напуски, що спрощують конфігурацію заготовки, приймають за глибину різання та використовують для визначення режимів різання, а саме, подачі, швидкості різання та вибору обладнання за потужністю.

На основі проведеного розрахунку проміжних припусків встановлюють граничні розміри заготовки за усіма технологічними переходами. Проміжні розрахункові розміри визначають в порядку, зворотного ходу технологічного процесу обробки даної поверхні, а саме, від розміру вже готової деталі до розміру заготовки (для зовнішніх поверхонь) методом послідовного додавання до вихідного розміру вже готової деталі проміжних припусків чи для внутрішніх поверхонь

шляхом послідовного віднімання від вихідного розміру вже готової деталі проміжних припусків. Найменші чи найбільші граничні розміри по усім технологічним переходам визначають шляхом округлення у бік збільшення чи зменшення розрахункових розмірів. Найменші чи найбільші граничні розміри розраховують шляхом віднімання чи додавання допуску до округленого найбільшого чи найменшого граничного розміру.

Граничні значення припусків z_{max} визначають як різницю найбільших (найменших) граничних розмірів і z_{min} як різницю найменших (найбільших) граничних розмірів попереднього та виконуваного (виконуваного та попереднього) переходів.

Загальні припуски $z_{o max}$ та $z_{o min}$ розраховують, як суму проміжних припусків на обробку:

$$z_{o max} = \sum z_{i max}; \quad (2.22)$$

$$z_{o min} = \sum z_{i min}. \quad (2.23)$$

4 Правильність проведених розрахунків перевіряють за формулами:

$$z_{i max} - z_{i min} = T_{i-1} - T_i; \quad (2.24)$$

$$2z_{i max} - 2z_{i min} = T_{Di-1} - T_{Di}; \quad (2.25)$$

$$z_{o max} - z_{o min} = T_3 - T_d; \quad (2.26)$$

$$2z_{o max} - 2z_{o min} = T_{D3} - T_{Dd}, \quad (2.27)$$

де T_{i-1} , T_{Di-1} – допуски розмірів на попередньому переході;

T_i , T_{Di} – допуски розмірів на переході;

T_3 , T_{D3} – допуски розмірів на заготовку;

T_d , T_{Dd} – допуски розмірів на деталь.

Найменування деталі – корпус.

Представлений технологічний маршрут обробки отвору $\varnothing 16(+0,015-0,005)$ мм та зовнішньої поверхні $\varnothing 21(-0,020-0,041)$ мм включає дві операції: чорнове та чистове розточування, що виконуються при одній установці оброблюваної деталі. При цьому, заготовка базується на цій операції на торець, зовнішню поверхню і

притискається трьома кулачками. Схема установки під час обробки зрозуміла з рис. 2.3.

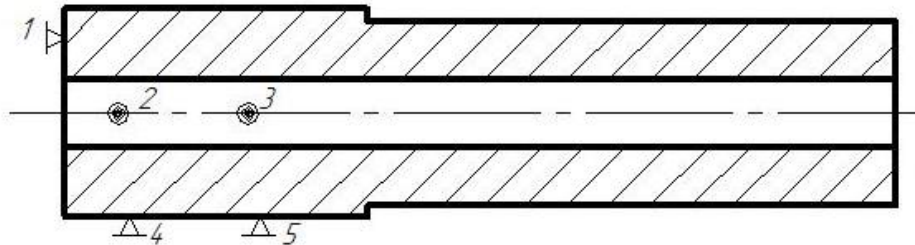


Рисунок 2.3 – Схема базування заготовки

Розрахунок припусків на обробку отвору $\varnothing 6(+0,015-0,005)$, проводимо шляхом складання табл. 2.6, в яку поетапно записуємо технологічний маршрут обробки отворів.

Принцип розрахунку полягає в наступному:

1) У таблицю 2.6. вписуємо технологічні переходи обробки деталі у порядку послідовності їх виконання на кожній поверхні від чорнової заготовки до остаточної обробки.

2) Вписуємо значення Rz , h , Δ і ϵ . Для заготовки типу – тіло обертання сумарні відхилення розташування поверхні Δ_{Σ} розрахуємо за формулою:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{(\Delta_{p.m.б.})^2 + (\Delta_{II})^2} ; \quad (2.28)$$

де $\Delta_{p.m.б.}$ – відхилення розташування отвору відносно технологічної бази, мм;

Δ_{II} – перекіс отвору, мкм. на 1мм

$$\Delta_{II} = \Delta_{II} \cdot L$$

а) для внутрішньої поверхні $\varnothing 16(+0,015-0,005)$ мм:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{0,35^2 + (0,003 \cdot 19,5)^2} = 0,26 \text{ мм}$$

Проміжні значення припусків на механічну обробку визначаємо за формулою:

$$\Delta = k_y \cdot \Delta_3, \quad (2.29)$$

де k_y – коефіцієнт уточнення форми.

Величина залишкового просторового відхилення після чорнового розточування при

$k_y = 0,05$ для внутрішньої поверхні $\varnothing 16(+0,015-0,005)$ мм:

$$\Delta_1 = 0,05 \cdot 260 \approx 13 \text{ мкм.}$$

Похибка установки при чорновому розточуванні отвору $\varnothing 6(+0,015-0,005)$ мм

$$\varepsilon_y = \sqrt{(\varepsilon_B)^2 + (\varepsilon_3)^2} + \varepsilon_{II}, \quad (2.30)$$

де ε_B – похибка базування, мкм;

ε_3 – похибка закріплення, мкм;

ε_{II} – похибка пристосування, мкм.

Опираючись на укрупнений розрахунок точності обробки, встановлюємо похибку установки ε_y при чорновому розточуванні $\varepsilon_i = 30$ мкм.

Залишкова похибка ε_2 установки при одержуваному розточуванні

$$\varepsilon_2 = (0,05 \cdot \varepsilon_1) + \varepsilon_{ИИД}, \quad (2.31)$$

де $\varepsilon_{ИИД}$ – похибка індексації, тому що чорнове та напівчистове розточування проводиться в одній установці, то $\varepsilon_{ИИД} = 0$.

$$\varepsilon_2 = (0,05 \cdot 30) + 0 = 1,5 \text{ мкм.}$$

$$2Z_{\min_i} = 2 \cdot [(R_Z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2}], \quad (2.32)$$

де $R_{Z_{i-1}}$ - висота нерівностей профілю на попередньому переході;

h_{i-1} - глибина дефектного поверхневого шару безвуглецевого або вибіленого шар на попередньому переході;

$\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ - відхилення сумарні розташування поверхні, а саме, відхилення від перпендикулярності, паралельності, симетричності, співвісності, перетину осей, позиційне та в деяких випадках відхилення форми поверхні, такі, як, відхилення від прямолінійності, площинності на попередньому переході;

ε_i - похибка установки заготовки на переході.

4) Заповнюємо графу під назвою Розрахунковий мінімальний розмір d_p починаючи з кінцевого, у разі креслярського, розміру послідовним відніманням розрахункового мінімального припуску кожного переходу.

5) Приймаємо числові значення допусків Td кожного переходу використовуючи таблиці відповідно до класу точності того чи іншого виду обробки.

Так, для напівчистового розточування значення допуску становить 20 мкм, для чорнового розточування $Td = 130$ мкм ; допуск на отвір та зовнішню поверхню у виливку за ДСТУ 8781:2018 становить $Td = 130$ мкм.

6) У графі «Граничний розмір» найбільше значення d_{max} отримуємо за розрахунковими розмірами, округленими до точності допуску відповідного переходу. Найменші граничні розміри d_{min} визначаємо з найбільших граничних розмірів віднімання допусків відповідних переходів.

7) У графі Граничний припуск мінімальні граничні значення припусків Z_{min}^{PP} розраховуємо, як з різниця найбільших граничних розмірів двох переходів - виконуваного та попереднього переходів, а максимальні значення для Z_{max}^{PP} знаходимо з різниці найменших граничних розмірів.

8) Визначаємо загальні припуски $Z_{o_{min}}$ і $Z_{o_{max}}$, підсумовуючи проміжні припуски на обробку.

9) Визначаємо загальний номінальний припуск

$$Z_{o_{НОМ}} = Z_{o_{min}} + B_3 - B_{Д}, \quad (2.33)$$

$$d_{3_{НОМ}} = d_{Д_{НОМ}} - Z_{o_{НОМ}}. \quad (2.34)$$

10) Вірність здійснених розрахунків перевіримо за формулами:

$$Z_{max_2}^{PP} - Z_{min_2}^{PP} = Td_1 - Td_2, \quad (2.35)$$

$$Z_{\max_1}^{PP} - Z_{\min_1}^{PP} = Td_3 - Td_1 \quad (2.36)$$

Розраховуємо загальний номінальний припуск

$$Z_{i_{iii}} = 1022 + 130 - 20 = 1132_{\text{мкм}};$$

$$d_{G_{iii}} = 16 - 1,132 = 14,868_{\text{мм}}.$$

Перевіряємо вірність здійснених розрахунків:

$$Z_{\max_2}^{PP} - Z_{\min_2}^{PP} = Td_1 - Td_2,$$

$$1020 - 1020 = 130 - 130 = 0_{\text{мкм}}.$$

$$Z_{\max_1}^{PP} - Z_{\min_1}^{PP} = Td_3 - Td_1,$$

$$220 - 110 = 130 - 20 = 0_{\text{мкм}}.$$

Таблиця 2.6 – Розрахунок граничних розмірів та припусків за технологічними переходами на обробку внутрішньої поверхні Ø16 (+0,015-0,005) аналітичним методом

Операція	Елементи припуску, мкм				Прип. 2Z _{min} , мкм	Мін. розмір, мм	Допуск Td, мкм	Прийняті (округлені) розміри переходів, мм		Отримані граничні припуски, мкм	
	R _z	h	Δ	ε				d _{max}	d _{min}	2Z _{пр max}	2Z _{пр min}
Заготовка (штамповка)	50	100	360	–	–	14,934	130	15,062	14,936	15065	2119
Розточування: напівчистове	20	20	18	30	1022	15,966	70	15,936	15,966	110	1022
Чистове	1,25	–	–	1,5	116	15,993	20	16,04	15,996	120	120
2Z _{o max min} =										1252	3261

Встановлюємо припуск на всі поверхні рівним 0,5 мм. Чистова обробка 0,05. Отримувана обробка 0,45.

2.7 Розрахунок режимів різання

Розрахунок проводимо для операції 005 Токарна з ЧПУ, що проводиться на багатофункціональному токарному верстаті з числовим програмним управлінням DMG MORI NLX і складається з 8 технологічних переходів:

Перший перехід:

- а) Проводиться напівчистове розточування внутрішньої поверхні $\varnothing 16,1$ і $\varnothing 14$.
- б) Проводиться розточування чистове внутрішньої поверхні $\varnothing 16$.

Другий перехід:

- а) Проводиться підрізання торця.
- б) Точіння зовнішньої поверхні $\varnothing 21,1$.
- в) Точіння зовнішньої поверхні $\varnothing 21$ чистове.

Третій перехід:

Проводиться нарізання різьби M17, що має крок 0,5 на внутрішній поверхні.

Четвертий перехід:

Нарізання різьблення зовнішнього M19 з кроком 0,5.

П'ятий перехід:

Проведення фрезерування криволінійного паза, шириною 7мм.

Шостий перехід:

Обробка поверхні зовнішньої $\varnothing 18$ за буртом використовуючи поперечне точіння.

Сьомий перехід:

Проводимо нарізання різьби M18 кроком 0,75 на поверхні зовнішній за буртом.

Восьмий перехід:

Проводиться відрізка заготовки.

Кожен представлений перехід супроводжується певними режимами різання та необхідними для їх виконання інструментами.

Таблиця 2.7 – Розрахунок швидкості різання та числа оборотів шпинделя для переходу 1.

вихідні	Cv	T	t	S	x _v	y _v	m _v	K _{Mv}	K _{Iv}	K _{Пv}	D
данні	485	7000	0,451	0,11	0,121	0,252	0,282	1,6	1,1	0,9	17
Розрахункова швидкість різання, м/хв								128,88			
Розрахункова частота обертання шпинделя, хв-1								2413,47			
Розрахунок складової сили різання P _z											
вихідні	CPz	x _{Pz}	y _{Pz}	n _{Pz}	K _{MPz}	K _{фPz}	K _{γPz}	K _{λPz}	K _{тPz}		
данні	40	1	0,75	0	2,751	1	1	1	0,871		
Розрахункова складова сили різання P _z , Н								76,582			
Розрахункова потужність різання N _p											
N _p , кВт	0,16										
Розрахунок технологічного часу T _o											
вихідні	L			L1			L2			i	
данні	63,5			1			1			1	
Технологічний час T _o , хв								0,27			

Інструмент для проведення обробки внутрішньої поверхні SANDVIK koromant Coro Turn 111 з двосторонньою швидкозмінною твердосплавною пластиною.

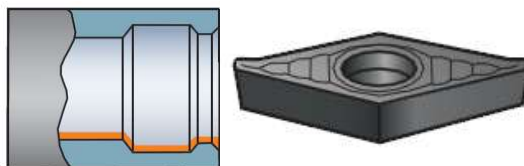


Рисунок 2.4 – Кріплення: Гвинт.

Пластина: Сплав VCGX приміняється для чистової та напівчистової обробки алюмінію. Надзвичайно зносостійкий сплав, що забезпечує високу якість обробки.

Конструкція державки: виконання (праве)



Рисунок 2.5 – Конструкція державки

б) Проведення чистового розточування внутрішньої поверхні Д16.

Таблиця 2.8 – Розрахунок швидкості різання та числа оборотів шпинделя для чистового розточування внутрішньої поверхні Д16

Розрахунок швидкості різання та числа оборотів шпинделя											
вихідні	C_v	T	t	S	x_v	y_v	m_v	K_{Mv}	K_{Iv}	K_{Pv}	D
данні	485	7000	0,05	0,05	0,121	0,25	0,282	1,5	1,2	0,9	16,2
Розрахункова швидкість різання, м/хв								199,53			
Розрахункова частота обертання шпинделя, хв ⁻¹								3944,88			
Розрахунок складової сили різання P_z											
вихідні	C_{Pz}	x_{Pz}	Y_{Pz}	n_{Pz}	K_{MPz}	$K_{фPz}$	$K_{γPz}$	$K_{λPz}$	K_{rPz}		
данні	40	1	0,74	0	2,75	1	1	1	0,86		
Розрахункова складова сили різання P_z , Н								5,059			
Розрахункова потужність різання N_p											
N_p , кВт	0,016										
Розрахунок технологічного часу T_0											
вихідні	L			L1			L2			i	
данні	72			1			1			2	
Технологічний час T_0 , хв								0,75			

Інструмент, що використовують для обробки внутрішньої поверхні SANDVIK коромант CoroTurn 111 з двосторонньою швидкозмінною твердосплавною пластиною.

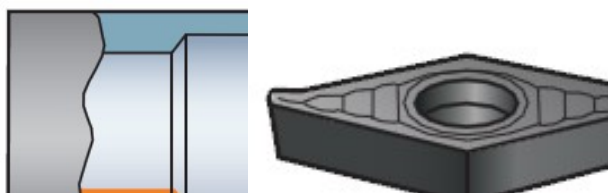


Рисунок 2.6 – Кріплення: Гвинт.

Пластина: VCGX Сплав застосовується для напівчистої та чистої обробки алюмінію. Надзвичайно зносостійкий сплав, що забезпечує високу якість обробки.
Конструкція державки: виконання (праве)



Рисунок 2.6 – Конструкція державки

Другий перехід: а) Підрізання торця.

Таблиця 2.9 – Розрахунок швидкості різання та числа оборотів шпинделя для підрізання торця.

Розрахунок швидкості різання та числа оборотів шпинделя											
вихідні	C_v	T	t	S	x_v	y_v	m_v	K_{Mv}	K_{Iv}	K_{Pv}	D
данні	485	7000	1	0,05	0,13	0,24	0,28	1,5	1,2	0,91	21
Розрахункова швидкість різання, м/хв								139,27			
Розрахункова частота обертання шпинделя, хв ⁻¹								2111,14			
Розрахунок складової сили різання Pz											
вихідні	C_{Pz}	x_{Pz}	y_{Pz}	n_{Pz}	K_{MPz}	$K_{\phi Pz}$	$K_{\gamma Pz}$	$K_{\lambda Pz}$	K_{rPz}		
данні	40	1	0,74	0	2,751	1	1	1	0,86		
Розрахункова складова сили різання Pz, Н								101,19			
Розрахункова потужність різання Np											
Np, кВт	0,23										
Розрахунок технологічного часу To											
вихідні	L			L1			L2			i	
данні	6			1			1			1	
Технологічний час To, хв								0,0751			

Інструмент для проведення напівчистої та чистої обробки зовнішньої поверхні та підрізання торця SANDVIK koromant CoroTurn RC

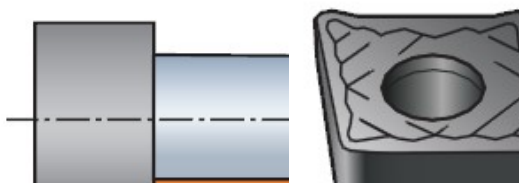


Рисунок 2.7 – Кріплення: Притиск клин-прихватом зверху.

Пластина: VCGX Сплав застосовується для напівчистої та чистої обробки алюмінію. Надзвичайно зносостійкий сплав, що забезпечує високу якість обробки.

Конструкція державки: виконання (праве):

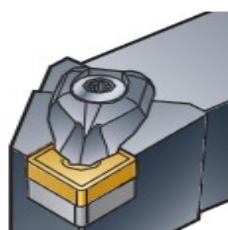


Рисунок 2.8 – Конструкція державки

б) Отримане точіння зовнішньої поверхні Д 21,1.

Таблиця 2.10 – Розрахунок швидкості різання та числа оборотів шпинделя для проведення точіння зовнішньої поверхні Д 21,1

Розрахунок швидкості різання та числа оборотів шпинделя											
вихідні	C_v	T	t	S	x_v	y_v	m_v	K_{Mv}	K_{Iv}	K_{Pv}	D
данні	485	3500	0,44	0,1	0,11	0,25	0,28	1,5	1,21	0,9	22.2
Розрахункова швидкість різання, м/хв								156,52			
Розрахункова частота обертання шпинделя, хв ⁻¹								2264,433			
Розрахунок складової сили різання P_z											
вихідні	C_{Pz}	x_{Pz}	y_{Pz}	n_{Pz}	K_{MPz}	$K_{\phi Pz}$	$K_{\gamma Pz}$	$K_{\lambda Pz}$	K_{rPz}		
данні	40	1	0,75	0	2,74	1	1	1	0,86		
Розрахункова складова сили різання P_z , Н								76,57			
Розрахункова потужність різання N_p											
N_p , кВт	0,19										
Розрахунок технологічного часу T_0											
вихідні	L			$L1$			$L2$			i	
данні	74.9			1			1			1	
Технологічний час T_0 , хв								0,29			

Довжина L складається з кількох поверхонь, а саме, поверхонь $D_{21} = 63,5$ мм, $D_{24,8} = 8$ мм та висоти торця бурта, рівної 3,4 мм.

Інструмент для напівчистої та чистої обробки зовнішньої поверхні та підрізування торця SANDVIK koromant CoroTurn RC

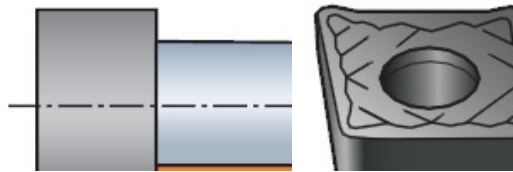


Рисунок 2.9 – Інструмент для напівчистої та чистої обробки зовнішньої поверхні та підрізування торця

Кріплення: Притиск клин-прихватом зверху.

Пластина: VCGX Сплав застосовується для напівчистої та чистої обробки алюмінію. Надзвичайно зносостійкий сплав, що забезпечує високу якість обробки

Конструкція державки: виконання (праве)

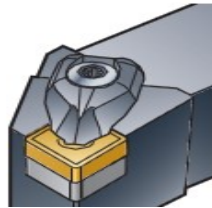


Рисунок 2.10 – Конструкція державки

в) Чистове точіння зовнішньої поверхні D_{21} (обробка за контуром).

Таблиця 2.11 – Розрахунок швидкості різання та числа оборотів шпинделя для чистового точіння зовнішньої поверхні D_{21}

Розрахунок швидкості різання та числа оборотів шпинделя											
вихідні	C_v	T	t	S	x_v	y_v	m_v	K_{Mv}	K_{Iv}	K_{Iv}	D
данні	485	3500	0,05	0,05	0,12	0,25	0,28	1,5	1,2	0,9	21,1
Розрахункова швидкість різання, м/хв								242,26			
Розрахункова частота обертання шпинделя, хв ⁻¹								3654,82			
Розрахунок складової сили різання Pz											
вихідні	C_{Pz}	x_{Pz}	y_{Pz}	n_{Pz}	K_{MPz}	$K_{\phi Pz}$	$K_{\gamma Pz}$	$K_{\lambda Pz}$	K_{rPz}		
данні	40	1	0,75	0	2,75	1	1	1	0,88		
Розрахункова складова сили різання Pz, Н								5,0591			

Розрахункова потужність різання N_p				
№, кВт	0,020028887			
Розрахунок технологічного часу T_0				
вихідні	L	L1	L2	i
данні	63,5	1	1	2
Технологічний час T_0 , хв			0,71	

Інструмент для напівчистої та чистої обробки зовнішньої поверхні та підрізування торця SANDVIK koromant CoroTurn RC.

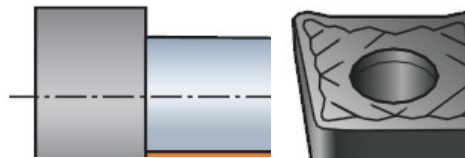


Рисунок 2.11 – Інструмент для напівчистої та чистої обробки зовнішньої поверхні та підрізування

Кріплення: Притиск клин-прихватом зверху.

Пластина: VCGX Сплав застосовується для проведення напівчистої та чистої обробки алюмінію. Надзвичайно зносостійкий сплав забезпечує високу якість обробки. Конструкція державки, виконання (праве)

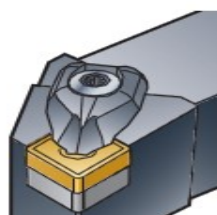


Рисунок 2.12 – Конструкція державки

Третій перехід: Проводимо нарізання різьби M17 на внутрішній поверхні з кроком 0,5.

$T=15000$

Інструмент для нарізання внутрішнього різьблення SANDVIK koromant KARTO 166.4 KF з трьохсторонньою швидкозмінною пластиною.

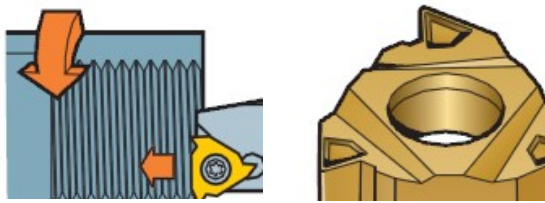


Рисунок 2.13 – Інструмент для нарізання внутрішнього різьблення

Кріплення: гвинт.

Пластина: Сплав GC1020 Сплав спеціально розроблений для різьбових операцій з більшості операцій, має високу зносостійкість.

Конструкція державки: (виконання праве)

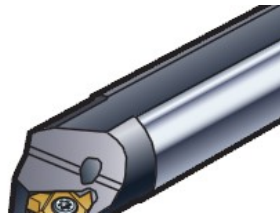


Рисунок 2.14 – Конструкція державки

Четвертий перехід: Нарізання зовнішньої різьби M19, що має крок 0,5.

T=15000

Інструмент, що використовують для нарізання зовнішньої різьби - SANDVIK koromant KARTO 166.4 KF з трьохсторонньою швидкозмінною пластиною.

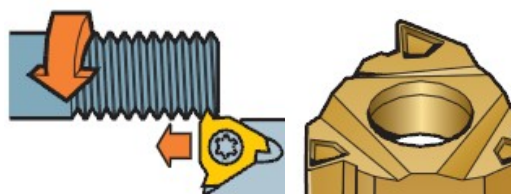


Рисунок 2.15 – Інструмент для нарізання зовнішньої різьби

Пластина: Сплав GC1020 Сплав спеціально розроблений для різьбових операцій з більшості операцій, має високу зносостійкість.

Конструкція державки: (виконання праве)



Рисунок 2.16 – Конструкція державки

П'ятий перехід: Проводимо фрезерування паза криволінійного, шириною 7 мм.

Таблиця 2.12 – Розрахунок швидкості різання та числа оборотів шпинделя для фрезерування криволінійного паза

Розрахунок швидкості різання та числа оборотів шпинделя											
вихідні	C_v	T	t	S_z	q	m	z	K_{Mv}	K_{Iv}	K_{Lv}	D
данні	185,5	7000	1,21	0,1	0,45	0,32	2	1	1	1	7
i	x		y		u		p		B		
значення	0,3		0,2		0,1		0,1		1,5		
Розрахункова швидкість різання, м/хв								31,23			
Розрахункова частота обертання шпинделя, хв-1								1464,68			
тах число обертів приводного шпинделя								6000`			
інструменту верстата, мін-1											
Розрахункова швидкість різання, м/хв								132,88			
Розрахунок окружної сили різання P_z											
вихідні	C_p	x	y	q	K_{MP}	u	w				
данні	17	0,22	0,18	0,22	2,75	1	0				
Розрахункова осьова сила різання P_o , Н								317,11			
Розрахунок крутного моменту. $M_{кр}$											
Крутний момент, Н*м								11,109			
Розрахункова потужність різання N_p											
N_p , кВт	0,68										
Розрахунок технологічного часу T_o											
вихідні	L			L_1			L_2			i	
данні	30			1			1			2	
Технологічний час T_o , хв								4,84			

Інструментом, що використовується для обробки криволінійного паза є твердосплавна кінцева фреза SANDVIK koromant CoroMill Plura. Цей сплав призначений для проведення високо ефективною обробки кольорових сплавів.



Рисунок 2.17 – Кріплення фрези у приводний VDI блок.

Шостий перехід: Обробка зовнішньої поверхні Д18 за буртом, з використанням поперечного точіння.

Інструмент для обробки зовнішніх канавок: SANDVIK koromant CoroCut F123, з швидко змінною двосторонньою твердосплавною пластиною.

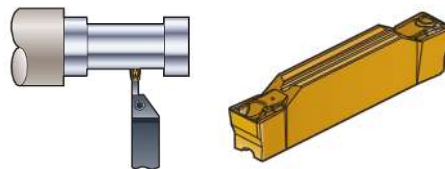


Рисунок 2.18 – Інструмент для обробки зовнішніх канавок

Кріплення: Гвинт. Пластина: CF Сплав CD10-Застосовується для чистової обробки алюмінію.

Надзвичайно зносостійкий сплав, що забезпечує високу якість обробки.

Конструкція державки: виконання (праве).

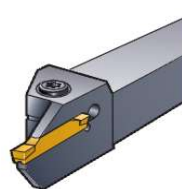


Рисунок 2.19 – Конструкція державки

Сьомий перехід: Нарізання різьби М18 , що має крок 0,75 на зовнішній поверхні за буртом.

T=15000

Інструмент для нарізування зовнішньої різьблення SANDVIK koromant KARTO 166.5 FA з швидкозмінною трьома сторонніми пластинами. Призначений для роботи в стиснених умовах, і біля заднього центру.

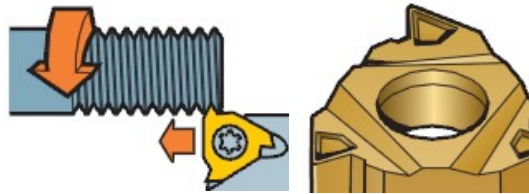


Рисунок 2.20 – Інструмент для нарізування зовнішньої різьблення

Кріплення: гвинт.

Пластина: Сплав GC1020 Сплав спеціально розроблений для різьбових операцій з більшості операцій, має високу зносостійкість.

Конструкція державки: (виконання праве)

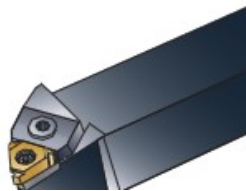


Рисунок 2.20 – Конструкція державки

8 перехід: Відрізання заготовки.

Інструмент для відрізки заготовки: SANDVIK koromant CoroCut F123, з двосторонньою швидко змінною твердосплавною пластиною.

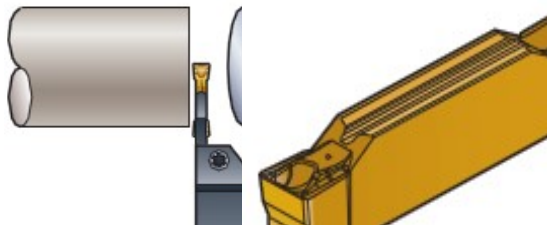


Рисунок 2.21 – Інструмент для відрізки заготовки

Кріплення: Гвинт.

Пластина: CF Сплав CD10-Застосовується для чистової обробки алюмінію.
Надзвичайно зносостійкий сплав, що забезпечує високу якість обробки.

Конструкція державки: виконання (праве).

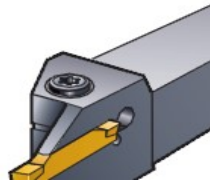


Рисунок 2.22 – Конструкція державки

2.8 Нормування технологічної операції

За умов масового та серійного виробництв технічні норми часу встановлюються розрахунково-аналітичним методом.

Нормуємування операції токарна 005з ЧПУ.

Норма штучно-калькуляційного часу для великосерійного та масового виробництв визначається за формулами:

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{п.з.}}{n} ; \quad (2.37)$$

$$T_{шт} = T_o + T_{всп} + T_{тех} + T_{орг} + T_{відп}, \text{ МИН} \quad (2.38)$$

де T_o – час основний, хв; $T_o = 9,14$ хв.

T – час допоміжний, хв;

$T_{тех}$ – час технологічний на операцію, хв

$T_{орг}$ – час обслуговування робочого місця, хв;

$T_{відп}$ - час на перерву на відпочинок та особисті потреби, хв.

Основний час розрахуємо на підставі прийнятих режимів різання, в цьому випадку він дорівнює сумі часу обробки на кожен технологічний перехід:

$T_o = 4,22 + 4,51 + 16,5 + 45 + 5,5 + 17,5 + 42,6 + 9 + 6 + 5,1 + 291 + 84 + 5,2 + 12,7 = 9,14$ хв.

Допоміжний час розраховується сумою витрат часу на окремі прийоми [5]:

$$T_B = T_{XC} + T_{ВП} + T_{ИЗ}, \quad (2.39)$$

де T_{yc} – час, що витрачається на встановлення та зняття деталі, хв;

$T_{уп}$ – час прийому управління, хв;

$T_{вим}$ – час вимірювання деталі, хв.

Час, що витрачається на встановлення та зняття деталі, її закріплення та відкріплення:

$$T_{вс} = 0,35 \text{ хв}$$

Час на дії управління: включити та вимкнути верстат – 0,05 хв; час на підведення або відведення різців складає 0,05 хв.

$$T = 0,051 + 0,05 = 0,11 \text{ хв.}$$

Час вимірювання деталі: $T_{вим} = 0,29$ хв.

Визначаємо допоміжний час:

$$T_{доп} = 0,35 + 0,2 + 0,291 = 0,751 \text{ хв}$$

У великосерійному виробництві час, що витрачають на технічне та організаційне обслуговування окремо не визначаються. У встановлених нормативах визначається додаванням цих двох складових у відсотковому відношенні оперативного часу.

Оперативний час

$$T_{оп} = T_o + T_v, \quad (2.40)$$

Розраховуємо оперативний час:

$$T_{оп} = 9,15 + 0,73 = 9,88 \text{ хв.}$$

Встановимо час на обслуговування робочого місця та час відпочинку:

$$T_{тех} = T_o \cdot 2,61 / 120 \quad (2.41)$$

$$T_{тех} = 9,14 \cdot 2,61 / 120 = 0,191 \text{ хв.}$$

$$T_{орг} = T_{опер} \cdot 1,8 / 100\% \quad (2.42)$$

$$T_{орг} = 9,88 \cdot 1,8 / 100\% = 0,18 \text{ хв}$$

$$T_{відп} = T_{опер} \cdot 6 / 100\% \quad (2.43)$$

$$T_{відп} = 9,88 \cdot 6 / 100\% = 0,6 \text{ хв}$$

Розраховуємо норму штучного часу:

$$T_{шт} = T_o + T_{доп} + T_{тех} + T_{орг} + T_{відп} \quad (2.44)$$

$$T_{шт} = 9,14 + 0,75 + 0,191 + 0,17 + 0,6 = 10,85 \text{ хв}$$

$Q_{ч} = 1/T_{шт} = 60/10,84 = 5,53$ деталі на годину.

$$T_{пз} = a + (b \cdot N_i) + (c \cdot P_p) \quad (2.45)$$

$$T_{пз} = 11 + (0,9 \cdot 8) + (0,51 \cdot 5) = 11,91 \text{ хв}$$

де a, b, c – постійні коефіцієнти, що дорівнюють: $a = 11, b = 0,8, c = 0,5$;

N_i – кількість різальних інструментів, шт.

P_p – числове значення встановлюваних режимів роботи верстата.

$$n = N \cdot a / 255 \quad (2.48)$$

$n = 5450 \cdot 5 / 255 = 108$ шт.- величина партії заготовок.

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз/n} \quad (2.47)$$

$$T_{шт.к} = 10,85 + (11,91/108) = 10,981 \text{ хв.}$$

2.9. Розробка керуючої програми обробки деталі

Дедалі більше вітчизняних машинобудівних підприємств переозброює свій парк устаткування. Про причини, що викликали до життя цей процес, сказано чимало, тож, не повторюючись, зазначимо лише одне, що за рахунок модернізації виробництва на підприємствах України зростає кількість сучасних багатофункціональних верстатів з ЧПУ.

Маючи значні переваги, верстати з ЧПУ самі по собі – це набір механізмів, якими потрібно вірно керувати. А саме, йдеться про керуючі програми (КП) для верстатів з ЧПУ.

Способи отримання цих програм є дуже різноманітними – від написання вручну до використання систем САМ. В випадку нашої роботи для розробки керуючої програми система САМ не використовується, тому що деталь немає складних оброблюваних поверхонь. Перевірки програми проводиться програмою 3D-Viewe, яка надається з програмним забезпеченням верстата.

3D-Viewe являється програмним комплексом для візуалізації проведення процесу обробки на верстатах з ЧПУ, для перевірки та оптимізації керуючих програм любого формату. Найголовнішим і найважливішим і завданням даного програмного забезпечення є виявлення та виключення ще до початку дійсної обробки, можливість взаємного зіткнення робочих органів верстата. Такі ситуації

можуть зустрічатися часто і щоб їх уникнути, використовуються програмні комплекси для візуалізації всього процесу обробки, 3D-View є однією з таких програм [18].

Деталь корпус являється тонкостінним тілом обертання, що володіє складною геометричною формою з елементами різьблення та складним криволінійним пазом. Моделювання корпусу проведено з використанням програмне забезпечення SolidWorks. Зважаючи на технологію обробки деталі, як писалося раніше, необхідно використовувати такі інструменти для обробки деталі:

1. Зовнішній різьбовий різець;
2. Розточний різець;
3. Прохідний упорний різець;
4. Внутрішній різьбовий різець;
5. Відрізний різець.
6. Фреза;

Вимірювання даних різця відбувається наступним чином: система ЧПУ повинна використовувати знаходження вершини різця, а за базову точку різцетримач. Всі інструменти, які використовуються для обробки, мають бути вимірними. Виникає необхідність вимірювання у напрямках обох осей X та Z відстані між вершиною різця та базовою точкою N різцетримача (рис. 2.23 а). У області інструментів (рис. 2.23 б) зберігаються вимірні корекції на радіус і позиція різця (рис. 2.23 в). Номер проведеного коригування може бути любым номером регістра, але має визначатися знаходженням та викликом інструмента в програмі.

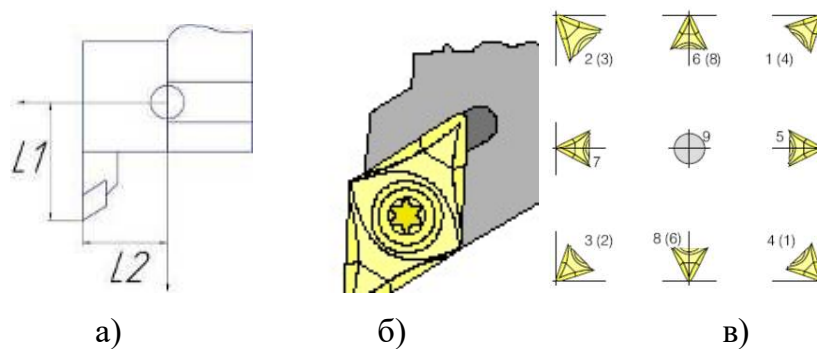


Рисунок 2.23 – Вимірювання координат вершини різця (а), ріжуча частина із закругленням по радіусу R (б) та позиції вершини різця (в).

Корекція на довжину інструмента револьверної головки позиції 4 збережена, як корекція номер 4. Інструмент в програмі викликається функцією T4 D1. Позначення T вказує на функцію інструменту, утворюється від першої літери англійського слова Tool, переклад українською, як інструмент. Цифра після літери T встановлює позицію інструмента в револьверній головці, а цифра після літери D показує номер корекції, яка відноситься до цієї позиції. Проведення коригування на довжину інструмента може проводитися автоматично, а радіус різця та його позицію встановлюють вручну. Радіус та позиції різця вводяться лише при вказанні корекції на радіус. Позиція різального інструмента вводиться обов'язково.

Проводять вимірювання таких інструментів: L1 в напрямку осі X, в абсолютних значеннях від точки N (рис. 2.23, а), вимірювання L2 в напрямку осі Z, в абсолютних значеннях від точки N та R – радіус вершини різця (рис. 2.23, б). При цьому, позиція різця у револьверній головці повинна бути відома.

Корекція на знос інструменту встановлюється в полі "offset wear" після декількох робочих циклів. Корекції на довжину при введенні додаються або віднімаються з геометричних даних інструменту із збільшенням.

X+/-...прирощення в діаметрі до геометричного значення,

Z+/-...приріст до геометричного значення по осі Z

R+/-... збільшення до значення геометричного радіуса.

Створення керуючої програми

Принцип роботи FANUC 31i-B з фірмовим інтерфейсом MAPPS IV (DMG MORI). Розробка керуючої програми виконувалась у САМ-системі ESPRIT на основі тривимірної твердотільної моделі деталі. Геометричну модель деталі було імпортовано у робоче середовище системи та орієнтовано відповідно до осі обертання токарного верстата з ЧПК.

По створеній нами назві деталі робимо подвійне натискання лівою кнопкою миші тоді відкриється вікно в якому потрібно створити безпосередньо програму та під програму. «KORPUS».

Далі натискаємо пункт створити у правій колонці, потім вводимо назву програми та обираємо тип MPF.

В зв'язку з тим, що обробка даної деталі буде відбуватися по контурах нам необхідно їх створити, а потім вставити їх в керуючу програму, це робиться за допомогою циклу, в даному випадку використаємо цикл 95, а саме, обробка за контуром.

Для здійснення зовнішнього обточування створюємо контур. Натискаємо пункт створити у правій колонці, далі вказуємо назву контуру та обираємо тип MPF

Натискаємо кнопку «ОК» та переконуємося чи створений контур є в наявності. Проводимо подвійне клацання лівою кнопкою миші на створеній назві, далі відкриється редактор і тут здійснюється літерне та числове введення послідовності команд.

Будемо створювати контур за вільним програмуванням контуру, він задається геометричною побудовою в спеціальному окремому редакторі, вибираємо меню "Підтримка", що знаходиться у рядку команд, а тоді у правому ряду команд вибираємо пункт під назвою "Новий контур".

Починається програмування контуру з того, що визначається початкова точка, далі вводимо координати $Z = 0$, $X = 18$, натискаємо введення елемента. Далі за кресленням деталі створюється весь контур.

Лінія перша нашого контуру - це лінія під кутом 45° «Фаска» для того, щою її створити вибираємо пункт «Довільна пряма» у правому вертикальному ряду команд та вводимо координати кінцевої точки прямої: $X = 19$, $Z = -0,5$, натискаємо введення елемента.

Наступним елементом нашого контуру є горизонтальна пряма. Для її побудови в правому вертикальному меню команд обираємо пункт «Горизонтальна пряма» та задаємо координати кінцевої точки лише за віссю Z ($Z = -8$). Початковою точкою цієї прямої є кінцева точка попереднього елемента. Після цього підтверджуємо введення елемента.

Подальшою частиною контуру є вертикальна пряма. Для її побудови в правому вертикальному меню команд обираємо пункт «Вертикальна пряма» та

вводимо координати кінцевої точки лише за віссю X, звертаючи увагу на граничні відхилення цього розміру ($X = 20,97$). Початковою точкою буде кінцева точка попереднього елемента, далі підтверджуємо побудову.

Наступною частиною контуру є горизонтальна пряма. Для її побудови в правому вертикальному меню команд обираємо пункт «Горизонтальна пряма» та підтверджуємо введення елемента.

Наступний етап - будова вертикальної прямої. Для її побудови в правому вертикальному меню команд знаходимо та робимо вибір пункту «Вертикальна пряма», координати кінцевої точки задаємо тільки за віссю X ($X = 24,8$). Початковою точкою буде кінцевою точкою попереднього елемента, натискаємо підтвердження введення елемента.

Наступний елемент контуру - це горизонтальна пряма, в правому вертикальному ряду команд для її створення вибираємо пункт "Горизонтальна Пряма", проводимо введення координат кінцевої точки заданої прямої тільки для Z, а саме, $Z=-71$, знову координатами початку буде кінцева точка попереднього елемента, натискаємо згоду на введення елемента.

Контур завершує завжди вертикальна пряма, потрібна для позначення діаметра заготовки, для нашого випадку діаметр заготовки дорівнює 30 мм, Аналогічно, для її створення вибираємо пункт "вертикал. Пряма" в правому вертикальному ряду команд, вводимо значення координати кінцевої точки прямої тут по X, та $X = 30$, координатами початку буде кінцева точка.

Програмування контуру завершується при натисканні кнопки “введення”.

Аналогічно створюємо другий контур для проведення внутрішнього розточування.

Робота FANUC 31i-B з фірмовим інтерфейсом MAPPS IV (DMG MORI) організована у 6 меню, так званих операційних зон:

- 1) Machine – це верстат;
- 2) Program – це програма;
- 3) Parameter - відповідно параметр;
- 4) Diagnosis – це діагностика;

- 5) Services – це сервіс;
- 6) Start-UP– це пуско-налагодження;

З метою створення керуючої програми для виготовлення деталі Корпус 035-DH435-P використовуємо операційну зону-Program, в головному меню, виберемо пункт «Програма», що викликається клавішею F3, відкривається підменю, яке надає наступні пункти:

- 1) Деталі викликається клавішею F1;
- 2) Програми обробки деталі викликається клавішею F2;
- 3) Підпрограми викликається клавішею F3;
- 4) Стандартні цикли викликається клавішею F4;
- 5) Цикли користувача викликається клавішею F5;
- 6) Буфер викликається клавішею F6;

Натискаємо пункт 1-Деталі, де знаходиться список раніше створених та завчасно збережених програм, крім цього дає можливість створити нову програму. Для створення вибираємо пунктом «Створити» у крайньому правому вертикальному ряду команд. Тут пропонується ввести назву деталі, натискаємо «ОК» та впевнюємося у появі даної деталі в списку деталей, що створені раніше.

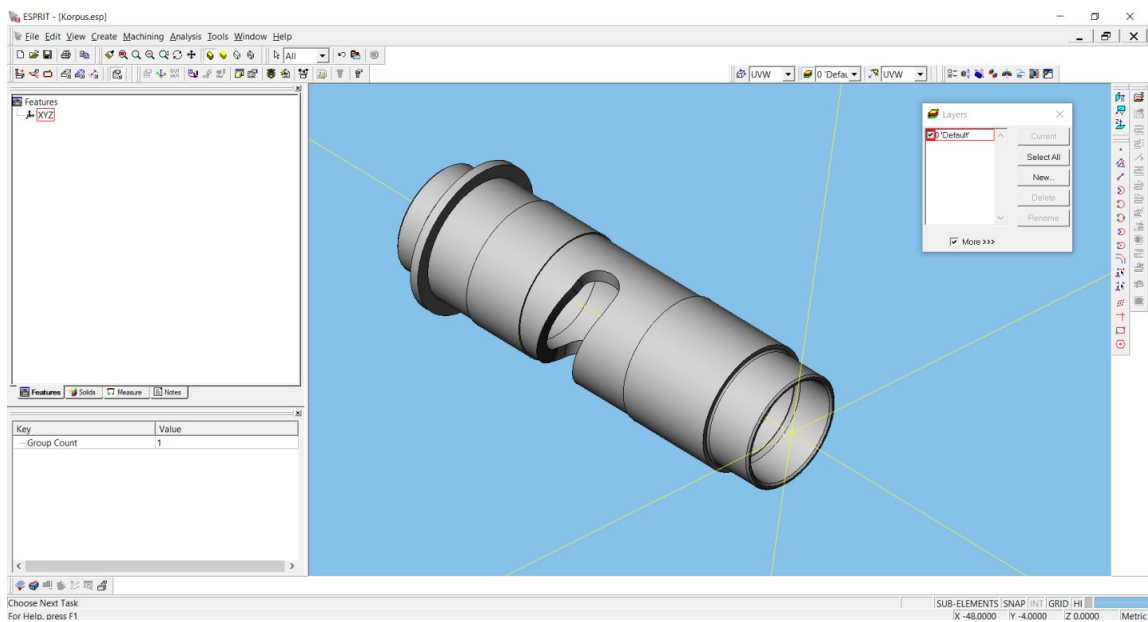


Рисунок 2.24 – Поява деталі у списку створених деталей

На початковому етапі виконано завдання заготовки циліндричної форми зовнішнім радіусом 15 мм, внутрішнім радіусом 4 мм та довжиною 100 мм. Заготовка була прив'язана до головного шпинделя (Main Spindle), що забезпечує коректне формування траєкторій інструмента.

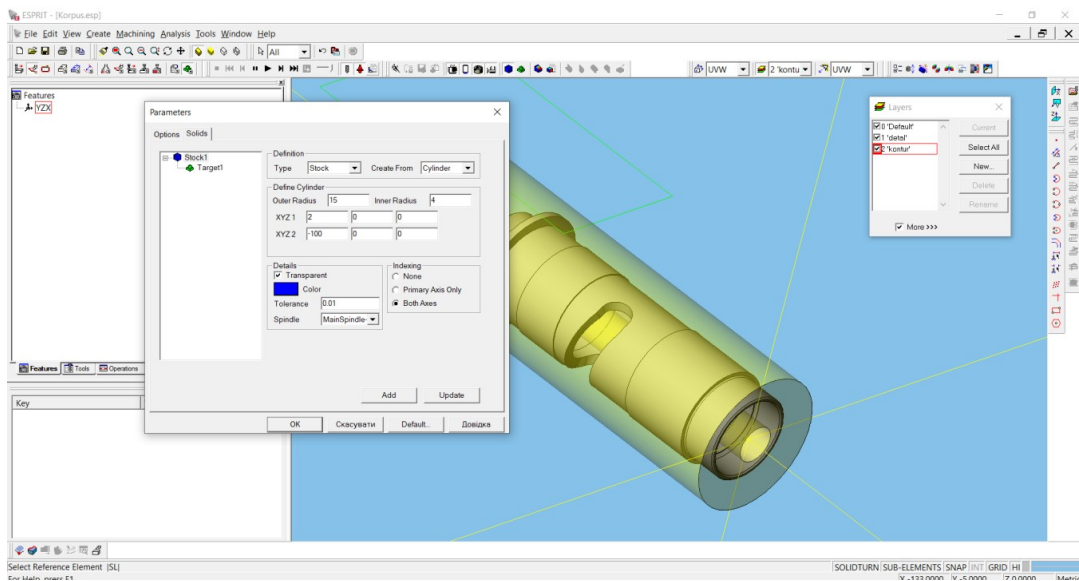


Рисунок 2.25 – Прив'язка заготовки до головного шпинделя

Для обробки зовнішніх поверхонь створено операції чорнового та чистового точіння типу SolidTurn – Roughing. Обробка виконується пошаровим зняттям матеріалу вздовж осі Z із заданими режимами різання.

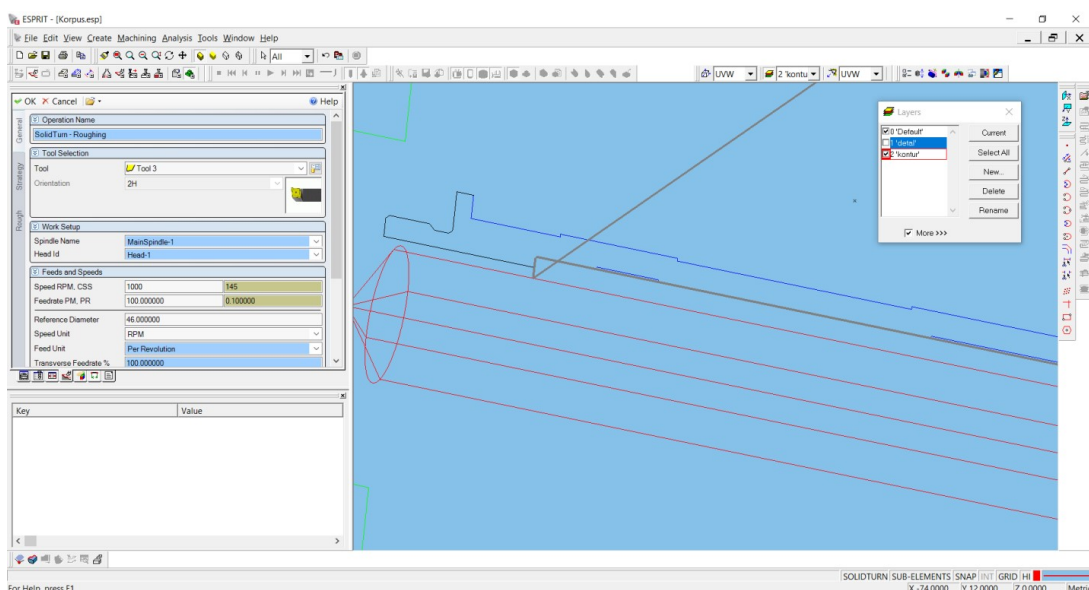


Рисунок 2.26 – Пошарове зняття матеріалу вздовж осі Z із заданими режимами різання

Перед генерацією керуючої програми виконано імітацію процесу обробки, яка дозволила перевірити правильність траєкторій інструмента та відсутність зіткнень між інструментом, заготовкою і патроном.

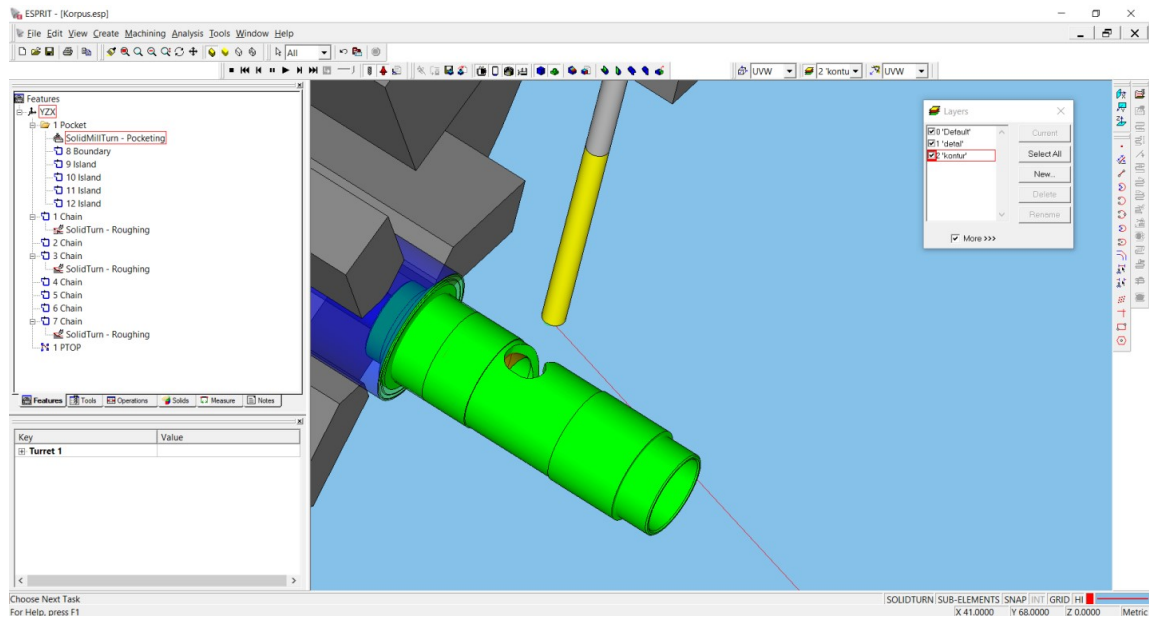


Рисунок 2.27 – Імітація процесу обробки

Фрагмент керуючої програми (FANUC)

```
%  
N0001 G21  
N0002 M05  
N0003 G00  
N0004 T0201  
N0005 G97 S1000 M03  
N0006 G00 G54 X0 Z0 M08  
N0007 G99  
N0008 X34.0  
N0009 G01 X33.0 F0.1  
N0010 G01 X5.2  
N0011 G01 Z-20.5  
N0012 G28 U0. W0. M05  
N0013 M09  
N0014 M01
```

.....

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Проектування захватного пристрою для роботизованого технологічного комплексу

Промисловий робот – окремий незалежний пристрій, який складається з механічного маніпулятора та запрограмованої системи управління, що застосовується для створення переміщень об'єктів у просторі та для практичного виконання різних виробничих процесів.

Промислові роботи являються головними компонентами гнучких автоматизованих виробничих систем, які дають змогу збільшити продуктивність праці.

Робот складається з механічної частини та окремої система управління даною механічною частиною. Остання отримує сигнали, що надсилаються від сенсорної частини. Перша частина механічна поділяється на маніпуляційну та систему пересування. Маніпулятором є механізм з функцією керування просторовим положенням об'єктів та знарядь праці. Маніпулятори оснащені рухливими ланками двох типів:

- 1) Ланки для забезпечення поступальних рухів;
- 2) Ланки для забезпечення кутових рухів.

Взаємне розташування та поєднання ланок встановлює ступінь рухливості та поле дії маніпуляційної системи робота. Рух в ланках забезпечується за допомогою електричних, гідравлічних або пневматичних приводів.

Захватні пристрої є частиною маніпуляторів. Універсальними хватними пристроями за прототипом руки людини здійснюється захоплення механічними «пальцями». Для здійснення захоплення плоских предметів застосовуються хватні пристрої з пневматичними присосками. Під час роботи з великою кількістю однотипних деталей, що є типовим для промислових роботів, використовують спеціалізовані хватні конструкції. У деяких випадках замість хватного пристрою маніпулятор оснащується робочим інструментом, таким як пульверизатор,

зварювальні кліщі, викрутка та інші. У межах приміщень і на промислових об'єктах роботи можуть пересуватися вздовж монорейок, по підлогових коліях тощо.

Для здійснення переміщення по вертикальним чи похилим площинам використовуються системи подібні крокуючим конструкціям але з пневматичними присосками.

Управління роботами може бути кількох типів:

- Програмне управління – найбільш простий тип системи керування для керування маніпуляторами на промислових підприємствах. Сенсорна частина у таких роботах відсутня, а усі дії робота жорстко фіксовані та постійно повторюються. Для програмування цих роботів застосовують середовище програмування типу VxWorks/Eclipse або різні мови програмування, такі, як Оберон, Forth, Компонентний Сі, Паскаль. В якості апаратного забезпечення використовуються промислові комп'ютери в мобільній версії PC/104, іноді MicroPC. Відбувається при допомозі ПК чи програмованого логічного контролера.

Адаптивне керування використовується для роботів з такою системою керування оснащуються сенсорною частиною. Датчики передають сигнали, які аналізуються, далі в залежності від результатів йде спрацювання та прийом рішення про подальші дії, можливий перехід до наступної стадії дій і т.і.

Керування з використанням методів штучного інтелекту.

Керування проводиться людиною, приклад - дистанційне керування.

Сучасні роботи функціонують з урахуванням принципів зворотний зв'язок, підлеглого управління та підлеглої системи управління роботом. Ієрархія системи керування роботом передбачає поділ системи керування на горизонтальні рівні. Вищі рівні відповідають за загальну поведінку робота та розрахунок необхідної траєкторії руху маніпулятора, нижчі — за керування роботою окремих приводів, а найнижчі рівні безпосередньо здійснюють управління двигунами приводів. Підпорядковане керування використовується для побудови систем керування приводами. У разі необхідності керування приводом за положенням (наприклад, за кутом повороту ланки маніпулятора) система замикається зворотним зв'язком за положенням. У середині цього контуру

функціонує система керування за швидкістю з власним зворотним зв'язком, а в її складі — контур керування за струмом, який також має зворотний зв'язок.

Сучасний робот має в оснащенні не тільки зворотні зв'язки за швидкістю, становищем, прискоренням ланок. У випадках захоплення деталей робот повинен знати про успішно проведені дії чи ні, чи вдалося захопити деталь. У разі роботи з крихкими деталями або з деталями, поверхня яких має високий ступінь чистоти, застосовують складні системи керування зі зворотним зв'язком за зусиллям. Такі системи дають змогу роботу захоплювати деталь без пошкодження її поверхні та без порушення її цілісності.

Керування роботом може здійснюватися як людиною-оператором, так і системою управління промисловим підприємством (ERP-системою), яка узгоджує дії робота з готовністю заготовок і верстатів із числовим програмним керуванням до виконання технологічних операцій. Найпоширенішими діями, що здійснюють промислові роботами є наступні:

- зварювання швів та точкове зварювання;
- фарбування;
- переміщення роботом деталей та заготовок між верстатів або від верстата до систем змінних палет;
- здійснення операцій різання, що супроводжується рухом інструменту по складній траєкторії.

Переваги використання промислових роботів:

- можливість безперервного використання технологічного обладнання у три зміни кожного дня, без вихідних;
- висока точність виконання технологічних операцій, а внаслідок цього і підвищення якості виготовлення продукції;
- достатньо швидка окупність;
- мінімізація впливу людського чинника на конвеєрних виробництвах, а також під час виконання монотонних операцій з високими вимогами до точності;
- раціональне використання виробничих приміщень;

- зменшення та усунення впливу шкідливих факторів виробництва на персонал, який працює на роботах з підвищеною небезпекою [19].

Виробниками промислових роботів є наступні фірми:

- FANUC;
- KUKA Roboter GmbH;
- ABB;
- Kawasaki Robotics;
- Epson.

Роботизований технологічний комплекс (РТК) доцільно формувати на базі верстатів середньої розмірної групи, призначених для обробки штучних заготовок, зокрема верстатів з ЧПК. Такий підхід забезпечує раціональне поєднання продуктивності, гнучкості та стабільності якості обробки в умовах серійного виробництва.

РТК розглядається як сукупність взаємопов'язаного обладнання та допоміжних пристроїв, об'єднаних єдиною системою керування, що забезпечує узгоджену роботу транспортно-завантажувальних операцій, механічної обробки, контролю та міжопераційного накопичення. Єдина система керування дає змогу синхронізувати такти, мінімізувати простої обладнання та підвищити коефіцієнт завантаження верстатів за рахунок автоматизації подачі/знімання заготовок і передачі інформації між модулями комплексу.

Для роботи у складі роботизованого технологічного комплексу обираємо промисловий робот FANUC M-10iD/8L (рис. 2.4). Даний робот призначений для автоматизації завантажувально-розвантажувальних і допоміжних технологічних операцій та забезпечує швидке й компактне переміщення об'єктів у межах робочої зони комплексу.

Робот FANUC M-10iD/8L характеризується оптимальним поєднанням вантажопідйомності, досяжності та динамічних характеристик, що робить його доцільним для роботи з вантажами середніх розмірів і маси. Висока повторюваність позиціонування та жорсткість конструкції забезпечують стабільність виконання

технологічних операцій, зокрема завантаження та розвантаження верстатів з ЧПК, орієнтацію заготовок і їх міжопераційне транспортування.

Компактне виконання робота дає змогу раціонально інтегрувати його в компоновальну схему РТК без збільшення виробничої площі, а сучасна система керування FANUC забезпечує надійну синхронізацію роботи робота з верстатами та іншими елементами комплексу.



Рисунок 3.1 – Робот FANUC M-10iD/8L

3.2 Аналіз відомих типових схем захватів

До захватів захоплювальних пристроїв ставлять наступні вимоги:

- забезпечення надійного утримання та фіксації об'єкта при розгоні й гальмуванні рухомих елементів промислового робота;
- гарантування високої точності позиціонування заготовки у робочих губках захватного механізму;
- виключення можливості пошкодження чи руйнування транспортуваної заготовки. При цьому особливий акцент слід зробити на контролі допустимих для даного типу захвату контактних і згинальних напружень, а також моментів у зонах кріплення.

- діапазон розмірів заготовок, які захоплюються, є достатньо великим, тому це можна робити без переналагодження;

- Можливість швидкої та автоматичної заміни захватного пристрою повинна поєднуватися з компактністю та простотою його конструкції, що забезпечує зручність експлуатації та мінімізацію часу на переналагодження системи.

Відомі конструкції захватів класифікуються за такими головними ознаками:

1. В залежності від типу деталей, що закріплюються:

- для закріплення деталей циліндричного типу (вали);
- для утримання деталей типу дисків, фланців, шківів, зубчастих коліс та інших подібних елементів;
- для фіксації деталей плоскої або прямокутної форми.

Під час вибору кінематичної схеми та конструкції захвата обов'язково враховують характер руху губок захвата. Для закріплення та чіткого утримання та базування деталей, що мають круглу форму – це вали, диски, шківви, губки захвату можуть переміщатися як в плоско-паралельному напрямку так і по радіусу, тому що ці переміщення майже не впливають на надійність закріплення та точність базування. А при захопленні заготовок прямокутної та плоскої форми губки рухи схоплення повинні здійснюватися тільки у плоско-паралельному напрямку. При інших напрямках руху правильний контакт губок схвата з поверхнями що закріплюються не буде забезпечений.

2. Залежно від характеру базування заготовок:

- центруючі захвати забезпечують точне розташування осі або площини симетрії об'єкта, що утримується, причому всі губки переміщуються одночасно у напрямку до центру чи площини симетрії заготовки;
- базуючі захвати визначають точне положення базової поверхні заготовки: одна губка (базова) залишається нерухомою, а інша переміщується до закріплюваної поверхні;
- фіксуючі захвати зберігають точне положення об'єкта в момент його захоплення.

3. Враховуючи кількість робочих позицій схватування:

- багатопозиційні;
- однопозиційні.

В свою чергу, багатопозиційні захвати за характером роботи поділяються на три групи:

- паралельної дії;
- послідовної дії;
- комбінованої дії.

Захватами послідовної дії є двопозиційні пристрої, що мають дві позиції-завантажувальну та розвантажувальну. Багатопозиційні захвати паралельної дії мають ряд позицій для захоплення одночасного чи вивільнення певної кількості деталей. Захвати комбінованої дії мають групи паралельно працюючих позицій, ці групи можуть приводитися в дію незалежно одна від одної.

4. За розмірами деталей, що закріплюються, захвати поділяються на:

- широкодіапазонні, мають здатність центруватися та утримувати заготовки деталей та об'єктів з широкими межами розмірів поверхонь, що можуть захоплюватися, без проведення переналагодження або підстроювання;

- вузькодіапазонні, можуть утримувати об'єкти в обмежених межах розмірів поверхонь, що захоплюються. Під час використання цих захватів для зменшення часу переналагодження при переході на інший об'єкт, що закріплюється, приходиться застосовувати конструкції автоматично замінних або швидкозмінних захватів.

5. В залежності від типу приводу захвати бувають:

- з гідроприводом, при цьому використовується спеціальну гідростанцію, що має робочий тиск масла від 3 до 12,5 МПа. Цей тип приводу призначено для застосовування при захопленні великогабаритних важких об'єктів з масою більше 20 кг;

- з пневмоприводом, що працює з використанням стиснутого повітря тиском 0,4МПа. Цей приводу приміняють при закріплення предметів масою до 10 кг;

- з електроприводом, з використанням малогабаритних електродвигунів постійного струму. Цим приводом компанують захватні пристрої деталей, що мають масу від 5 до 20 кг;

- непривідні захвати, деталі в них утримуються завдяки ефекту самозатягування чи при дії губок, що замикають. Зазвичай, робота захватів цього типу відбувається при їх вертикальному положенні, при цьому замикаюча дія проводиться масою об'єкта, що захоплюється.

3.3 Обґрунтування обраної конструкції захвату та опис його роботи

Для даної деталі обойма диференціала передня 375-1802161-10 проектуємо захват для деталей типу «вал». Схоплення повинно забезпечувати точне позиціонування осі симетрії деталі, при цьому всі губки мають переміщуватися одночасно у напрямку площини симетрії, що визначає вибір центруючого типу захвату. Оскільки пристрій проектується для масового виробництва, конкретної деталі та конкретної операції, доцільним є застосування вузькодіапазонного захвату. Враховуючи масу готової деталі 6,7 кг, як привід використовується пневматична система, що працює від цехової мережі зі стисненим повітрям тиском 0,4 МПа..

Захватний пристрій розробляється для виконання двох токарних операцій на горизонтальних токарно-револьверних верстатах з ЧПУ GOODWAY GA-2000. Заготовка встановлюється у трикулачкові патрони верстата, де здійснюється чорнова обробка з обох боків. Функціональне призначення пристрою полягає у вилученні деталі з тари-накопичувача, її закріпленні в патроні першого верстата, знятті після обробки, подальшому переміщенні та встановленні в патрон другого верстата, повторному знятті після обробки та складуванні в окрему тару. Вбираємо захват із наступною схемою важільного механізму:

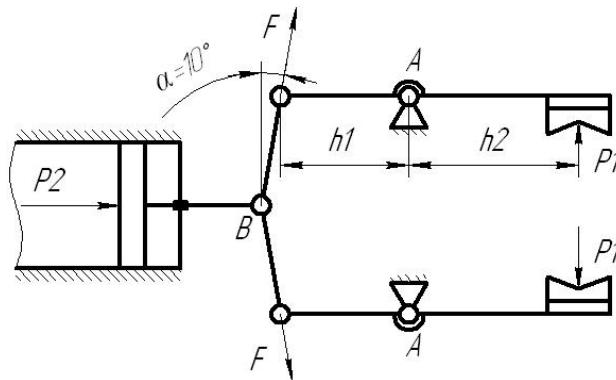


Рисунок 3.2 — Розрахункова схема важільного механізму захвату

3. Розрахунок необхідного зусилля захвату заготовки та приводного пневмоциліндра проводимо за наступними етапами:

Розраховуємо необхідне зусилля для утримання деталі, вона транспортується, а ми вважаємо, що утримання буде відбуватися за рахунок сил тертя:

$$P = m \cdot (g + a) \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (3.1)$$

де m – маса деталі, що утримується захватом; $m = 0,073$ кг;

g – прискорення сили тяжіння; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

a – прискорення центру мас при транспортуванні; $a = 5 \text{ м/с}^2$;

K_1 – коефіцієнт встановлюється в залежності від напрямквідії сили тяжіння, форми губок схвата, положення самої деталі відносно до губок схвата; $K_1 = 0,5$;

K_2 – коефіцієнт запасу; $K_2 = 1,5 \dots 2$.

Розрахуємо необхідне зусилля утримання P :

$$P = 6,7 \cdot (9,81 + 5) \cdot 0,5 \cdot 2 = 99,2 \text{ Н.}$$

Визначаємо з умови статичної рівноваги системи співвідношення між силами P_1 , P_2 та F на губках захватного пристрою.

За умови $\sum F = 0$ в точці B маємо:

$$2F \cdot \sin \alpha - P_2 = 0, \text{ звідки}$$

$$F = \frac{P_2}{2 \sin \alpha}. \quad (3.2)$$

При умові $\sum M = 0$ відносно точки A маємо:

$$P_1 \cdot h_2 - F \cdot \cos \alpha \cdot h_1 = 0, \text{ звідки}$$

$$F = \frac{P_1 \cdot h_2}{h_1 \cdot \cos \alpha} \quad (3.3)$$

Приймаємо за конструктивними міркуваннями $h_1=100\text{мм}$, $h_2=120\text{мм}$. Тоді

$$F = \frac{99,2 \cdot 120}{100 \cdot \cos 10^\circ} = 137,5 \text{Н}.$$

$$P_2 = 2F \sin \alpha = 2 \cdot 137,5 \cdot \sin 10^\circ = 137,5 \text{Н}.$$

Необхідний діаметр циліндра розрахуємо за формулою:

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{4P_2}{0,75 \cdot \pi \cdot p \cdot \eta}}, \quad (3.4)$$

де D – діаметр пневмоциліндра, мм;

p – тиск масла; $p=0,4\text{МПа}$;

d – діаметр штока, мм;

η – механічний ККД; $\eta=0,85$;

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{4 \cdot 137,5}{0,75 \cdot 3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,85}} = 26,2 \text{мм}.$$

Діаметр пневмоциліндра встановимо за стандартним рядом: $D_s = 40 \text{ мм}$.

Розрахуємо силу на штоці під час подачі повітря в безштокову порожнину при робочому ході:

$$Q_{шт} = 0,785 \cdot D_{ц}^2 \cdot p \cdot \eta; \quad (3.5)$$

$$Q_{шт} = 0,785 \cdot 40^2 \cdot 0,4 \cdot 0,85 = 427 \text{Н}.$$

4. Розрахунок конструктивних параметрів та зусиль в елементах захвату.

Зусилля, що діє на шарнір А розраховуємо за сумою проєкцій сил на осі X та Y:

$$\Sigma F_x = F \cdot \sin \alpha - F_{Ax} = 0, \quad (3.6)$$

звідки $F_{Ax} = F \cdot \sin \alpha$,

$$F_{Ax} = 137,5 \cdot \sin 10^\circ = 68,8 \text{Н}.$$

$$\Sigma F_y = F \cdot \cos \alpha + P_1 - F_{Ay} = 0, \quad (3.7)$$

звідки $F_{Ay} = F \cdot \cos \alpha + P_1 = P_1 \left(1 + \frac{h_2}{h_1}\right)$,

$$F_{Ay} = 137,5 \cdot \left(1 + \frac{120}{100}\right) = 302,5H.$$

Розрахуємо сумарне навантаження в шарнірі А за формулою 3.8:

$$F_A = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2}; \quad (3.8)$$

$$F_A = \sqrt{68,8^2 + 302,5^2} = 310,2H.$$

Діаметр шарнірів виберемо з праведного розрахунку на зріз:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_A}{\pi \cdot [\tau_{cp}]}}; \quad (3.9)$$

де $[\tau_{cp}]$ -це допустима напруга зрізу для матеріалу сталі 45 $[\tau_{cp}] = 120\text{МПа}$;

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot 310,2}{3,14 \cdot 120}} = 1,81\text{мм}.$$

Даний розмір шарнірів є дуже малим. Конструктивно приймаємо $d_{ш} = 12\text{мм}$ и $d_{ш} = 16\text{мм}$.

Проводимо перевірку шарніру на зминання, при цьому приймаємо допустиму напругу на зминання для сталі 45 $[\sigma_{см}] = 80\text{МПа}$:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot F_A}{\pi \cdot d_{ш} \cdot b}; \quad (3.10)$$

де $b = 36\text{мм}$ – прийнята ширина шарніра;

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 310,2}{3,14 \cdot 12 \cdot 36} = 0,46\text{МПа} \ll 80\text{МПа}.$$

3.4 Конструкція та розрахунок губок захвата

Губки захвату безпосередньо взаємодіють із деталлю, і від особливостей їхньої конструкції значною мірою залежать точність та надійність роботи захвату. Під час

проектування необхідно враховувати дію на губки значних навантажень і сил інерції, які можуть спричиняти їх зміщення. Водночас губки повинні забезпечувати максимальну силу тертя, що дає змогу зменшити габарити елементів захвату. Тому в конструкції кріплення губок слід передбачити їх жорстку фіксацію, виконання робочих поверхонь із матеріалів високої твердості, а також можливість швидкої й зручної заміни.

Розміри губок визначають, за розрахунком на контактну міцність:

$$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{2 \cdot P_1 \cdot E_{np}}{l \cdot d}}, \quad (3.11)$$

де $E_{np} = \frac{2 \cdot E_{\Gamma} \cdot E_{\Delta}}{E_{\Gamma} + E_{\Delta}}$ - модуль пружності матеріалу губок схвату та матеріалу самої деталі; $E_{\Gamma} = 2,16 \cdot 10^5$ МПа (сталь 40Х), $E_{\Delta} = 2,11 \cdot 10^5$ МПа (сталь 35Л);

$$E_{np} = \frac{2 \cdot 2,15 \cdot 10^5}{2,15 \cdot 10^5 + 2,12 \cdot 10^5} = 2,13 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

d – діаметр деталі;

l – ширина губок захвата.

$\sigma = 290\text{--}330$ МПа (Д16Т).

Ширина губок захвата розраховується за формулою:

$$l = \frac{2 \cdot 0,418^2 \cdot P_1 \cdot E_{np}}{d + \sigma^2}; \quad (3.12)$$

$$l = \frac{2 \cdot 0,418^2 \cdot 99,2 \cdot 2,13 \cdot 10^5}{90 \cdot 300^2} = 0,2 \text{ мм.}$$

Розрахований розмір губок є конструктивно дуже малим, тому приймаємо $l = 55$ мм.

3.5 Вибір приводу промислового робота

Для здійснення переміщень робочих органів промислових роботів застосовують пневматичні, гідравлічні, електромеханічні та комбіновані приводи.

Найпоширенішими є пневматичні приводи, які становлять близько 45% від загальної кількості промислових роботів у світі.

Приводи промислових роботів класифікують за кількома критеріями. Зокрема, за кількістю двигунів виділяють групові, однорухові та багаторухові приводи.

Груповий привід забезпечує одночасний рух декількох ланок робота. Для передавання необхідної потужності на кілька ланок і її розподілу між ними використовують трансмісії, у зв'язку з чим такий привід також називають трансмісійним.

Індивідуальний, або одноруховий, привід призначений для переміщення лише однієї ланки виконавчого механізму робота. Це істотно спрощує конструкцію механічних передач і в окремих випадках дає змогу повністю відмовитися від їх використання.

У багаторуховому приводі кілька двигунів спільно працюють на загальний вал, що дає змогу розподілити споживану потужність між окремими двигунами та поліпшити умови роботи механічної передачі.

За способом керування приводи поділяють на нерегульовані, які забезпечують переміщення ланок з однією сталою робочою швидкістю; регульовані, у яких швидкість руху ланок змінюється під дією систем керування; спостерігаючі, що забезпечують відпрацювання переміщень із заданою точністю відповідно до довільного змінного задавального сигналу; а також адаптивні, які автоматично вибирають параметри керування при зміні умов роботи з метою формування оптимального режиму.

На рис. 3.3 представлено схему промислового робота з пневматичним приводом та управлінням цикловим. Привід складається з пневмоциліндра 7 зі штоком 1, на ньому закріплена качалка 5, що має регульовані упори 3 і 6, нерухомого упору 4 разом з демпфуючим пристроєм 2, пристрої управління УУ, розподільника повітря 8. Сигнал з УУ, який містить логічну інформацію про напрямок переміщення штока 1, подається на керувальний електромагніт повітродозподільника 8. Залежно від керувального впливу розподільник з'єднує одну з порожнин пневмоциліндра з гідростанцією, а іншу — з навколишнім середовищем. У результаті шток 1

переміщується в потрібному напрямку до моменту контакту упорів 3 або 6 з упором 4. Положення упорів 3 і 6 визначає величину ходу штока під час прямого та зворотного переміщення. Демпфувальний пристрій 2 забезпечує плавне гальмування штока 1 із заданим прискоренням у момент натискання упорів 3 і 6 на кнопки демпфера.

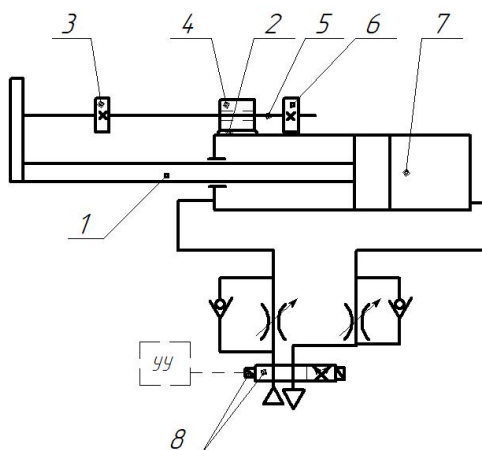


Рисунок 3.3 – Схема пневматичного приводу промислового робота

3.6 Вибір транспортно-складської системи

При проектуванні автоматизованої транспортно-складської системи вибираємо варіант, де поєднано транспортну та складську підсистеми. Іншими словами, спроектований промисловий робот буде виконувати обидві функції: переносити деталь від верстатів до складу та проводити складування (рис. 3.4). На рисунку промисловий робот 3, переміщається по напрямних рейках 4 та обслуговує два токарно-револьверні верстати з ЧПУ прзиції 1 і 2 та переміщає їх на склад 5.

Перевагами такої схеми є те, що компоновання займає мало місця та має надійну та просту транспортну магістраль. Недоліками є те, що робот може обслуговувати обмежену кількість верстатів та обставини утрудненого прибирання стружки, що потрапляє за верстат.

Поєднані компоновання АТСС вважаються одними з найраціональніших, оскільки за такого підходу склад максимально наближений до технологічного обладнання (верстатів), а транспортні зв'язки в ДПС є найбільш простими. Крім того,

у багатьох випадках, зокрема й у проєктованому компонуванні, зникає потреба в застосуванні спеціальних кранів-штабелерів.

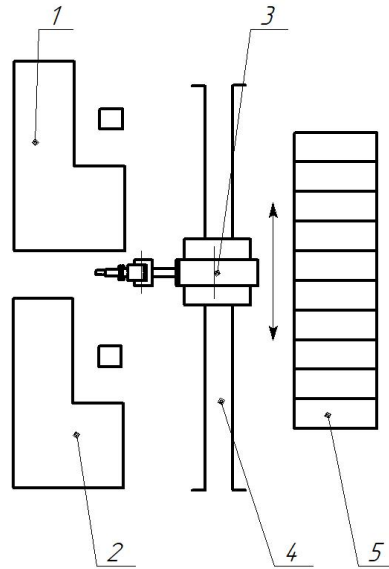


Рисунок 3.4 – Схема транспортно-складської системи

3.7 Розрахунок циклу обробки в РТК

Побудова циклу роботи РТК спирається на розрахунки основного технологічного часу на механічну обробку деталі, яка приймається з карт технологічного процесу. На рис. 3.5 представлено циклограму роботи устаткування РТК, на якому:

$t_{\text{маш.}}$ – основний технологічний час - час механічної обробки деталі верстатом;

$t_{\text{заг./раз.}}$ – час на проведення завантаження-розвантаження деталей роботом;

$t_{\text{пер.}}$ – час на здійснення переміщення робота до іншого верстата;

$t_{\text{прост.ст.}}$ – час простою верстата;

$t_{\text{зан.}}$ – час зайнятості промислового робота;

$T_{\text{МС}}$ – час загального циклу механічної обробки деталі;

$t_{\text{прост.роб.}}$ – час простою робота;

$t_{\text{оп.мах}}$ – максимальний оперативний час на операціях.

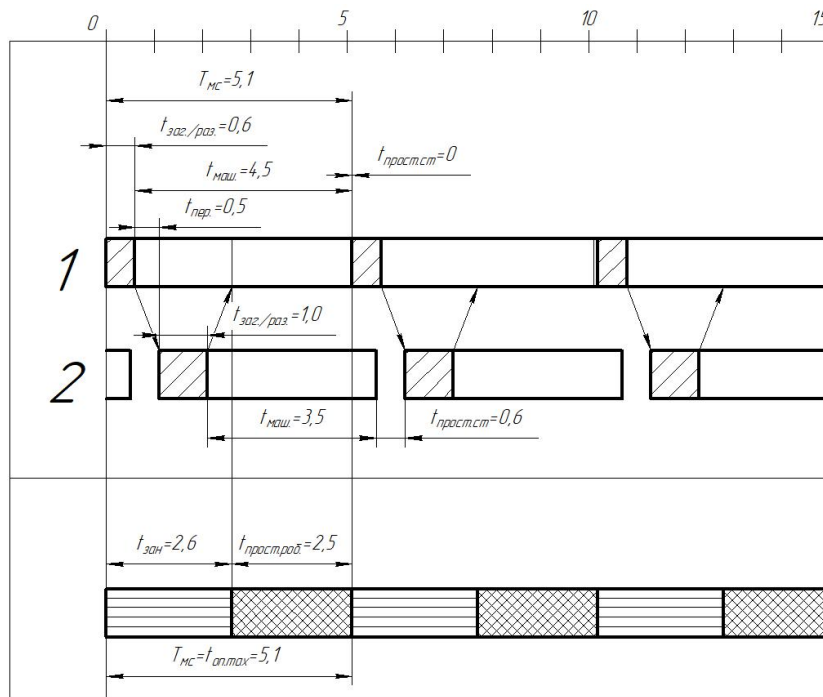


Рисунок 3.5 – Циклограма роботи обладнання РТК

3.8 Проектування контрольно - вимірювального пристрою

3.8.1 Розробка схеми вимірювання

У машинобудівному виробництві проблема забезпечення точності вимірювань є однією з базових інженерних задач, незалежно від рівня розвитку технологій і ступеня автоматизації виробничих процесів. Від точності контролю геометричних параметрів безпосередньо залежить якість виготовлення деталей, їх взаємозамінність, надійність та довговічність машин і механізмів.

Ефективне розв'язання цієї задачі забезпечується застосуванням спеціалізованих контрольно-вимірювальних пристроїв, які дозволяють реалізувати стабільний і відтворюваний вимірювальний процес у виробничих умовах. Такі пристрої являють собою інтегровану конструктивну систему базуючих, затискаючих, передавальних та вимірювальних елементів, функціонально узгоджених між собою та призначених для контролю заданих параметрів із необхідною точністю та повторюваністю результатів.

Контрольно-вимірвальні пристрої належать до спеціалізованих виробничих засобів вимірвальної техніки, призначених для контролю геометричних та експлуатаційних параметрів деталей і вузлів машин. Конструктивно такі пристрої являють собою узгоджену систему базуючих, затискаючих, передавальних і вимірвальних елементів, об'єднаних у єдине функціональне ціле.

Базуючі елементи забезпечують правильне та стабільне положення контрольованої деталі відносно вимірвальних засобів, що є необхідною умовою отримання достовірних результатів вимірювання. Затискаючі елементи призначені для надійної фіксації деталі в пристосуванні без виникнення додаткових деформацій та без ускладнення процесу виконання контрольної операції.

За допомогою контрольно-вимірвальних пристроїв здійснюється контроль різноманітних параметрів деталей і вузлів машин, зокрема лінійних розмірів (діаметрів отворів і валів, довжин, висот, глибин), взаємного розташування поверхонь, відхилень від правильної геометричної форми, а також окремих нелінійних характеристик, таких як пружність, твердість і герметичність стінок або зварних швів. Крім того, такі пристрої можуть використовуватися для перевірки роботоздатності складальних вузлів і машин в експлуатаційних або наближених до них умовах.

Конструкція кожного контрольно-вимірвального пристрою повинна відповідати ряду вимог, серед яких основними є забезпечення необхідної точності та продуктивності вимірювань, технологічність виготовлення, зносостійкість і зручність експлуатації. При цьому загальна компоновка пристосування та вибір його елементів мають забезпечувати, з одного боку, повне виконання вимог контрольної операції, а з іншого – економічну доцільність застосування у виробничих умовах.

У даному дипломному проєкті розробляється контрольно-вимірвальний пристрій для вимірювання радіального биття. Пристрій призначений для контролю радіального биття поверхні 1 (рис. 3.6) з допуском 0,05 мм, що забезпечує необхідну точність контролю відповідно до вимог технічної документації.

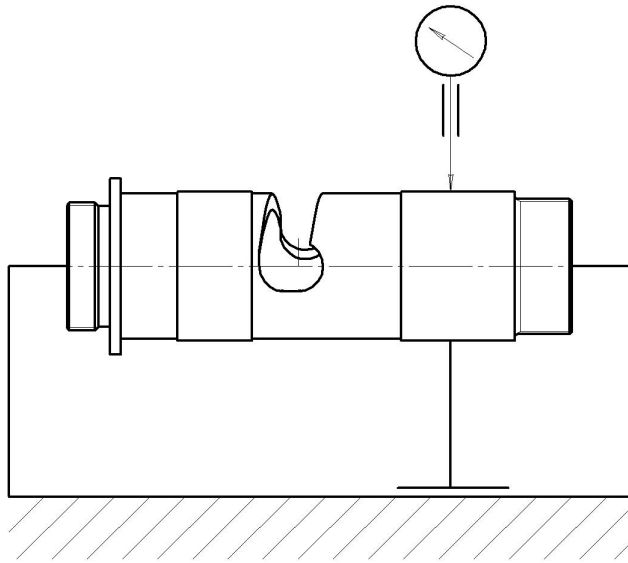


Рисунок 3.6 – Схема вимірювання радіального биття циліндричної поверхні індикатором годинникового типу

3.8.2 Розрахунок точності контролю

$$\Delta_{\text{вим}} = T - k \times w, \quad (3.13)$$

де T – допуск на вимірювання, $T = 0,05$ мм.

k – поправочний коефіцієнт, $k=1,2$

w – похибка пристрою,

$$w = \varepsilon_y = \sqrt{\xi_{\delta}^2 + \xi_3^2 + \xi_{\text{пр}}^2}, \quad (3.14)$$

де ξ_{δ} – похибка базування деталі, $\xi_{\delta}=0$

ξ_3 – похибка закріплення деталі, $\xi_3=0$

$\xi_{\text{пр}}$ – похибка пристрою,

$$\xi_{\text{пр}} = (1/4 \dots 1/11) T_d = (1/4 \dots 1/11) \times 0,063 = (0,0155 \dots 0,0064) \text{ мм.}$$

Приймаємо значення $\xi_{\text{пр}}=0,01$

$$\Delta_{\text{вим}} = 0,05 - 1,2 \times 0,01 = 0,038 \text{ мм.}$$

Вибираємо допуск згідно рекомендацій:

$$\Delta_{\text{пр}} = \Delta_{\text{вим}} \times (0,5 \dots 0,75) = (0,019 \dots 0,029) \text{ мм.}$$

Приймаємо допуск $\Delta_{\text{пр}} = 0,02$ мм.

Для виконання вимірювань обираємо індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,02 мм. Обраний індикатор забезпечує похибку вимірювання не більше 0,008 мм, що відповідає вимогам до точності контролю радіального биття з допуском 0,05 мм. Технічні характеристики індикатора відповідають вимогам ДСТУ EN ISO 463.

4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 Аналіз впливу деформації та температури на розм'якшення матеріалу під час різання

Точний опис поведінки матеріалу заготовки є необхідною умовою для отримання достовірних результатів чисельного моделювання процесу різання. Проте пластичні конститутивні моделі матеріалів, отримані за результатами традиційних механічних випробувань, не є придатними для діапазонів деформацій і швидкостей деформації, характерних для реальних процесів механічної обробки.

З метою розв'язання цієї проблеми в даному дослідженні запропоновано методологію вивчення та ідентифікації закономірностей пластичної деформації на основі високошвидкісної відеозйомки та індукційного попереднього нагрівання під час експериментів з різання. Різні рівні деформації, швидкості деформації та температури реалізовано шляхом зміни переднього кута інструмента, швидкості різання та початкової температури заготовки відповідно.

Пластичну деформацію та підвищення температури в первинній зоні зсуву охарактеризовано з використанням методу цифрової кореляції зображень з високою просторовою роздільною здатністю, а також рівняння теплопереносу з урахуванням конвекції та теплопровідності. Це дозволило розглядати експеримент із різання як високодинамічний метод випробування матеріалу.

Установлено, що в первинній зоні зсуву матеріал проявляє ефект деформаційного розм'якшення, а за умов швидкого нагрівання спостерігається зменшення впливу термічного розм'якшення. Отримані попередні результати поглиблюють розуміння поведінки матеріалу в процесі різання та можуть бути надалі використані для вдосконалення чисельних моделей процесів механічної обробки.

Чисельне моделювання процесу різання металів є необхідним для підвищення продуктивності обробки, а також для оптимізації зношування інструмента і якості поверхневого шару. Для застосування таких підходів необхідно визначити поведінку матеріалу заготовки за умов великих пластичних деформацій, високих

швидкостей деформації та підвищених температур, характерних для процесів різання.

Однак характеристика поведінки матеріалу за реалістичних умов механічної обробки досі залишається складним завданням, оскільки надзвичайно інтенсивна пластична деформація може призводити до динамічної рекристалізації, а швидке нагрівання, у свою чергу, може ускладнювати або пригнічувати процеси мікроструктурних перетворень.

Випробування на розрізному стержні Гопкінсона (Split Hopkinson Bar, SHB), схематично зображені на рис. 4.1, традиційно застосовують для ідентифікації конститутивних параметрів матеріалу, необхідних для моделювання процесів різання. У SHB-випробуваннях шляхом зміни швидкості удару інцидентного стержня та температури нагрівання можна проводити випробування на стиск за швидкостей деформації до кількох 10^3 c^{-1} та температур, що наближаються до температури плавлення матеріалу.

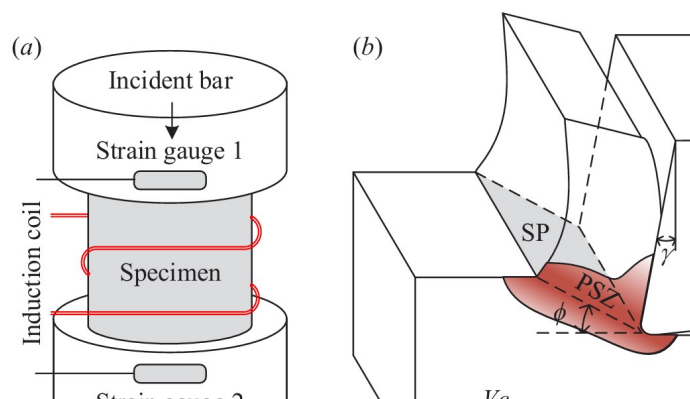


Рисунок 4.1 – (а) Схематичне зображення випробування на розрізному стержні Гопкінсона (SHB); (б) процес ортогонального різання

Однак великі деформації, високі швидкості деформації та підвищені температури, які локально концентруються в зонах деформування поблизу різальної кромки інструмента, є суттєво вищими за ті, що досягаються під час випробувань на розрізному стержні Гопкінсона (SHB). У зв'язку з цим виникає необхідність екстраполяції напруження текучості за межі діапазонів, охоплених SHB-випробуваннями.

Для подолання проблеми обмеженості діапазонів випробувань SHB процес ортогонального різання було застосовано як метод випробування матеріалу [8, 9], що забезпечує інтенсивну зсувну деформацію в первинній зоні зсуву (Primary Shear Zone, PSZ), як показано на рис. 1, б). За наявності численних аналітичних прогностичних моделей процесу різання можна визначити деформацію, швидкість деформації, температуру та напруження текучості вздовж площини зсуву (позначеної як SP на рис. 4.1, б) із використанням пробних значень параметрів матеріалу [14–15].

Вибір для аналізу саме площини зсуву, а не задньої частини первинної зони зсуву, яка характеризується більшими деформаціями, зумовлений прагненням спростити розрахунок зсувних напружень шляхом безпосереднього розкладання вимірних сил різання без урахування впливу напружень у вторинній або третинній зоні зсуву. Надалі параметри матеріалу коригуються до досягнення тісної відповідності між розрахунковими та експериментально зафіксованими величинами, такими як сили різання, кути зсуву та температури різання [10, 12].

Зразки, що зазвичай використовуються для випробувань на установках типу SHB (Split Hopkinson Bar), мають форму циліндрів розміром кілька міліметрів, що забезпечує квазіоднорідну пластичну деформацію матеріалу та зводить розрахунок до одновимірної (1D) задачі. Хоча в умовах ортогонального різання пластична деформація вздовж товщини заготовки є майже рівномірною, товщина первинної зони зсуву (PSZ) зазвичай становить від десятків до кількох сотень мікрометрів, що підсилює прояви неоднорідної поведінки мікроструктури матеріалу.

Унаслідок цього кут зсуву коливається під час процесу різання, що було зафіксовано за допомогою високошвидкісної відеозйомки [11]. Крім того, деформації матеріалу вздовж ліній течії в первинній зоні зсуву мають нерівномірний характер, що порушує загальне припущення аналітичних моделей щодо рівномірно розподіленої швидкості деформації [14]. Тому для використання процесу різання металів як методу випробування матеріалів необхідне точне визначення швидкості деформації, величини деформації та температури.

Найпоширенішими сенсорами для визначення ефективних напружень у матеріалі є тензодатчики, встановлені на падаючому та передавальному стрижнях у випробуваннях типу SHB (Split Hopkinson Bar), а також динамометри, закріплені відповідно на різальному інструменті або заготовці в процесі різання. Завдяки високій динамічній чутливості тензодатчиків можливе фіксування швидких змін ефективних напружень. Натомість динамометр практично не здатний реєструвати динамічні зміни напруження течії, особливо за умов формування сегментованої стружки, що зумовлено його низькою власною частотою. За відсутності високосмугових вимірювань сил різання, зокрема на основі вимірювання динамічного поля пружних деформацій заготовки, при використанні динамометра для визначення напруження течії матеріалу в первинній зоні зсуву (PSZ) перевага надається стаціонарному режиму різання.

У випробуваннях SHB досяжна максимальна швидкість деформації становить приблизно кілька тисяч s^{-1} і обмежується швидкістю падаючого стрижня. При цьому, як правило, можуть бути реалізовані деформації в діапазоні від 0 до 0,2. Що стосується температурної залежності границі текучості, то для досягнення температур у кілька тисяч градусів Цельсія зазвичай застосовують нагрівальні пристрої з індукційним або резистивним нагріванням.

Пластична деформація в процесі різання може характеризуватися швидкостями деформації від кількох тисяч до сотень тисяч s^{-1} шляхом зміни швидкості різання. Однак температура матеріалу в первинній зоні зсуву зазвичай є відносно низькою, оскільки внутрішня пластична деформація виступає єдиним джерелом тепла. Унаслідок цього ідентифікована модель матеріалу не здатна адекватно описувати термічне розм'якшення у вторинній або третинній зоні зсуву. Тому для подальшого підвищення температури необхідне застосування зовнішнього джерела тепла, що рідко враховується в методах оберненої ідентифікації, заснованих на процесі різання.

Крім того, було показано, що параметри, які найчастіше використовуються, зокрема сили різання та форма стружки, загалом не є достатньо чутливими до змін параметрів матеріалу. Наприклад, зростання деформаційного зміцнення або

чутливості до швидкості деформації призводить до підвищення температури. Однак подальше термічне розм'якшення спричиняє зниження напруження течії, що свідчить про те, що різні комбінації механізмів зміцнення та розм'якшення можуть приводити до подібних значень сил різання та схожих форм стружки. Отже, для уникнення неоднозначності під час оберненої ідентифікації параметрів матеріалу на основі процесу ортогонального різання необхідно забезпечити різні рівні деформації, швидкості деформації та температури.

У даному дослідженні запропоновано метод випробування та ідентифікації матеріалу на основі експериментальних вимірювань процесу ортогонального різання, реалізований відповідно до блок-схеми, наведеної на рис. 4.2. Визначення деформації та швидкості деформації здійснюється за допомогою високошвидкісної відеозйомки в поєднанні з методом цифрової кореляції зображень (DIC), який широко застосовується для дослідження підповерхневих деформацій і процесів формування стружки [13].

Крім того, початкова температура заготовки підвищується за допомогою високочастотного індукційного нагрівання, а приріст температури в первинній зоні зсуву (PSZ) визначається на основі одновимірного стаціонарного рівняння теплопередачі. Значно ширші діапазони температури, деформації та швидкості деформації досягаються шляхом варіювання температури нагрівання, переднього кута інструмента та швидкості різання порівняно з попередніми дослідженнями [13]. Крім того, пластичні параметри матеріалу оптимізуються за допомогою генетичного алгоритму з метою мінімізації розбіжності між розрахованими та експериментально виміряними дотичними напруженнями вздовж площини зсуву.

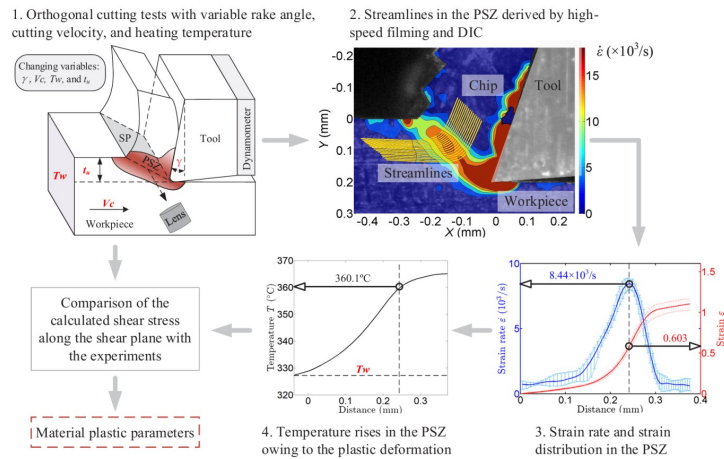


Рисунок 4.2 – Блок-схема випробування та ідентифікації матеріалу на основі процесу різання металів

Під час процесу різання металів зазвичай вважається, що площа зсуву характеризується найбільшою швидкістю деформації та значною величиною деформації в первинній зоні зсуву (PSZ). Тому саме її найчастіше обирають для аналізу в традиційних методах оберненої ідентифікації, оскільки визначення дотичних напружень на площині зсуву шляхом декомпозиції вимірних сил різання є значно простішим порівняно з вибором інших зон. Крім того, поєднання локалізованої пластичної деформації та високої швидкості різання призводить до надзвичайно високої швидкості нагрівання матеріалу.

У цьому дослідженні розроблено експериментальну установку для *in situ* вимірювання інтенсивної пластичної деформації та швидкого попереднього нагрівання заготовки під час ортогонального різання з метою фіксації поведінки матеріалу, репрезентативної для реального процесу механічної обробки, як показано на рис. 4.3.

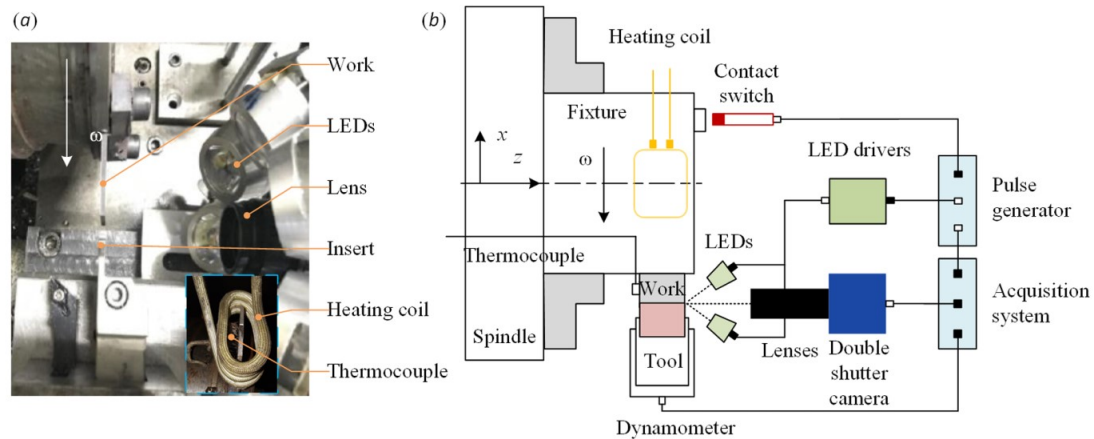


Рисунок 4.3 – Метод випробування матеріалу в процесі різання: (а) експериментальна установка; (б) принцип роботи

Хоча заокруглення різальної кромки призводить до локальної інтенсивної пластичної деформації в її безпосередній околиці, поблизу різальної кромки інструмента, як правило, реалізується подібне значення напруження течії порівняно з іншими ділянками вздовж площини зсуву [12]. Тому для аналізу розглядається деформація в середній частині первинної зони зсуву (PSZ), а відповідне їй напруження течії вважається репрезентативним для всієї PSZ. Крім того, випробування різання за однакових умов проводилися у трьох повтореннях, а для ідентифікації пластичних параметрів використовувалися усереднені значення швидкостей деформації, деформацій та кутів зсуву, що дало змогу мінімізувати вплив неоднорідності матеріалу, як показано на рис. 4.4.

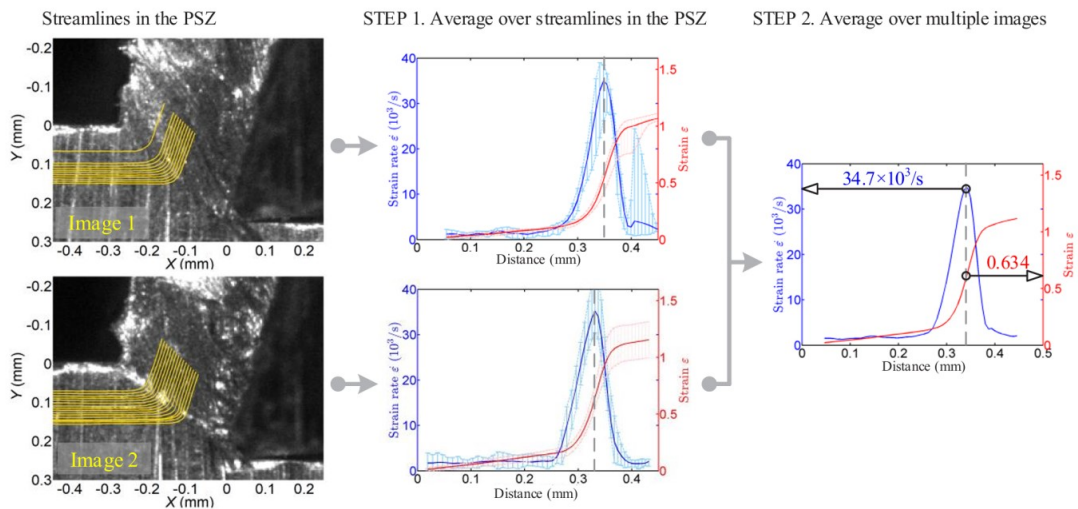


Рисунок 4.4 – Визначення швидкості деформації та деформації вздовж площини зсуву за кількома зображеннями, отриманими за однакових умов різання

На першому етапі (STEP 1) деформація та швидкість деформації усереднюються вздовж кількох ліній течії, як це проілюстровано на рис.4.4. Далі, на другому етапі (STEP 2), з використанням різних зображень, отриманих за однакових умов різання, обчислюються середні значення деформацій і швидкостей деформації разом із відповідними похибками. Розподіл швидкості деформації вздовж лінії течії в PSZ зазвичай має дзвоноподібний характер, імовірно з певною асиметрією, що також відзначалося в роботах. Для апроксимації цього розподілу застосовано функцію асиметричного нормального розподілу. На основі апроксимованого асиметричного нормального розподілу швидкості деформації в PSZ для подальшого аналізу ідентифікується площина зсуву, яка відповідає максимальному значенню швидкості деформації.

Унаслідок деформаційного зміцнення деякі матеріали заготовки починають текти ще до входження в PSZ, за швидкостей деформації, менших порівняно з тими, що реалізуються вздовж площини зсуву, що ускладнює визначення товщини PSZ. Тому для характеристики товщини первинної зони зсуву використано повну ширину на половині максимуму (FWHM) асиметричного нормального розподілу швидкості деформації.

Термічне розм'якшення. Під час ортогональних випробувань різання матеріал зазвичай зазнає надзвичайно короткочасних процесів нагрівання та охолодження, що свідчить про значне пригнічення статичної рекристалізації, зумовленої різким підвищенням температури; це також було відзначено в роботі [12]. Безперервне нагрівання матеріалу заготовки внаслідок теплопровідності, характерне для реального тривимірного процесу точіння, виходить за межі даного дослідження.

Досягнуті температури вздовж площини зсуву для серій випробувань за параметрами RAKE та VELOCITY, як показано на рис. 4.5, становлять відповідно від 180 до 277 °C та від 112 до 228,1 °C, причому більшість із них перевищують точку перетину, що відповідає початку термічного розм'якшення, визначену Сенковою. Крім того, за цих умов різання спостерігаються подібні значення дотичних напружень, що вказує на незначний прояв деформаційного зміцнення або термічного розм'якшення; це істотно відрізняється від результатів, продемонстрованих Сенковою та позначених штриховою лінією на рис. 4.5. Наведене порівняння дає змогу підтвердити, що за температур $T < 277$ °C термічне розм'якшення матеріалу є незначним у випадку типового процесу різання.

Для подальшого дослідження поведінки матеріалу за підвищених температур у вторинній та третинній зонах зсуву було застосовано індукційну нагрівальну установку як додаткове джерело тепла з метою підвищення температури в первинній зоні зсуву (PSZ). Як показано на рис. 4.5 точка перетину між двома кусочно-заданими функціями $T_i T_{i+1}$ визначена на рівні 264,5 °C, що істотно перевищує значення 100 °C, отримане Сенковою. Це може бути зумовлено швидким нагріванням і коротким інтервалом часу між нагріванням та різанням, унаслідок чого матеріал не має достатнього часу для протікання статичної рекристалізації та відновлення.

Частку розм'якшеного або рекристалізованого об'єму матеріалу заготовки XSX_SXS під час процесу попереднього нагрівання можна оцінити за моделлю Johnson–Mehl–Avrami–Kolmogorov із використанням модельних коефіцієнтів, наведених у роботі [12], де відпалений сплав Al 7075 піддавався холодній прокатці зі ступенем обтиснення 71 %.

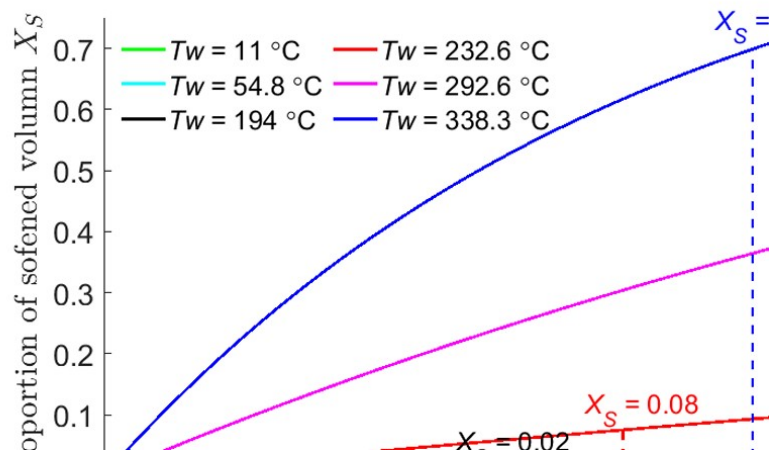


Рисунок 4.5 – Кінетика рекристалізації сплаву Al 7075 за різних температур нагрівання для серії HEAT.

За $T_w = 11$ та 54.8°C криві практично збігаються. Штриховими лініями позначено відповідні часи нагрівання та витримки під час випробувань різання.

За температур нагрівання $T_w = 292,6$ або $338,3^\circ\text{C}$ значна частка матеріалу заготовки зазнає рекристалізації, що призводить до його розм'якшення, унаслідок чого ці дані є непридатними для опису термічного розм'якшення за умов високих швидкостей нагрівання, характерних для процесу механічної обробки. За $T_w \leq 232,6^\circ\text{C}$ частка розм'якшеного об'єму X_S становить менше ніж $0,08$, що свідчить про рекристалізацію лише незначної частини матеріалу до початку процесу різання.

На відміну від цього, під час гарячих випробувань на стиск, проведених Сенковою або Меї, застосовувалися надзвичайно тривалі часи нагрівання та витримки з метою забезпечення повної рекристалізації матеріалу. Хоча, як показано на рис. 4.4, статичну рекристалізацію, зумовлену підвищенням температури, можна вважати незначною за $T_w = 194$ та $232,6^\circ\text{C}$, суттєве термічне розм'якшення все ж спостерігається.

Запропонований підхід до випробування та ідентифікації матеріалу на основі процесу механічної обробки забезпечує новий і простий спосіб спостереження та

розуміння поведінки матеріалу за різних рівнів пластичної деформації та температури. Основні наукові результати даного дослідження можна узагальнити таким чином.

1. Деформації та швидкості деформації, розподілені в первинній зоні зсуву під час процесу різання, були експериментально визначені з використанням методу цифрової кореляції зображень у поєднанні з високошвидкісною відеозйомкою. Початкову температуру заготовки змінювали за допомогою індукційного нагрівання, що дало змогу суттєво розширити температурний діапазон випробувань. Виявлено нове фізичне явище: за підвищених температур нагрівання первинна зона зсуву стає товстішою, що було встановлено шляхом аналізу повної ширини на половині максимуму (FWHM) розподілу швидкості деформації.

2. Завдяки поєднанню випробувань різання з традиційними випробуваннями на розтяг уперше експериментально підтверджено наявність деформаційного розм'якшення за великих деформацій у процесі різання. Ідентифікована залежність границі текучості від деформації добре узгоджується з результатами гарячих випробувань на стиск, наведеними в науковій літературі, що свідчить про коректне моделювання та ідентифікацію як деформаційного зміцнення, так і деформаційного розм'якшення.

3. Встановлено, що ідентифікована початкова температура суттєвого термічного розм'якшення границі текучості є вищою, ніж значення, отримані за результатами гарячих випробувань на стиск, наведених у літературі. Це зумовлено швидким нагріванням під час процесу механічної обробки, унаслідок чого матеріал не має достатнього часу для повної рекристалізації. Отриманий результат свідчить, що для більшості випробувань різання, виконаних у даному дослідженні, зокрема за великих передніх кутів інструмента (серія RAKE) та за різних швидкостей різання (серія VELOCITY), вплив термічного розм'якшення матеріалу заготовки може бути знехтуваний під час аналізу поведінки матеріалу вздовж площини зсуву.

Дотримуючись методики побудови поля ліній ковзання на основі виміряного потоку матеріалу під час процесу різання [13], можна визначити напруження течії матеріалу за значно вищих значень деформації, швидкості деформації та

температури, характерних для вторинної та третинної зон зсуву. Крім того, дослідження взаємозв'язку між розм'якшенням матеріалу та типами стружки можуть бути поглиблені шляхом аналізу еволюції пластичної деформації в первинній зоні зсуву.

5. ОХООНА ПРАЦІ

5.1 Охорона праці при обробці матеріалів різанням

Відповідно до Закону України «Про охорону праці» умови праці на робочому місці, рівень безпеки технологічних процесів, експлуатація машин, механізмів, устаткування та інших виробничих засобів, а також стан колективних і індивідуальних засобів захисту працівників та санітарно-побутові умови повинні відповідати встановленим законодавчим вимогам.

Забезпечення заходів з охорони праці у виробничих приміщеннях, дотримання вимог безпеки при проведенні робіт по обробці матеріалів різанням дає можливість зменшити ризики виникнення нещасних випадків та професійних захворювань працівників.

Постійно діючі металообробні верстати мають бути змонтовані на надійних фундаментах або на суцільній основі підлоги, точно вирівняні й надійно закріплені. Усі верстати, незалежно від того, стаціонарні вони чи переносні, можуть обслуговувати лише закріплені за ними працівники. Верстат обов'язково вимикають під час заміни інструменту, встановлення, фіксації чи зняття заготовки, а також під час ремонту, очищення, змащування або прибирання верстата.

Під час обробки великогабаритних або важких деталей, наприклад блоків циліндрів двигунів, слід користуватися підйомним обладнанням. Ті верстати, під час роботи на яких утворюються осколки, стружка чи іскри, повинні бути оснащені зручними у використанні захисними пристроями з міцного скла або іншого прозорого матеріалу, що забезпечує огляд процесу обробки. Якщо встановлення таких щитків технічно неможливе, оператор має працювати застосувавши захисні окуляри.

Усе металообробні верстати, машини та інше обладнання слід розміщувати в приміщеннях так, щоб вони не перекривали основні проходи та дверні отвори. Відстань між окремими верстатами має становити щонайменше 0,8 м, цієї відстані достатньо для безпечного пересування працівників під час обслуговування та ремонту. Необхідно забезпечити захист ремінних і зубчастих передач, усіх

виступаючих рухомих частин верстатів, розташованих на висоті менше ніж 2 м від підлоги, а також деталей, що під час обробки виходять за межі габаритів обладнання. Заборонено прибирати руками стружку з верстата, для її видалення необхідно використовувати спеціальні щітки та гачки [14].

Значення висоти штабелювання виробів визначають з урахуванням його стійкості та зручності використання, але вона не повинна перевищувати 1,5 м. Усе обладнання, що перебуває в експлуатації, має бути технічно справним, а його стан постійно контролюється технічним керівництвом.

Під час приймання верстата після ремонту в акті прийому до експлуатації необхідно зазначити наявність усіх захисних пристроїв і підтвердити їх справність. Експлуатувати несправні верстати або працювати без належних огорожень категорично заборонено. Верстатники повинні працювати у щільно застебнутому одязі, а волосся, особливо в жінок, має бути повністю сховане під головним убором (косинкою, кашкетом, сіткою беретом, тощо).

При проведенні обробки пруткового матеріалу на токарних автоматах і револьверних верстатах частини прутків, що виступають за межі шпинделя, повинні бути огорожені. Зачищати деталі наждачним полотном, утримуючи його руками, не дозволяється. Важливо контролювати надійність закріплення заготовок, що значною мірою залежить від стану центрів, центрових отворів та їх відповідності характеру виконуваної роботи. Використання зношених центрів або неправильно виготовлених центрових отворів може призвести до виривання заготовки під дією сил різання.

Правку шліфувальних кругів необхідно виконувати за допомогою алмазів, алмазно-металевих олівців або алмазозамінників (металевих зірочок, кругів, брусків із карбиду кремнію чи дисків). Використання зубила або будь-якого іншого слюсарного інструменту для цих цілей є неприпустимим.

Під час шліфування деталей заборонено використовувати важелі чи інші пристрої для штучного збільшення тиску на шліфувальний круг. Якщо на шпиндель шліфувального верстата встановлюють два круги, різниця між їхніми діаметрами не повинна перевищувати 10 %. До роботи допускаються лише ті круги, що пройшли

випробування на міцність, а різці, фрези та інший ріжучий інструмент мають бути надійно закріплені. Перед початком роботи потрібно увімкнути верстат на холостому ході, перевірити його роботу, а вже після цього потрібно надійно закріпити заготовку та приступати до обробки. Заборонено спиратися на верстат, класти на нього інструмент, заготовки або готові вироби.

Під час роботи з деревиною на круглопилкових верстатах для поздовжнього розпилювання, рейсмусових, чотиристоронніх подовжньо-фрезерних (стругальних) та деяких інших верстатах існує серйозна небезпека зворотного викиду заготовок або обрізків. Тому такі верстати мають бути оснащені противикидними пристроями, а оператор повинен подавати заготовки, стоячи збоку від зони подачі.

Ріжучий інструмент має бути правильно й якісно заточений, а пили та фрези розведені належним чином та обладнані захисними кожухами, що перешкоджають випадковому контакту. Під час обробки деревини та пластиків утворюється значна кількість пилу, тому робочі місця необхідно оснащувати припливно-витяжною або витяжною вентиляцією. Внаслідок високої температури різання можуть виділятися шкідливі гази, особливо при обробці пластмас, тому в окремих випадках слід використовувати респіратори. Стружку та тирсу, що накопичуються в процесі роботи, потрібно регулярно видаляти. Стрічкові пили для різання металу повинні бути закриті по всій довжині полотна міцними смугами або дугоподібними кожухами. Метало- та деревообробні верстати, призначені для слюсарних робіт, мають бути достатньо масивними, жорсткими та міцними, щоб уникнути хитання чи вібрації під час роботи. Стільницю верстата виготовляють із добре підігнаних дошок завтовшки 40...50 мм, оббитих листовим металом. Ширина двосторонніх верстатів становить 1,2...1,5 м. Усередині верстака встановлюють захисну сітку заввишки 0,8 м, яка запобігає травмуванню працівників від уламків металу, що можуть відлітати під час рубання [14].

Ширина односторонніх верстатів складає 0,6...0,8 м. З погляду безпеки найкращими є одномісні верстаки, однак для економії простору в ремонтних майстернях часто встановлюють багатомісні. Висоту верстака слід підбирати так, щоб губки лещат знаходилися на рівні ліктя працівника.

Стелажі для зберігання деталей повинні мати невеликий нахил полиць усередину та бути зручними по висоті для укладання й діставання виробів. Підлогу на робочому місці слюсаря обладнують ґратчастим настилом з відстанню між планками 25...30 мм [15].

Ураження електричним струмом може статися, якщо торкнутися металевих частин обладнання, що через пошкоджену ізоляцію проводків або ненадійне заземлення можуть опинитися під напругою. У сухих приміщеннях небезпечною для людини вважається напруга понад 36 В. Струм силою 0,1 А є смертельно небезпечним, а струм 0,05 А викликає судомні скорочення м'язів, через що людина не може самотійно від'єднатися від джерела ураження.

Щоб запобігти ураженню працівників електричним струмом, необхідно забезпечити надійне заземлення всіх частин обладнання, які потенційно можуть опинитися під напругою, виконати якісну ізоляцію електропроводів та закрити всі струмопровідні елементи, до яких можливий дотик. У разі раптового припинення подачі електроенергії або виходу з ладу однієї фази всі електроспоживачі та електродвигуни потрібно негайно вимкнути.

При виникненні загоряння електропроводки чи електроприладів, їх слід терміново знеструмити та гасити за допомогою вуглекислотного вогнегасника або азбестового покривала. Використовувати воду категорично заборонено. Іскри статичної електрики, що виникають під час тертя, подрібнення, перемішування порошкових матеріалів або переливання рідин, можуть спричинити пожежу чи вибух. Для їхнього відведення всі металеві частини обладнання повинні бути заземлені.

У разі ураження електричним струмом необхідно вимкнути пристрій або відсунути провід від потерпілого за допомогою неструмопровідного предмета (наприклад, палиці), перевірити пульс і за потреби негайно розпочати штучне дихання. Також слід повідомити про інцидент у медпункт. У разі будь-якої виробничої травми потерпілому має бути надана невідкладна медична допомога.

Перша допомога на виробництві передбачає зупинку кровотечі, обробку та перев'язування ран або опіків, звільнення потерпілого від дії електричного струму,

виконання штучного дихання та інші необхідні заходи. В аптечці першої допомоги, яка повинна бути на кожній ділянці або в кожній бригаді, мають обов'язково бути йод, бинти, нашатирний спирт, марганцево-кислий калій, джгут та інші засоби. У разі запалення слизової оболонки очей слід накласти на очі пов'язку або ватний тампон, змочений у холодній воді чи 2-відсотковому розчині борної кислоти, та перемістити постраждалого в затемнене приміщення. Перша допомога при опіках полягає в обробці ушкодженої ділянки спиртом або розчином марганцево-кислого калію, після чого накладається пов'язка з будь-яким несолоним жиром. Якщо опіки значні, одяг і взуття потрібно знімати дуже обережно, у разі потреби одяг розрізають. Після накладення пов'язки потерпілого потрібно чим швидше доставити до лікарні. При отруєнні шкідливими газами перш за все необхідно винести людину з загазованої зони. До основних симптомів такого отруєння належать головний біль, запаморочення, нудота, блювання та втрата свідомості. В таких випадках потерпілого виносять на свіже повітря, вкладають на спину, розстібають одяг, підносять до носа нашатирний спирт, проводять розтирання шкіри, при необхідності, при відсутності дихання, проводять штучне дихання.

При отруєнні свинцем чи його сполуками в порожнині рота відчувається присмак металу, а язик має білуватий кольору. При ознаках отруєння свинцем проводять промивання шлунку 1% розчином англійської або глауберової солі. При проведенні обробки пластмас та деревини виникає висока можливість виникнення пожежі або вибуху, яка підсилюється як факторами присутності легкозаймистих матеріалів (стружки, тирси, лаків, фарб та ін.), так і не виконанням вимог пожежної безпеки (несвоєчасне прибирання відходів, несправність в роботі витяжної вентиляції, несправності у роботі електрообладнання та ін.). В цілях попередження виникнення пожеж забороняється палити на робочих місцях, використовувати відкритий вогонь або проводити дії, які можуть викликати появу іскор.

При проведенні заходів з видалення стружки і тирси їх необхідно ретельно видаляти або змитати з елементів та частин електрообладнання. Сушити спецодяг, деревоматеріали та інші горючі предмети на приладах опалювальних систем та виробничих печах суворо забороняється. Робочі приміщення з високою ймовірністю

небезпеки виникнення пожежі забезпечуються пожежними щитами, вогнегасниками, ящиками з піском і ємностями з водою. Обтиральні ганчірки та матеріали, просочені горючими речовинами, що були у вжитку, повинні складатися в спеціальні металеві ящики з кришками. Самі мастильні матеріали, хімікати, горючі рідини необхідно зберігати в спеціальних ізольованих та відведених для цього приміщеннях або металевих шафах та ящиках. Кожен працівник обов'язково повинен дотримуватися вимог пожежної безпеки, охорони та гігієни праці. Тому, раціональна організація робочих часу та часу відпочинку, робочих місць, впровадження передових технологій, дотримання правил охорони праці, правил внутрішнього трудового розпорядку, виробничої санітарії і протипожежної безпеки дозволять знизити рівень травматизму та забезпечити працівників належними безпечними та нешкідливими умовами праці.

5.2 Розрахунок захисного заземлення

Експлуатація електрообладнання супроводжується ризиком ураження персоналу електричним струмом. У випадку випадкового контакту струмоведучих неізольованих провідників із металевими елементами конструкції обладнання на них може виникати небезпечна для людини напруга. Для запобігання таким аварійним ситуаціям застосовується один із основних технічних засобів захисту від ураження електричним струмом, а саме, захисне заземлення [16].

Захисне заземлення – це спеціальне електричне з'єднання металевих частин обладнання, які за нормальних умов не є струмоведучими, із землею чи її еквівалентом. Його функція полягає у зменшенні небезпечної напруги дотику та кроку, що виникає при замиканні на корпус. У такій ситуації струм аварійного замикання розподіляється між заземлювачем і людиною відповідно до їхніх електричних опорів. Захисне заземлення повинно мати значення електричного опору значно меншим по величині, ніж значення опору тіла людини. Тільки при виконанні такої умови на людину, яка випадково доторкнулася до ушкодженого елемента устаткування, вплине безпечна частина струму.

Заземлювачі і заземлюючі провідники виступають конструктивними елементами захисного заземлення .

Заземлювальний пристрій являє собою сукупність конструктивно об'єднаних заземлювачів і провідників. Заземлювальний провідник призначений для з'єднання частин обладнання або конструкцій, що підлягають заземленню, безпосередньо із заземлювачем. Заземлювач, у свою чергу, є системою з'єднаних між собою провідників, які розміщуються в безпосередньому контакті із землею або її еквівалентом.

У якості природних заземлювачів використовують металеві та залізобетонні конструкції, що вже знаходяться в землі та мають достатній електричний контакт із ґрунтом. Найчастіше природні заземлювачі це:

Металеві трубопроводи, прокладені в землі (крім трубопроводів з горючими або вибухонебезпечними речовинами).

Залізобетонні фундаменти будівель і споруд, які мають безперервну арматуру й контакт із ґрунтом (фундаментні заземлювачі).

Металеві оболонки кабелів, прокладених у землі.

Металеві конструкції свердловин, якщо вони занурені достатньо глибоко в землю.

Інші підземні металеві конструкції, що мають добру провідність та контактують із ґрунтом [16].

Ці елементи використовуються тому, що вони вже є в землі, мають велику площу контакту з ґрунтом і забезпечують низький опір розтікання струму. Перед використанням природного заземлювача проводять вимірювання його опору розтікання струму. Допустимим вважається лише той показник, що не перевищує нормативних значень. У випадку, коли опір природного заземлювача є більшим за допустимий, встановлюють додаткові штучні заземлювачі, які у сукупності з природним забезпечують необхідний рівень опору. При неможливості використання тільки природних заземлювачів, використовують заземлюючий комплекс, що повністю складаються з штучних заземлювачів.

Штучні заземлювачі можуть складатися з вертикальних і горизонтальних електродів. Як вертикальні електроди використовують сталеві труби, стержні, чи кутники довжиною від 2 до 4 метрів. Верхні кінці їх розміщують у ґрунті на глибині біля 0,6...0,7 м від поверхні. Для з'єднання вертикальних електродів між собою застосовують горизонтальні елементи — круглу сталь або сталеві смуги. Усі стержні, смуги та провідники, що встановлюються в землю, повинні бути без фарбування.

Електричний опір усієї системи захисного заземлення розраховується, як сума опору розтіканню струму в землі, опору заземлювачів, заземлюючих провідників. Визначальним являється останній опір розтіканню струму в землі, тому що електричний опір всієї системи захисного заземлення є рівним опору розтіканню струму в землі фактично заземлюючого пристрою.

Опір розтіканню струму в землі знаходиться в залежності від властивостей ґрунту та його стану, форм та розміру заземлювачів, глибини закладення їх у землю та взаємного розташування заземлювачів.

Питомий опір ґрунту характеризує провідність ґрунту, тобто перший - це опір куба ґрунту, що має довжину сторони 1 м. Сам питомий опір ґрунту значно у великій залежить самого ґрунту - від його виду і структури, температури та наявності в ньому солей та вологи.

Залежно від того, як розміщені заземлювачі відносно обладнання, що потребує заземлення, розрізняють виносне та контурне заземлення. Виносне заземлення встановлюється на певній відстані від об'єкта, який заземлюють. При контурному заземленні електроди розташовують по периметру та всередині ділянки, де змонтоване обладнання, що підлягає заземленню. Згідно з вимогами ПУЕ захисне заземлення необхідно виконувати в таких випадках:

- у всіх електроустановках за напруги змінного струму 380 В і вище та постійного струму 440 В і вище;

- за номінальної напруги змінного струму понад 42 В і постійного струму понад 110 В;

- лише в електроустановках, розташованих у приміщеннях з підвищеною або особливою небезпекою, а також у зовнішніх установках;
- у вибухонебезпечних електроустановках незалежно від величини напруги змінного чи постійного струму[16].

Заземленню повинні підлягати корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, металеві корпуси переносних та пересувних електроприймачів, каркаси розподільних шаф і щитів, сталеві труби електропроводки.

Контроль та перевірку фактичного технічного стану заземлюючого пристрою необхідно проводити у визначені періоди за наступною послідовністю:

зовнішньо оглядають видимі частини пристрою;

вимірюють опір пристрою;

вибірково проводять скресання ґрунту для проведення огляду підземних частин та елементів пристрою.

Вимірювання контрольне опору заземлення пристроїв цехових електроустановок повинно проводитися не рідше 1 разу в рік. Обов'язково фіксують у протоколах результати вимірювань опору заземлення. Вимірювання опору заземлювачів та питомого опору ґрунту рекомендується проводити влітку, коли відбувається найбільше просихання ґрунту, або взимку – при найбільшому промерзанні ґрунту.

Проведемо розрахунок необхідної кількості заземлювачів.

Для проведення розрахунків та конструктивного забезпечення заземлення приймемо наступні вихідні данні:

Заземлюючі стержні-електроди зі сталі діаметром, мм: $d = 30$

Питомий опір ґрунту складає Ом · м: $\rho = 40$;

Ширина з'єднувальної штаби, м: $B = 0,051$;

Довжина заземлюючих стержнів-електродів, м: $l = 2$;

Відношення відстані між заземлювачами до їх довжини: $L/l=1$;

Спосіб розміщення вертикальних електродів вибираємо в ряд.

Відстань від поверхні землі до верхнього краю вертикальних електродів складає, м: $t_0 = 0,6$.

Розраховуємо потрібну кількість вертикальних електродів для заземлювального пристрою та визначаємо його опір. Знайдемо віддаль від поверхні землі до середини вертикального заземлювача рис. 5.1

$$t = t_0 + \frac{l}{2}, \quad (5.1)$$

де t_0 – відстань від поверхні землі до верхівки вертикального заземлювача $t_0 = 0,6$ м.

l – довжина вертикального заземлювача $l = 2$ м.

Підставляючи в формулу числові значення величин отримаємо:

$$t = 0,6 + \frac{2}{2} = 1,6 \text{ (м)}.$$

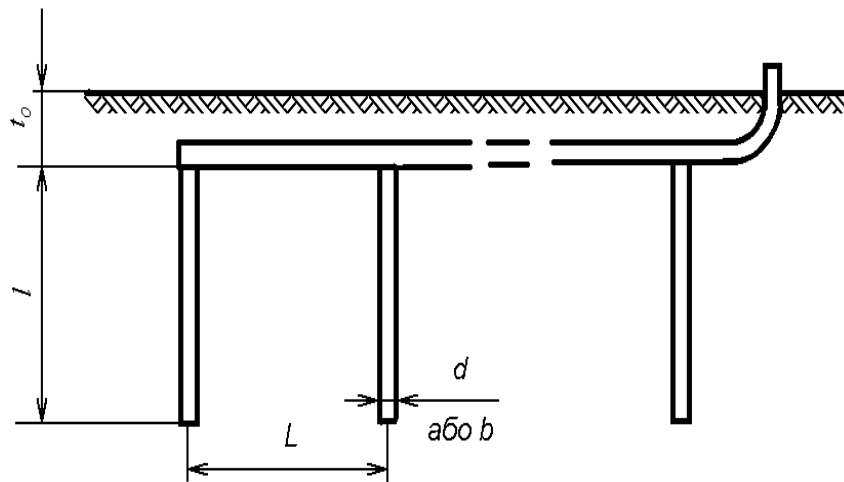


Рисунок 5.1 – Схема проектуваного заземлювального пристрою

Значення опору вертикального одиночного заземлювача розрахуємо по формулі [3]:

$$R_{од.см.} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right), \quad (5.2)$$

де d – розмір діаметру сталеві труби, що застосовується як вертикальний електрод $d = 0,03$ м.

Проводимо розрахунок:

$$R_{од.ст.} = \frac{40}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{0,03} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,6 + 2}{4 \cdot 1,6 - 2} \right) = 16,59 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}.$$

Розрахункова наближена кількість вертикальних електродів, без врахування коефіцієнту їх використання, розраховується за формулою [16]:

$$n_t = \frac{R_{од.ст.}}{R_d}, \quad (5.3)$$

де R_d – значення допустимого опору заземлювального пристрою, встановлений відповідно до ПУЕ для сіток електричних, що мають струмом живлення до 1000 В - 4 Ом.

$$n_t = \frac{16,58}{4} = 4,2 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість заземлювачі $n = 4$ шт.

Відповідно до таблиці коефіцієнтів використання вертикальних електродів, так як в нашому випадку $\frac{L}{l} = 1$ та вибрали розміщенню електродів в ряд $\eta_b = 0,73$ [16].

Встановимо необхідну кількість вертикальних електродів з врахуванням коефіцієнта використання вертикальних електродів по формулі [16] :

$$n_n = \frac{R_{од.ст.}}{R_q \cdot \eta_b}, \quad (5.4)$$

$$n_n = \frac{16,58}{4 \cdot 0,73} = 5,7 \text{ шт.}$$

Приймаємо $n_n = 6$ шт.

За вихідними даними $\frac{L}{l} = 1$, то $L = 2$ м.

Розрахуємо за формулою довжину з'єднувальної штаби вертикальних електродів [16]:

$$L_n = 1,05 \cdot L \cdot n_n \quad (5.5)$$

$$L_n = 1,05 \cdot 2 \cdot 6 = 12,6 \text{ (м)}.$$

Обчислимо опір розтікання струму з'єднувальної штаби [3]:

$$R_n = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_n} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_n^2}{B \cdot t}, \quad (5.6)$$

де B – значення ширини з'єднувальної полоси $B = 0,031$ м.

$$R_n = \frac{40}{2 \cdot 3,14 \cdot 12,6} \cdot \ln \frac{2 \cdot 12,6^2}{0,031 \cdot 1,6} = 4,39 \text{ (Ом)}.$$

По таблиці [3] $\eta_\Gamma = 0,72$.

Розрахуємо загальний опір заземлюваної системи по формулі:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_{\text{од.ст.}} \cdot R_n}{R_{\text{од.ст.}} \cdot \eta_\Gamma + R_n \cdot n_n \cdot \eta_B}, \quad (5.7)$$

$$R_{\text{заг}} = \frac{16,58 \cdot 4,39}{16,58 \cdot 0,72 + 4,39 \cdot 6 \cdot 0,73} = 3,33 \text{ (Ом)}.$$

За умови $R_{\text{заг}} \leq R_d$ видно, що проведений розрахунок потрібної кількості вертикальних електродів задовольняє вимогам ПУЕ, де $R_d = 4$ Ом.

Встановимо конструктивні параметри заземлювальної штаби, до якої має бути під'єднаний кожний верстат. Враховуючи технічні та експлуатаційні вимоги, обираємо розміри поперечного перерізу штаби, прокладеної вздовж стін ділянки $40 \cdot 4 = 160 \text{ мм}^2$. Довжина штаби відповідно до плану розміщення обладнання становить приблизно 120 м, це значення включає відповідні відводки до окремого обладнання.

ВИСНОВКИ

У роботі розглядалася технологічна розробка деталі – «Корпус 035-DH435-P». Деталь входить до складального вузлу бормащини, враховавши технічні вимоги та призначення, деталь доцільно виготовити із алюмінієвого сплаву Д16Т.

Під час розробки, у першу чергу необхідно визначити тип виробництва. При заданій програмі випуску $N = 5450$ на рік та масі деталі $q = 0,024$ кг, з розрахунків отримуємо, що тип виробництва – середньосерійний.

В роботі виконано розрахунки режимів різання, технологічних припусків, нормування, це дозволило розробити удосконалений технологічний процес та призначити норму часу виконання з операцій механічної обробки. В технологічному розділі розроблено керуючу програму для виготовлення деталі «Корпус 035-DH435-P». Крім цього побудовано цикли обробки з координатами прив'язки заготовки та різального інструменту, та вкінці було проведено перевірку керуючої програми на правильність виконання усіх переходів та ймовірність зіткнення інструментів із заготовкою та пристосуванням. Проведена перевірка не показала помилок розробки КП, сама обробка відповідає повністю всім технічним вимогам робочого креслення.

В конструкторському розділі спроектовано захватний пристрій для роботизованого технологічного комплексу та контрольно-вимірювального приладу для контролю радіального биття циліндричної поверхні.

В дослідницькому розділі проведено аналіз впливу деформації та температури на розм'якшення матеріалу під час різання. Встановлено, що ідентифікована початкова температура суттєвого термічного розм'якшення границі текучості є вищою, ніж значення, отримані за результатами гарячих випробувань на стиск, наведених у літературі. Це зумовлено швидким нагріванням під час процесу механічної обробки, унаслідок чого матеріал не має достатнього часу для повної рекристалізації.

В розділі охорона праці розглянуто питання охорони праці працівників при обробці матеріалів різанням та проведено розрахунок захисного заземлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Багрій, В. Г., Коржик, С. М., Лисенко, В. І. "Технологія машинобудування". Навчальний посібник. – Київ: Наукова думка, 2018. – 432 с.
2. Григоренко, Ю. М. "Технологія обробки металів різанням". – Дніпро: ДНУ, 2019. – 290 с.
3. Гуленко, І. П. "Абразивна обробка поверхонь: нові підходи". Стаття. – Журнал "Машинобудівні технології", 2021. – №3. – С. 45–56.
4. ДСТУ EN 13788:2008. Металообробні верстати. Безпека. Верстати токарні багатошпиндельні автоматичні. – Київ: Держстандарт України, 2008
5. ДСТУ ISO 6309:2007. Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір. – Київ: Держспоживстандарт України, 2007.
6. Зайцев, А. М. "Основи проектування технологічних процесів машинобудування". – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 300 с.
7. Захаренко, О. Г. "Системний підхід до організації технологічних процесів". – Харків: ХПІ, 2020. – 315 с.
8. Ляшенко, О. В., Серета, В. П. "Методи аналізу та оптимізації технологічних процесів". – Львів: Вид-во ЛНУ ім. І. Франка, 2017. – 356 с
9. Ніконов, П. М. "Механіка матеріалів та основи конструювання в машинобудуванні". – Одеса: ОНМУ, 2015. – 275 с.
10. Pu C., Zhu G., Yang S., Yue E., Subramanian S., Effect of dynamic recrystallization at tool-chip interface on accelerating tool wear during high-speed cutting of 410AISI1045 steel, International Journal of Machine Tools and Manufacture 100 (2016) 72–80. doi:10.1016/j.ijmachtools.2015.10.006.
11. Dargusch M, Sun S., Kim J., Li T., Trimby P., Cairney J., Effect of tool wear evolution on chip formation during dry machining of Ti-6Al-4V alloy, International Journal of Machine Tools and Manufacture 126 (2018) 13–17. doi:10.1016/j.ijmachtools.2017.12.003.415

12. Liao Z., Abdelhafeez A., Li H., Yang Y., Diaz O., Axinte D., State-of-the-art of surface integrity in machining of metal matrix composites, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 143 (2019) 63–91. doi:10.1016/j.ijmachtools.2019.05.006.
13. Xu D., Liao Z., Axinte D., Hardy M., M'Saoubi R., A quick method for evaluating the thresholds of workpiece surface damage in machining, *CIRP Annals* 68 (1) (2019) 61–64. doi:10.1016/j.cirp.2019.03.01
14. Пістун І. П. Охорона праці в галузі машинобудування : навчальний посібник / І. П. Пістун, Р. Є. Стець, І. О. Трунова. Суми : Університетська книга, 2025. - 556 с.
15. Гасило Ю. А. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська. К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.
16. Електробезпека: Підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – 295 с., рис. 80, табл. 20.
17. Петров, М. І. "Прогресивні технології в машинобудуванні". – Київ: Політехніка, 2018. – 420 с.
18. Титов, С. Г. "Моделювання процесів металообробки". – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 238 с.
19. Шаповалов, К. А. "Основи автоматизації технологічних процесів у машинобудуванні". – Харків: УкрНДІАТ, 2021. – 360 с.
20. Шевченко, В. М., Дубовик, Р. С. "Комп'ютерне моделювання технологічних процесів у машинобудуванні". – Київ: Політехніка, 2020. – 410 с.