

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Сумський державний університет**

Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня **«магістр»**

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності **131 «Прикладна механіка»**

(код та назва)

освітньо-професійної програми **«Технології машинобудування»**

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: **Удосконалення технологічного процесу виготовлення муфти П6-ВА4-А.15.09**

**шляхом застосування високопродуктивної технологічної оснастки**

Здобувача (ки) групи **ТМ.мз-21с**

(шифр групи)

**Конончука Дмитра Володимировича**

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

**Дмитро КОНОНЧУК**

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

доцент, канд. техн. наук, доцент Павло КУШНІРОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант

з питань

охорони праці

ст. викладач, канд. техн. наук Віра ФАЛЬКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Нормоконтролер

доцент, канд. техн. наук, доцент Олександр ІВЧЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

**Суми – 2023**

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
**«Сумський державний університет»**

Інститут, факультет	<u>ЦЗДВН</u>
Кафедра	<u>технології машинобудування, верстатів та інструментів</u>
Освітньо-науковий рівень	<u>другий (магістерський)</u> (назва)
Спеціальність	<u>131 – прикладна механіка</u> (шифр і назва)
Освітня програма	<u>технології машинобудування</u> (назва освітньої програми, за наявності)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри технології  
машинобудування, верстатів та  
інструментів

\_\_\_\_\_ Віталій ІВАНОВ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) ЗДОБУВАЧА**

**Конончук Дмитро Володимирович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Удосконалення технологічного процесу  
виготовлення муфти П6-ВА4-А.15.09 шляхом застосування  
високопродуктивної технологічної оснастки»

керівник проекту Кушніров Павло Васильович, канд. техн. наук, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «30» листопада 2023 року за №1381-VI

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) «17» грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту)

Креслення деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09».

Типовий технологічний процес виготовлення деталі муфта.

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

1. Виконати аналіз первинної інформації про деталь.

2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі.

3. Дослідити підвищення працездатності спіральних свердел шляхом застосування багат шарових зносостійких покриттів.

4. Розглянути питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

## 5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Фалько В. В., ст. викладач кафедри ЕтаПТ		

## 6. Дата видачі завдання «10» вересня 2023 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи (проєкту)	Строк виконання етапів роботи (проєкту)	Примітка
1	1. Аналіз первинної інформації про деталь муфту.	01.10.2023	
2	2. Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі муфта.	20.10.2023	
3	3. Наукове дослідження.	01.11.2023	
4	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	25.11.2023	
5	Формулювання загальних висновків	05.12.2023	
6	Підготовка доповіді	10.12.2023	
7	Підготовка презентації	13.12.2023	
8	Оформлення роботи	15.12.2023	

Здобувач

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Дмитро КОНОНЧУК

\_\_\_\_\_  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи (проєкту)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Павло КУШНІРОВ

\_\_\_\_\_  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Сумський державний університет**

Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

Завідувачу кафедри

**Віталію ІВАНОВУ**

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

здобувача (ки) групи **ТМ.мз-21с**

(шифр групи)

**Дмитра КОНОНЧУКА**

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**ЗАЯВА**

Прошу затвердити мені тему кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня **«магістр»** зі спеціальності **131 «Прикладна механіка»**

(бакалавр/магістр)

(код та назва)

**освітньо-професійної**

програми

**«Технології машинобудування» :**

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення муфти П6-ВА4-А.15.09**

(назва теми)

**шляхом застосування високопродуктивної технологічної оснастки**

(дата та підпис здобувача)

**ПОГОДЖЕНО:**

Керівник кваліфікаційної роботи:

**Павло КУШНІРОВ**

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Записка: 104 с., 20 рис., 15 табл., 10 додатків, 47 посилань.

Об'єкт розробки – деталь «Муфта П6-ВА4-А.15.09», що входить до складу газоперекачувального агрегата.

У випускній магістерській роботі проаналізовано службове призначення виробу - газоперекачувального агрегата типу 351ГЦ2, деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09», крім того технічні вимоги з показниками технологічності конструкції деталі. Також були проаналізовані та обгрунтовані вибір способу отримання заготовки (поковка), були розраховані припуски на діаметральний розмір  $\varnothing 572H8$ .

Крім того для операції 065 проведено обгрунтування з аналізом схем базування деталі; обгрунтовано вибір різальних та вимірювальних інструментів, верстата, верстатного пристрою; провели нормування та розрахунки режимів різання операцій.

Спроектовано верстатний пристрій для фрезерної з ЧПК операції 055. Здійснено дослідження підвищення працездатності спіральних свердел шляхом застосування багат шарових зносостійких покриттів. Проведено температурне моделювання свердла в ANSYS.

МУФТА, АНАЛІЗ, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ТИП ВИРОБНИЦТВА, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, ПРИСТРІЙ, МОДЕЛЮВАННЯ, БАГАТОШАРОВІ ЗНОСОСТІЙКІ ПОКРИТТЯ

## SUMMARY

Report: 104 pages, 20 pictures, 15 tables, 10 additions, 47 sources.

The object of researching is part «Muff P6-VA4-A.15.09», which is part of the gas pumping unit type 351HC2.

The final master's thesis analyzed the service purpose of the product - gas pumping unit type 351HC2 and part «Muff P6-VA4-A.15.09», as well as technical requirements and technological indicators of the part design were analyzed. The choice of method of obtaining the initial blank by stamping was justified, machining allowances for diametral dimension  $\varnothing 572H8$  were calculated also.

For operation 065 the justification and an analysis of the part basing scheme were carried out; the choice of the cutting and measuring tools, metal-cutting machine, tools is justified; the operations were normalized and cutting conditions were calculated.

A machine tool fixture for milling CNC operation 055 has been designed. The study of improving the performance of spiral drills by applying multi-layer wear-resistant coatings was carried out. Temperature modeling of the drill was carried out in ANSYS.

MUFF, ANALYSIS, PROCESSABILITY, TECHNOLOGICAL PROCESS, TYPE OF PRODUCTION, BILLET, TOOL, DEVICE, MODELING, MULTILAYER WEAR-RESISTANT COATINGS

## ЗМІСТ

	с.
Вступ .....	7
1 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі «Муфта «П6-ВА4-А.15.09» .....	10
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис їх конструктивних особливостей й умов експлуатації .....	10
1.2 Аналіз технічних умов і вимог до конструкції муфти. Визначення технологічних завдань для її виготовлення .....	12
1.3 Характеристика типу й організаційних форм виробництва .....	14
1.4 Аналіз технологічності конструкції муфти П6-ВА4-А.15.09 .....	16
1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09» .....	18
1.6 Висновок і завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Муфти П6-ВА4-А.15.09» .....	20
2 Удосконалення існуючого технологічного процесу виготовлення «Муфти П6-ВА4-А.15.09» .....	21
2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів й вибір оптимального для виготовлення «Муфти П6-ВА4-А.15.09» .....	21
2.2 Обґрунтування способів отримання, розрахунок і формулювання технічних вимог на виготовлення заготовки муфти .....	23
2.3 Розрахунок припусків на оброблення поверхні $\varnothing 572H8$ .....	27
2.4 Розмірний аналіз розробленого технологічного процесу для лінійних розмірів .....	29
2.5 Призначення та обґрунтування схем базування й закріплення заготовки муфти .....	34
2.6 Вибір й обґрунтування моделей металорізальних верстатів .....	37
2.7 Вибір та обґрунтування верстатних пристроїв, різального й вимірювального інструмента .....	38
2.8 Визначення режимів різання й технічне нормування операцій .....	40

2.9	Проектування засобів технологічного оснащення – верстатного пристрою для операції 055 фрезерної з ЧПК .....	42
3	Дослідження підвищення працездатності спіральних свердел шляхом застосування багат шарових зносостійких покриттів .....	54
	Висновки за розділом 3 .....	62
	Висновки .....	65
	Перелік джерел посилань .....	66
	Додаток А Креслення деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09»	71
	Додаток Б Результат розрахунку типу виробництва	72
	Додаток В Результати розрахунків припусків	73
	Додаток Г Специфікація на спеціальній верстатній пристрій	74
	Додаток Д Креслення заготовки муфти	77
	Додаток Е Креслення маршруту обробки деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09»	78
	Додаток Ж Креслення операційного налагодження на операцію 055	79
	Додаток К Складальне креслення спеціального пристрою	80
	Додаток Л Охорона праці і безпека у надзвичайних ситуаціях	81
	Додаток М Матеріали публікації (тези)	101



## ВСТУП

Для подальшого розвитку машинобудування потрібне проектування технологічних процесів із застосуванням сучасного обладнання із ЧПК, гнучких автоматизованих систем. Також є важливим більш якісний технічний контроль, впровадження виробничих комплексів для оброблення деталей, верстатів-автоматів та автоматизації використання міжопераційного транспорту.

Розвиток комп'ютерного проектування та моделювання має за мету створення і впровадження високоефективної техніки в усіх галузях народного господарства. Як результат відбувається прискорення науково-технічного прогресу нашої держави та підвищення рівня життя. Саме тому використання сучасних устаткування замість універсального металорізального обладнання надасть додаткових імпульсів у подальшому розвитку ефективного промислового виробництва, його технічного оновлення та інтенсифікації. Це зменшить загальну тривалість життєвого циклу виготовлення деталей та виробів, а також знизить незавершене виробництво на підприємствах машинобудівної галузі.

### **Актуальність роботи.**

Розроблення та ефективне вдосконалення технологічних процесів є актуальною проблемою нашого часу. Створення, впровадження і експлуатація новітньої сучасної техніки в усіх галузях народного господарства дозволяє прискорити науково-технічний прогрес нашої держави. Наведена випускна магістерська робота сформована на базі тієї номенклатури виробів, що виробляють на провідних машинобудівних підприємствах Сум, а також з урахуванням зміста і вимог переддипломної практики. Все це дозволить здобувачу докладно проаналізувати існуючий технологічний процес виготовлення деталі, виявити його недоліки й переваги щоб потім надати пропозиції для його вдосконалення. Сутність роботи стосується розроблення сучасних компресорів і газоперекачувальних агрегатів, і ці вироби мають задовольняти жорстким критеріям з якості та продуктивності за мінімальних витрат. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є вдосконалення базового

технологічного процесу виготовлення деталі ГПА «Муфта» із застосуванням сучасних методів оброблення, високоефективних інструментальних матеріалів, інструментів із зносостійкими покриттями та металорізальних верстатів нових моделей.

**Зв'язок випускної роботи магістра з науковими темами і програмами.** Роботу виконано на кафедрі технології машинобудування, верстатів та інструментів СумДУ в рамках НДР (ДР № 0122U200875, Міністерство освіти і науки України) «Інтенсифікація виробничих процесів та розробка інтелектуальних систем контролю якості продукції в інтелектуальному виробництві».

**Об'єкт дослідження.** Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення «Муфти П6-ВА4-А.15.09».

**Предмет дослідження.** Особливості застосування двошарових зносостійких покриттів на спіральних свердлах для операції 065 свердлильної з ЧПК.

**Мета дослідження.** Мета дослідження – підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення муфти П6-ВА4-А.15.09 шляхом застосування високопродуктивної технологічної оснастки.

**Завдання дослідження:**

- проектування спеціального пристрою на операцію 055 фрезерну з ЧПК, що забезпечить високі показники продуктивності обробки;
- обґрунтування методів підвищення ефективності базового технологічного процесу виготовлення «Муфти П6-ВА4-А.15.09»;
- аналіз особливостей застосування зносостійких покриттів для спіральних свердел;
- дослідження періодів стійкості спіральних свердел з двошаровими зносостійкими покриттями та свердел без покриття.

**Методами дослідження є:**

- здійснення теоретичного аналізу технічної та технологічної інформації;

– синтез нових конструкцій технологічної оснастки та більш ефективного технологічного процесу на базі здійсненого теоретичного аналізу;

– моделювання у середовищі ANSYS теплового стану робочих елементів спірального свердла.

#### **Наукова новизна досліджень:**

– виявлено, що застосування зносостійких покриттів знижує температуру на контактних ділянках спірального свердла, а застосування зносостійких багатоелементних покриттів призводить до зміщення ізотерм температури в бік від головних ріжучих кромки, тим самим покращуючи тепловий стан ріжучого клина;

– встановлено, що двошарові покриття порівняно з одношаровими покриттями TiAlN і TiAlCrN мають більш високу мікротвердість (у 1,2-1,4 рази) та модуль пружності (на 5-9,5%);

– виявлено, що застосування двошарових покриттів підвищує період стійкості свердел у 2,5 рази по відношенню до свердел без покриття та в 1,7-1,8 рази – по відношенню до свердел з покриттям TiN.

**Практичне значення отриманих результатів.** Наведені в роботі результати досліджень є рекомендованими до використання на підприємствах та організаціях інженерної галузі.

**Власний внесок здобувача.** Наведені в роботі результати досліджень було отримано здобувачем спільно із його науковим керівником.

**Апробація отриманих результатів дослідження.** Матеріали роботи магістра були апробовані на 29 науково-практичній конференції у Сумському національному аграрному університеті «Технології XXI століття» (20-22 листопада 2023 р.).

**Публікація.** Були опубліковані тези науково-практичної конференції (додаток М) [44].

**Структура випускної роботи магістра:** 3 розділи, 10 додатків, перелік джерел посилань з 47 найменувань. Загальний обсяг роботи – 104 сторінки.

## 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «МУФТА П6-ВА4-А.15.09»

### 1.1 Аналіз службового призначення виробу, вузла, деталі. Опис їх конструктивних особливостей й умов експлуатації

Муфта «П6-ВА4-А.15.09» входить до відцентрового компресора 351ГЦ2-564/58-78М12». Компресори та ГПА (газоперекачувальні агрегати) застосовують в головних й допоміжних компресорних станціях на магістральних газопроводах, при транспортуванні попутних газів. Завдяки невеликим габаритним розмірам й масам відцентрові компресори використовуються дуже широко у світі. Висока продуктивність – від 1,6 м<sup>3</sup>/с – з потужностями до 26 МВт, гарний ККД є їх перевагами [43].

Газотурбінна установка ГТУ-10П використовується як привод компресора ГПА. Сам ГПА складають із блоків та вузлів високої заводської готовності. Їх монтаж проводять на місці експлуатації. У блоках та вузлах встановлено елементи системи життєзабезпечення ГПА. ГПА типу 351ГЦ2 є складною автоматизованою установкою в блочно-контейнерному виконанні. За принципом дії він підвищує тиск газу на виході до рівнів, що перевищують тиск у сховищах при закачуванні або у газопроводах при відборі газу [43]. Агрегат використовують в різних магістральних трубопроводах, і він приводиться в дію від електродвигуна (див. рисунок 1.1).

Технічні характеристики компресора типу 351ГЦ2:

- потужність, у МВт                    26,0;
- початковий тиск, у кгс/см<sup>2</sup>            59;
- кінцевий тиск, у кгс/см<sup>2</sup>            78;
- ККД, у %                                87;
- продуктивність, у млн.ст.м<sup>3</sup>/доб        54.

«Муфта П6-ВА4-А.15.09» є однією з найважливіших деталей компресора, вона необхідна для передавання обертового моменту від вала турбіни до вала

компресорної маслостанції. Муфту використовують в маслостанції в компресорних агрегатах, де в ході роботи агрегата на муфту діють циклічні знакоперемінні осьові сили, які йдуть від вала турбіни агрегата. Цю деталь використовують в роторо-муфтовій групі, що має працювати в закритому приміщенні з робочими температурами від  $-15$  до  $+48^{\circ}\text{C}$ .

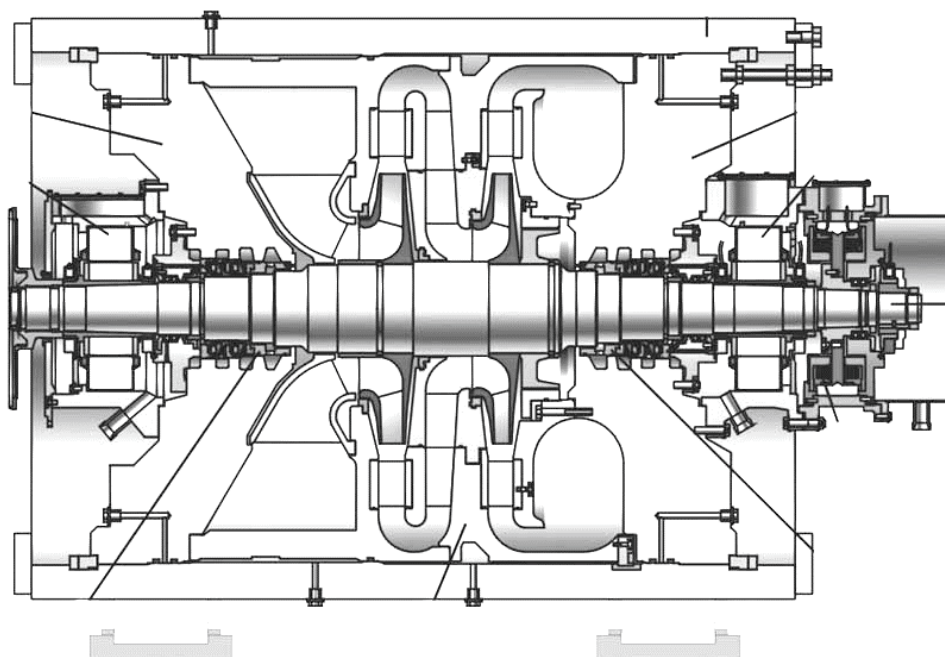


Рисунок 1.1 – Виріб: відцентровий компресор 351ГЦ2-564/58-78М12

Згідно із кресленням вузла проведемо аналіз базування заданої деталі. Муфта базується по діаметру  $\varnothing 574\text{H}7$  і пазам 110 мм з упором в торці розточки  $\varnothing 574\text{H}7$ . Деталь в результаті позбавляється шести ступенів свободи:  $\varnothing 574\text{H}7$  лишає двох ступенів свободи (подвійна опорна Б); торець розточення  $\varnothing 574\text{H}7$  лишає трьох ступенів свободи (установча Б); одна з бічних поверхонь паза 110 мм лишає одного ступеня свободи (опорна Б).

На рисунку 1.2 наведено базування муфти П6-ВА4-А.15.09 у виробі.

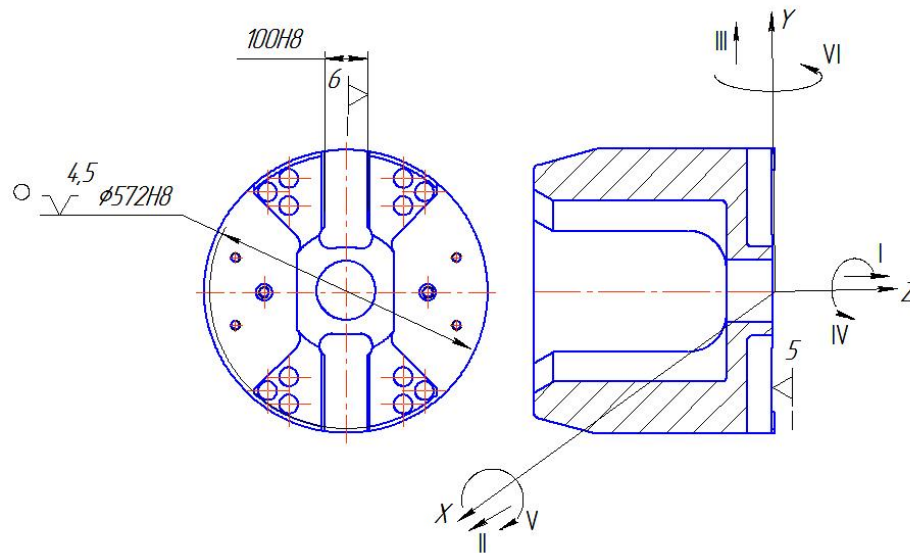


Рисунок 1.2 – Базування «Муфти»

Зробимо класифікацію поверхонь муфти та призначення баз:

Основні конструкторські бази	10, 17, 16
Допоміжні конструкторські бази	14, 13, 8, 12, 11, 9, 15
Виконавча поверхня	10
Вільні поверхні	всі інші.

## 1.2 Аналіз технічних умов і вимог до конструкції муфти. Визначення технологічних завдань для її виготовлення

Креслення муфти П6-ВА4-А.15.09 виконано згідно з ЄСКД, воно відповідає існуючим стандартам. Вірно нанесення розмірів й граничних відхилень, величина шорсткості поверхонь, значення допусків форми й розташування поверхонь. Аналіз креслення муфти П6-ВА4-А.15.09 показав, що наявних проєкцій з видами і перерізами є достатня кількість, вони вірно розміщені відповідно з діючими стандартами.

Муфту П6-ВА4-А.15.09 виготовляють із легованої конструкційної сталі 45ХН2МФА. З такої сталі виготовляються деталі, які працюють з динамічними навантаженнями.

Механічні властивості та хмічний склад представлено у таблицях 1.1 й 1.2.

Таблиця 1.1 – Механічні властивості сталі 45ХН2МФА

Сортаменти	КСУ	$\sigma_T$	$\delta_5$	$\psi$	Термооброблення	$\sigma_B$
-	кДж / м <sup>2</sup>	МПа	%	%	-	МПа
Пруток	395	1273	8	36	Гартування в маслі 863°С	1425

Таблиця 1.2– Хімічний склад (%) сталі 45ХН2МФА

С	Cr	Ni	Mo	V	Si	Mn	Cu	S	P
0,41 – 0,50	0,80 – 1,10	1,30 – 1,80	0,20 – 0,32	0,10 – 0,18	0,17 – 0,37	0,50 – 0,80	до 0,30	до 0,025	до 0,025

Зі сталі 45ХН2МФА виготовляються колінчасті вали, клапани, шатуни, відповідальні болти, диски, кулачкові муфти, важелі, шестерні та важконавантажені деталі. Оброблюваність матеріалу незадовільна, можливе під час оброблення «налипання» на різальні кромки, що пов'язано із в'язкістю.

Точність базових поверхонь IT8, – IT14. Виконання по IT8 основних та допоміжних баз є обґрунтованим, оскільки від виконання цієї точності поверхонь залежить взаємне розташування поверхонь, усунення заклинювання між контактуючими поверхнями і зменшення величини люфтів та проміжків.

Використання сталі для муфти також обґрунтовано у зв'язку з тим, що під час роботи муфти деталі вузла підлягають циклічним й динамічним знакозмінним великим навантаженням, саме тому використання більш крихких металів із меншим значенням « $\sigma_T$ » унеможливується: це може призвести до аварійної ситуації або до деформацій поверхонь муфти.

Недотримання параметрів допусків паралельності посадкових поверхонь 110Н8 (не більше 0,02 мм) та допусків симетричності поверхонь бази К до осі

отвору  $\varnothing 574H8$  мм (не більше 0,03 мм) може призвести до неможливості складання деталей, а також це впливає на передавання обертового моменту.

### 1.3 Характеристика типу й організаційних форм виробництва

Вихідними даними для розрахунків типу виробництва за допомогою комп'ютерної програми «*Tip2 beta 4*» є наступне:

Базовий технологічний процес:

- 025 Токарно-карусельна ( $T_{шк}=148$  хв.);
- 035 Токарно-гвинторізна ( $T_{шк}=86$  хв.);
- 045 Токарно-карусельна ( $T_{шк}=135$  хв.);
- 050 Токарна ( $T_{шк}=250$  хв.);
- 055 Горизонтально-розточна ( $T_{шк}=127$  хв.);
- 060 Фрезерна ( $T_{шк}=142$  хв.);
- 065 Свердлильна ( $T_{шк}=170$  хв.);
- 070 Свердлильна ( $T_{шк}=93$  хв.);

Річна програма випуску:  $N = 50$  штук.

Дійсний річний фонд часу:  $F=4029$ годин.

Кількість робочих днів року: 254.

Режим праці: 2 зміни.

Периодичність запуску: 25 днів.

Результат розрахунку комп'ютерної програми «*Tip2 beta 4*» (Додаток Б, «Результати визначення типу виробництва»):

- коефіцієнт закріплення операцій:  $K_{з01}=23$ ;
- тип виробництва: дрібносерійний;
- форма організації виробництва: групова;
- розмір виробничої партії:  $n = 5$  шт.



Згідно з розрахунками, коефіцієнт закріплення операцій  $K_{zo}=23$ . Оскільки  $20 < 23 < 40$ , то наявний дрібносерійний тип виробництва.

Наведемо характеристику дрібносерійного типу виробництва:

Дрібносерійне виробництво за своїми технологічними та виробничими характеристиками займає проміжне місце – між одиничним виробництвом і середньосерійним виробництвом.

У дрібносерійному виробництві використано універсальне обладнання, спеціалізоване або частково спеціальне. Можуть широко використовуватися оброблювальні центри й верстати з ЧПК, також гнучкі автоматизовані системи верстатів, які пов'язані транспортними механізмами між собою.

У цьому виробництві в основному є технологічна оснастка універсальна, але в багатьох випадках створюють спеціальні високопродуктивні пристрої, але доцільність їхнього використання повинна бути обґрунтована техніко-економічними розрахунками.

Універсально-збірна і переналагоджувана технологічна оснастка має досить велике поширення, і це дозволяє істотно підвищити коефіцієнт оснащеності. Досягається необхідна точність як методами автоматичного отримання розмірів, так само і методами пробних проходів з частковим застосуванням розмітки. Вихідними заготовками є гарячий і холодний прокат, лиття, штампування, кування.

При дрібносерійному типі виробництва докладно розробляють технологічну документацію і нормування для найбільш складних та відповідальних заготовок з одночасним застосуванням спрощеної документації, та дослідно-статистичним нормуванням найпростіших заготовок.

#### 1.4 Аналіз технологічності конструкції муфти П6-ВА4-А.15.09

Максимальна технологічність виробу або деталі дозволяє підвищувати продуктивність праці, скорочувати час виготовлення і знижувати затрати на виробництво при одночасному забезпеченні відповідної якості й точності.

Якісні показники технологічності є характеристикою властивостей конструкції деталі лише загально, а саме на базі досвіду виконавця аналізу. До якісних показників технологічності можна віднести матеріал виготовлення заготовки, методи базування й закріплення заготовки, допуски розміщення й форми, проставлення розмірів на кресленні деталі, геометрична точність форми і також можливість використання вискоєфективного оброблення поверхонь. При цьому здійснюють аналіз наступного: креслення деталі, а саме вірність проставлення розмірів, шорсткості й допусків; конструкції деталі; конструктивних елементів; можливості використання високих режимів різання; способів отримання заготовки; матеріалу деталі, можливих заміників.

Механічні властивості й хімічний склад «Муфти» наведено в таблицях 1.1 й 1.2. Деталь «Муфта» являє собою типового представника корпусних деталей, які виготовляють з легованої сталі 45ХН2МФА.

Ця сталь оброблюється задовільно, оскільки цей матеріал в'язкий й порівняно твердий. Тому можливе виконання лезвійної обробки з деякими ускладненнями, бо сталь є в'язкою ( $\sigma_v=1425$  МПа). Легована сталь є досить дорогою, але зі своїми фізико-механічними властивостями вона підходить для виготовлення муфти для відповідних умов її експлуатації із циклічним навантаженням. Тим самим обґрунтованість використання сталі 45ХН2МФА повністю підтверджена. З цієї сталі часто виготовляють різні муфти. Робимо висновок, що з використаного матеріалу для виготовлення муфти деталь є технологічною.

Точність оброблення значною мірою залежить від простоти чи складності конструкційних форм деталі, проаналізуємо форму поверхонь муфти. З точки зору можливості застосування вискоєфективного устаткування форма поверхонь є

простою, здебільшого циліндрична або плоска, і це полегшує обробляння. Часткове ускладнення надає обробляння пазів, де необхідно використовувати МОР під значним тиском для усунення стружки із зон різання. Оскільки деталь майже не містить необроблюваних поверхонь, то тоді робимо висновок про те, що деталь з цього параметра нетехнологічна (всі поверхні мають бути механічно обробленими).

Роблячи аналіз креслення муфти П6-ВА4-А.15.09, бачимо, що креслення виконано згідно із діючими стандартами. Наявні деякі невеликі відхилення, наприклад, шорсткість зображено без необхідної виноски. Хоча це і дозволяє читати інформацію, але воно не дуже зручно. Взагалі, як висновок з цього питання, деталь технологічна.

Не є можливим спрощення запропонованих конструктором вимог креслення муфти у відношенні точності й якості поверхонь. Це пояснюється тим, що деталь є відповідальною, тому для відповідності муфти її функціональному призначенню ми маємо забезпечити відповідну точність і якість. Тому за цим параметром деталь є нетехнологічною. Найбільш точні поверхні виконано за ІТ8, а розміри складають діапазон від 100 до 600 мм. Взагалі це є не досить точним, бо гірше 6-7 квалітету. Тут деталь технологічна.

Призначена конструктором поковка має ГрV, що є нетехнологічним, оскільки треба робити зразки від кожної заготованки для спеціальних механічних досліджень на розрив або удар, також перевіряти цілісність матеріалу методом УЗД. Це збільшує трудомісткість обробляння, саме тому за цимими показниками деталь не є технологічною.

Поверхні муфти є достатньо розвинутими, це полегшує умови базування на механічних операціях обробляння, тому деталь тут є технологічною.

Велика маса муфти (заготовки 915 кг, а деталі 594 кг) свідчить про те, що при установленні маємо використовувати допоміжні підйомні кран-балки або мостові крани. Це збільшує допоміжний час на установлення, базування, закріплення деталі. Саме тому за цим показником деталь не є технологічною.

Конструктором на кресленні пред'явлено досить жорсткі вимоги до форми й розміщення базових поверхонь деталі. Пояснюється це тим, що ці поверхні є основними й допоміжними конструкторськими базами. Тому потрібно застосовувати відповідну велику кількість операцій обробляння для досягнення даних вимог креслення та ще й з використанням таких режимів різання, які б дозволяли забезпечити ці допуски та необхідну якість та шорсткість поверхонь деталі «Муфта».

Оброблення глибини закритих отворів і нарізання різі є нетехнологічним, оскільки отримувані розміри досить складно контролювати й вимірювати.

В цілому можна зробити загальний висновок, що деталь «Муфта» є технологічною, хоча вона і має окремі нетехнологічні елементи. Виконання цих нетехнологічних вимог з точності, для отримання яких необхідно забезпечувати відповідну кількість переходів при механічному оброблянні, пояснюється службовим та функціональним призначенням поверхонь деталі «Муфта».

### **1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09»**

Проведемо аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09». Цей технологічний процес було розроблено з урахуванням особливостей необхідного дрібносерійного типу виробництва, а також у відповідності до наданих конструктором технічних вимог до виготовлення деталі.

Розглядаючи існуючий технологічний процес виготовлення деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09», бачимо, що в цьому технологічному процесі заготовкою є поковка, кована на молотах. Також видно, що існуючий технологічний процес містить досить великі переліки металорізального обладнання, яке не є сучасним, а просто використовується на підприємстві.

Більш детально базовий технологічний процес розглянемо в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Базовий технологічний процес

№ оп.	Найменування операції	Короткий зміст операції	Базування	Обладнання
1	2	3	4	5
005	Обробка тиском	Кування заготовки		Молота
010	Термічна обробка	Зняття внутрішніх напружень, зменшення та розподілення зерен, структури матеріалу		Електрична термічна піч
015	Технічний контроль	Перевірка розмірів заготовки		Стіл ВТК
020	Токарно-карусельна	Чорнова обробка під ультразвуковий контроль	На підкладках в кулаках	1512
025	Технічний контроль	Ультразвуковий контроль		Стіл ВТК
030	Токарно-карусельна	Відрізка кільці з зразками	На підкладках в кулаках	1512
035	Виготовлення та дослідження зразків	Виготовлення та дослідження зразків		Лабораторія
040	Токарно-карусельна	Чорнова обробка з припуском 1,5 мм на сторону під чистову обробку	На підкладках в кулаках	1512
045	Токарно-карусельна	Чистова обробка	В патроні з упором в торець	1512
050	Розмічувальна	Розмітка вікон, пазів		Розмічувальна на плита
055	Горизонтально-розточувальна	Фрезерування центральних вікон 250H8	На оправці з упором в торець	2554
060	Фрезерна з ЧПК	Фрезерування пазів на торці	На оправці з упором в торець	6560
065	Розмічувальна	Розмітка отворів		Розмічувальна на плита
070	Радіально-свердлильна	Обробка отворів на торці	На оправці з упором в торець	2M54
075	Технічний контроль	Контроль параметрів згідно з кресленням		Стіл ОТК
080	Слюсарна	Правка фасок		Верстак слюсарний

Провівши аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09», можна сказати, що при оброблянні задіяно застарілі універсальні металорізальні верстати. На відповідних операціях з метою досягнення точності та шорсткості оброблюваних поверхонь виконуються чорнове, напівчистове й чистове обробляння. Видно, що технологічний процес зроблено послідовно, в ньому дотримується принцип диференціації операцій. На операції 065 «Розмічувальній» виконується розмітка отворів на розмічувальній плиті, що знижує точність та ефективність процесу. При виконанні вимог базового технологічного процесу стає можливим отримання деталі такої, що відповідає технічним вимогам на кресленні деталі, а саме необхідних параметрів точності та якості поверхонь муфти.

#### **1.6 Висновок і завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення «Муфти П6-ВА4-А.15.09»**

В базовому технологічному процесі заготівельною операцією для «Муфти П6-ВА4-А.15.09» є обробка тиском: поковка, що кується на молотах. Запропонуємо це порівняти із методом отримання поковки на пресах та обрати більш дешевий та ефективний.

З точки зору технологічного оснащення, зараз при закріпленні заготованки муфти використовують універсальну оснастку, а саме - затискачі з ручним приводом, підкладки, кулаки та прихвати. Тому необхідним є для збільшення продуктивності та якості праці використання сучасного спеціалізованого оснащення з механізованими приводами, наприклад, пневматичним або іншого типу. Наявний ріжучий інструмент є морально застарілим, малопродуктивним. Здебільшого використовують напаяні інструменти, які є в наявності в більшості інструментальних кладових підприємства. Більш рекомендованим буде інструмент, що містить багатогранні змінні різальні пластини, та який призводить до зменшення витрат часу на відновлення різальних властивостей та початкових

координат. Також використане в існуючому технологічному процесі устаткування є дещо малопродуктивним й застарілим. Тому більш ефективним було б устаткування із системою ЧПК, яке дозволяє підвищити точність та продуктивність виконуваних операцій, відмовитися від операції розмічування та зменшити собівартість оброблення деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09».

## **2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ «МУФТИ П6-ВА4-А.15.09»**

### **2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів й вибір оптимального для виготовлення «Муфти П6-ВА4-А.15.09»**

Для оброблення поверхонь можна скласти велику кількість варіантів технологічних процесів, завдяки яким досягається однакові показники точності оброблюваних поверхонь. Але вони між собою дуже різняться як з точки зору реалізації, так і собівартості, тому кожен варіант оброблення однієї й тієї ж поверхні буде більш доцільний лише для відповідного типу виробництва. В процесі конструювання до деталі застосовують низку технічних вимог з точності та якості поверхні, допусків взаємного розташування поверхонь, з механічних та фізичних властивостей матеріалу деталі.

Базовий технологічний процес виготовлення муфти вдосконалимо заміною існуючого обладнання на верстипти з ЧПК: заміною свердлильного, фрезерного обладнання на подібне, але зяке містить системи ЧПК. Це дозволить уникнути розмічувальних операцій, зменшити час на виконання операції за рахунок швидкої зміни інструмента, зменшення кількості установів, можливості виходу різального інструмента у вихідні точки, до мінімуму звести вплив «людського фактору» при обробленні. Технологічну оснастку плануємо використовувати таку, котра виготовляється на наш час та відповідає сучасному машинобудуванню. Запропонований технологічний процес наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Запропонований технологічний процес виготовлення муфти

№ опер.	Найменування операції	Зміст операції	Базування	Обладнання, верстат
1	2	3	4	5
005	Оброблення тиском	Кування на молотах		Молота
015	Термічне оброблення	Зменшення та розподілення зерен, зняття внутрішніх напружень		Термічна піч
020	Технічний контроль	Перевірка розмірів		Стіл ВТК
025	Токарна-карусельна	Чорнове оброблення під ультразвуковий контроль	На підкладних кулачках	Мод. 1514
030	Технічний контроль	Контроль ультразвуковий		Стіл ВТК
040	Токарна-карусельна	Відрізування кільців із зразками	На підкладних кулачках	Мод. 1514
045	Дослідження зразків	Виготовлення зразків		Лабораторія контролю
050	Токарна-карусельна	Чорнове оброблення з припуском 1,6 мм	На підкладних кулачках	Мод. 1514
055	Токарна із ЧПК	Чистове оброблення	В патроні	Мод. MDW-40
060	Горизонтально-розточувальна з ЧПК	Фрезерування центральних вікон 255Н8	На оправці	Мод. 2554Ф2
065	Фрезерна із ЧПК	Фрезерування пазів на торцях	На оправці	Мод. 6560Ф3
070	Свердлильна із ЧПК	Оброблення отворів на торці	На оправці	Мод. 2254Ф2
075	Свердлильна із ЧПК	Оброблення отворів на периферії $\varnothing 595$	На оправці	Мод. 2254Ф2
080	Технічний контроль	Контроль згідно із кресленням		Стіл ВТК
085	Слюсарна	Правлення фасок		Верстак слюсарний



## 2.2 Обґрунтування способів отримання, розрахунок і формулювання технічних вимог на виготовлення заготовки муфти

Методи отримань заготовок в машинобудуванні визначаються як правило технічними вимогами згідно з кресленнями деталей, призначенням й конструкціями самих деталей, матеріалами, масштабом й серійністю випуску, а також економічністю виготовлення деталей.

Таким чином запропоновані методи отримання заготовки, що найбільш доцільні для заданої деталі типу «Муфти», є такими:

- поковка, кована в підкладних штампах на молотах;
- поковка, кована на пресах.

Розглянемо спосіб отримання заготовки методом вільного кування на молотах. На рисунку 2.1 надано ескіз заготовки, отриманої даним методом. Необхідні розрахунки припусків і відхилень розмірів для цього метода наведено в таблиці 2.2.

Знаходимо величину маси заготовки за формулою (2.1):

$$m = \rho \cdot v, \quad (2.1)$$

де  $\rho$  - густина матеріала муфти, маємо  $\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$ ;

$$m = \left( \frac{3,14 \cdot 61,20^2}{4} 54,70 - \frac{3,14 \cdot 37,50^2}{4} 40 \right) 7,85 = 915,1 \text{ (кг)},$$

Розрахуємо величину коефіцієнта використання заготовки:

$$K_3 = \frac{m_{д1}}{m_{з1}} \geq 0,7, \quad (2.2)$$

де  $m_{д1} = 594$  – маса деталі «Муфта», кг;

$m_{з1} = 915,1$  – маса заготовки, кг;

0,7 – рівень технологічності згідно з ЄСТПП.

$$K_3 = \frac{594}{915,1} = 0,65$$

Оскільки  $K_3 < 0,7$  – це є нетехнологічним: пояснюється тим, що кована поковка має завжди дуже великі припуски, також має припуски під зразки для

механічних досліджень, а у самої деталі є значна кількість пазів, що зменшують кінцеву масу деталі.

Назначаємо такі технічні вимоги на виготовлення заготовки муфти.

1. Поковка Гр.V КП 595.
2. Невказані уклони  $5^{\circ}$ .
3. Невказані радіуси R10 мм.
4. Припуски за ГОСТ 7829-85.
5. Заусенці не більше 9 мм.
6. Маркувати шифр заказу, марку матеріала 5Пр-5.

Таблиця 2.2 – Розрахунок припусків й відхилень розмірів при вільному куванні на молотах у підкладних штампах

Розміри деталі	Припуски	Граничне відхилення	Додатковий припуск співвісності	Остаточний припуск $2\delta$	Розрахунок розмірів	Остаточний розмір заготовки
Ø375	14	$\begin{matrix} +6 \\ -2 \end{matrix}$	10	24	(375-24)	Ø351 $\begin{matrix} +6 \\ -2 \end{matrix}$
500	22	$\pm 5$	-	22	(500+22+25)	547 $\pm 5$
400	22	$\pm 5$	-	22	400	400 $\pm 5$
Ø590	22	$\pm 5$	Для основного перетину	22	(590+22)	Ø612 $\pm 5$

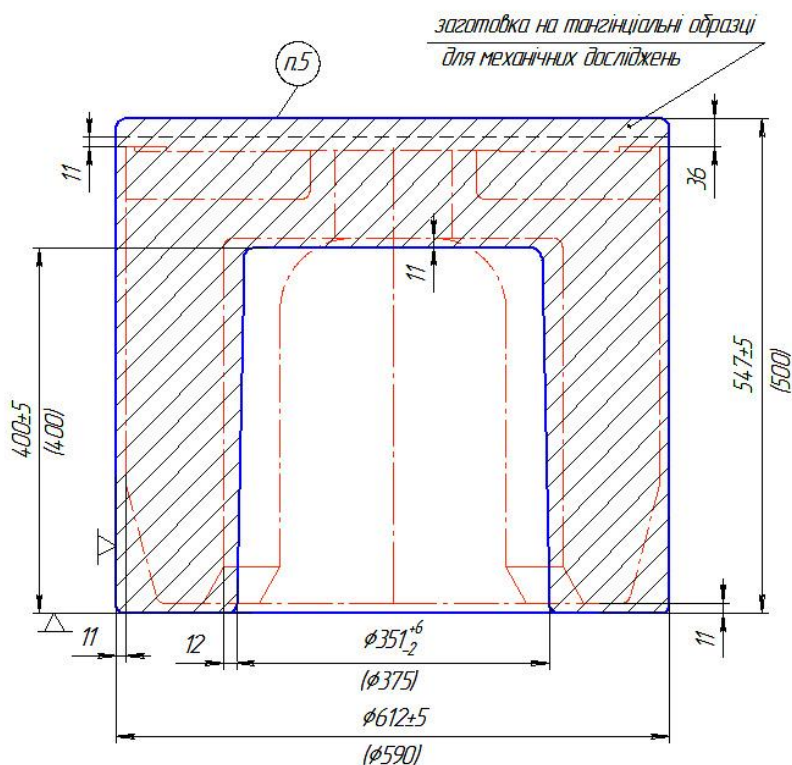


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки муфти П6-ВА4-А.15.09

Розраховуємо величину собівартості заготовки, що отримана на молотах, за ф-лою (2.3):

$$S_{\text{заготов}} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_{t1} \cdot K_m \cdot K_{c1} \cdot K_n \cdot K_{e1} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відход}}}{1000} \quad (2.3)$$

де  $C_i = 20100$  грн – базова вартість 1 тони заготовок, що ковані на молотах;

$Q = 915,1$  кг – маса заготовки;

$q = 5940$  кг – маса деталі муфти;

$K_m = 1,22$  - коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу муфти;

$K_{в1} = 1,0$  - коефіцієнт, що враховує масу поковки муфти;

$K_n = 1,0$  - коефіцієнт, що враховує групу складності;

$K_{т1} = 1,20$  – коефіцієнт, що враховує точність поковки муфти;

$K_{с1} = 1,30$  - коефіцієнт, що враховує групу серійності;

$S_{\text{відходів}} = 1810$  грн – є ціною 1 тони відходів.

Тоді маємо:

$$S_{\text{загот1}} = \left( \frac{20100}{1000} \cdot 915,1 \cdot 1,20 \cdot 1,22 \cdot 1,30 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \right) - (915,1 - 594,0) \frac{1810}{1000} = 31255 \text{ (грн.)}$$

Проведемо для порівняння розрахунок собівартості заготовки, що отримана куванням на пресах за формулою (2.3), при використанні інших коефіцієнтів:

де  $C_i = 18100$  грн – базова вартість 1 тони матеріалу;

$Q = 1017$  кг – маса заготовки;

$q = 594,0$  кг – маса деталі муфти;

$K_M = 1,20$  - коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу муфти;

$K_{B1} = 1,0$  - коефіцієнт, що враховує масу поковки муфти;

$K_H = 1,10$  - коефіцієнт, що враховує групу складності;

$K_{T1} = 1,10$  – коефіцієнт, що враховує точність поковки муфти;

$K_{C1} = 1,30$  - коефіцієнт, що враховує групу серійності;

Тоді маємо:

$S_{\text{відход}} = 1810$  грн – є ціною 1 тони відходів,

$$S_{\text{загот2}} = \left( \frac{18100}{1000} \cdot 1017 \cdot 1,1 \cdot 1,20 \cdot 1,30 \cdot 1,10 \cdot 1,0 \right) - (1015 - 594,0) \frac{1810}{1000} = 33724 \text{ (грн.)}$$

Тоді значення річної економії одного методу одержання заготовки у порівнянні з іншим методом:

$$E = (S_{\text{загот1}} - S_{\text{загот.2}}) \cdot N = (33724 - 31255) \cdot 50 = 123450 \text{ (грн.)}$$

Таким чином, заготованку будемо отримувати методом кування на молотах, оскільки саме цим способом ми будемо отримувати заготованку більш ущільненою й зміцненою, а також більш дешевою за собівартістю.

### 2.3 Розрахунок припусків на оброблення поверхні обертання Ø572Н8

Розрахунки припусків та допусків на оброблення зовнішньої поверхні Ø572Н8 робимо за методикою професора Кована В.М. Використовуємо програму «Prirusk» для ЕОМ, результат відображено у додатку В.

«Розрахункова формула (2.4) для знаходження припусків циліндричної поверхні Ø572Н8 виглядає наступним чином:

$$2z_{\min i} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.4)$$

де  $R_{z-1}$  – значення мікронерівностей на поверхні, що була отримана на попередній операції або на попередньому переході;

$T_{i-1}$  – значення глибини дефектного шару, що було отримана на попередній операції або на попередньому переході;

$\rho_{i-1}$  - значення просторового відхилення форми поверхні, що було отримана на попередній операції або на попередньому переході;

$\varepsilon_i$  - значення похибки на виконуваний операції або на переході.

Дані показники – це величини табличні, окрім  $\rho_{i-1}$ , що розраховують для поковки за формулою:

$$\rho_{заг3} = \sqrt{\rho_{екс3}^2 + \rho_{см3}^2} = \sqrt{2,10^2 + 3,60^2} = 4,10 \text{ (мм)},$$

при цьому  $\rho_{i-1}$  знаходять у відсотковому відношенні від знайденого  $\rho_{заг}$  :

$$\rho_{черн} = \rho_{заг} k_y, \quad (2.5)$$

де коефіцієнт уточнення  $k_y=(0,04-0,06)$  в залежності від операції або від переходу.

Знайдемо для кожного з переходів оброблення:

$$\rho_{чер} = 4100 \cdot 0,060 = 247 \text{ (мкм)}.$$

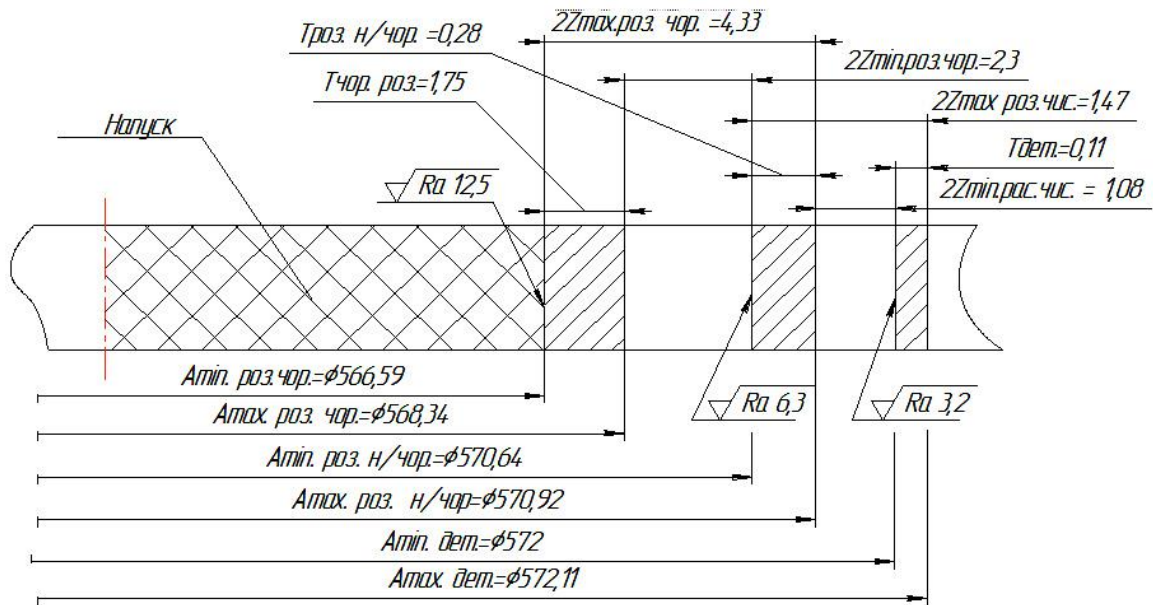
$$\rho_{напів/ч} = 4100 \cdot 0,050 = 204 \text{ (мкм)}.$$

$$\rho_{чус} = 4100 \cdot 0,040 = 166 \text{ (мкм)} \gg [43]$$

Вихідні данні для розрахунків на оброблення поверхні Ø572Н8 наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Вихідні данні на обробляння поверхні  $\varnothing 572H8$ 

Найменування переходаів, операцій	Точність	Граничні відхи- лення	Елемент припуску, мкм				
			R <sub>z</sub>	T	$\rho$	$\epsilon_{62}$	$\epsilon_{y2}$
Обробка тиском	T3	$\pm 5,00$	500	500	4200		-
Чорнове точіння	IT 14	+1,75	250	250	248	120	500
Напівчистове точіння	IT 10	+0,28	120	120	203	50	150
Чистове точіння	IT 8	+0,102	40	40	165	30	40

Рисунок 2.2 – Схема розміщення припусків й допусків на обробляння поверхні  $\varnothing 572H8$

## 2.4 Розмірний аналіз розробленого технологічного процесу для лінійних розмірів

Знаходимо допуски на технологічні розміри враховуючи економічну точність й існуючі домінуючі похибки ( див. таблицю 2.4).

Складемо розмірну схему, яку зображено на рис. 2.3. Шукаємо домінуючі похибки, тоді для розміра  $A_{1.1}$  домінуюча похибка буде дорівнювати  $\rho_{кор2} = \Delta_{к2} \cdot D = 1,5 \cdot 590,0 = 889 \text{ мкм} \approx 0,9 \text{ мм}$ .

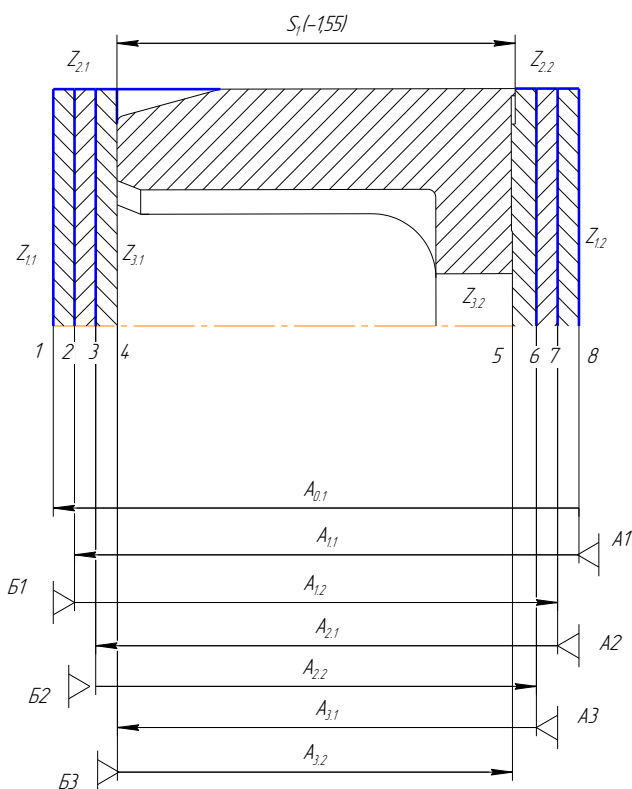


Рисунок 2.3 – Розмірна схема техпроцесу

Графічно для зручності знаходження технологічних розмірних ланцюгів (РЛ) побудуєм граф маршрутного ТП (рис. 2.4).

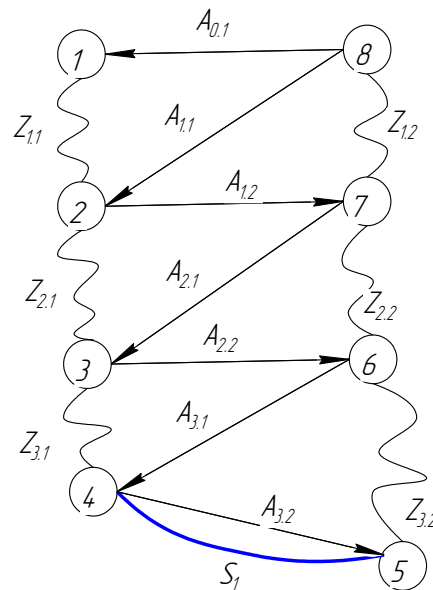


Рисунок 2.4 – Граф технологічних РЛ

При виконанні останніх розмірів домінуючу похибку приймемо рівною нулю, оскільки при отриманні цих розмірів співпадатимуть технологічна й конструкторська бази. А допуски на розміри з виникаючими домінуючими похибками збільшуємо на цю величину. Отримані розрахункові данні зносимо до таблиці 2.4.

Величини припусків розраховуємо за формулою (2.6):

$$Z_{\min_{i,j}} = R_{z_{i-1,j}} + h_{i-1,j}, \quad (2.6)$$

де  $R_{z_{i-1,j}}$  – це величина шорсткості з попередньої технологічної операції, мкм;

$h_{i-1,j}$  – це величина дефектного слою, мкм.

За таблицею довідника для поковки, що виготовляється куванням,

$$R_z = 600 \text{ мкм}, h = 400 \text{ мкм}. \text{ Тоді } Z_{1,1} = 500 + 400 = 900 \text{ мкм} = 0,9 \text{ мм}.$$

Для чорнового оброблення  $R_z = 250$  мкм,  $h = 240$  мкм. Тоді  $Z_{1,2} = 240 + 250 = 0,49$  (мкм) = 0,49 (мм). Записуємо отримані данні у графу 2 таблиці 2.5.

А для чистового оброблення маємо  $R_z = 125$  мкм,  $h = 125$  мкм. Тоді  $Z_{2,1} = Z_{2,2} = 125 + 125 = 250$  (мкм) = 0,25 (мм). Записуємо отримані до графі 2 табл. 2.5.

Для шліфування маємо  $R_z = 100$  мкм,  $h = 100$  мкм. Тоді  $Z_{3,1} = Z_{3,2} = 100 + 100 = 200$  (мкм) = 0,200 (мм). Записуємо отримані до графі 2 табл. 2.5.

Тепер знаходимо очікувану похибку за деревом графа:



$$\begin{aligned} \omega S_1 &= TA_{3,2} = 0,70; \\ \omega Z_{1,1} &= TA_{0,1} + TA_{1,1} = 10,0 + 2,605 = 12,65; \\ \omega Z_{1,2} &= TA_{1,1} + TA_{1,2} = 2,650 + 1,750 = 4,40; \\ \omega Z_{2,1} &= TA_{2,1} + TA_{1,2} = 1,750 + 1,550 = 3,30; \\ \omega Z_{2,2} &= TA_{2,1} + TA_{2,2} = 1,550 + 1,550 = 3,10; \\ \omega Z_{3,1} &= TA_{2,2} + TA_{3,1} = 1,550 + 0,70 = 2,25; \\ \omega Z_{3,2} &= TA_{3,1} + TA_{3,2} = 0,70 + 0,70 = 1,40. \end{aligned}$$

Записуємо отримані до графі 3 табл. 2.5.

Знаходимо середнє значення розмірів й запишемо їх до графі 4 таблиці 2.5.

Середнє значення припусків знаходимо за формулою (2.7):

$$Z_{i,j_{cp}} = \frac{\omega Z_{i,j}}{2} + Z_{\min i,j}. \quad (2.7)$$

Знайдемо допустимі коректування конструкторського розміру:

$$K_{S_i} = \pm \frac{1}{2} (TS_i - \omega S_i). \quad (2.8)$$

$$K_{S1} = \pm \frac{1}{2} (1,550 - 0,70) = \pm 0,425.$$

Записуємо отримані до графі 5 табл. 2.5.

Використовуючи граф (рисунок 2.4), запишемо рівняння РЛ до графі 9 таблиці 2.5.

Таблиця 2.4 – Таблиця до розрахунків допусків на технологічні розміри

Індекс розм.	Спосіб оброблян.	Точність р-рів заготованки	Шорсткість	Величини розміру, мм	Величини допуску, мм	Домінуючі похибки	Розрах. допуск, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
A <sub>0.1</sub>	Обробка тиском	T3	Ra 50	547,0	±5,0	-	10,0
A <sub>1.1</sub>	Чорнове підрізання торцю	IT14	Ra 12,5	541,0	-1,750	ρ <sub>КОР</sub> = 0,90	2,650
A <sub>1.2</sub>	Чорнове підрізання торцю	IT14	Ra 12,5	536,0	-1,750	-	1,750
A <sub>2.1</sub>	Чорнове підрізання торцю	IT14	Ra 12,5		-1,550	-	1,550
A <sub>2.2</sub>	Чорнове підрізання торцю	IT14	Ra 12,5		-1,550	-	1,550
A <sub>3.1</sub>	Чистове підрізання торцю	IT12	Ra 6,3		-0,70	-	-0,70
A <sub>3.2</sub>	Чистове підрізання торцю	IT12	Ra 6,3		-0,70	-	-0,70

Запишемо у графі 7 позначення того технологічного розміру, який буде знаходитися за відповідними рівняннями. А в графі 8 запишемо допуск на відповідний технологічний розмір, що беремо з графі 8 таблиці 2.4.

Таблиця 2.5 – Розрахунки технологічних розмірів

Відомі данні						Невідомі розміри						
Розмір	Вихідна допуску	Очікувана похибка	Середньо розрахунковий	Допустиме коректування	Середньо скоректований розмір	Розмір	Допуск	Рівняння контуру	Середньо розрахунковий розмір	Номинальний розмір	Номинальний скоректований розмір	Середній скоректований розмір
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
S <sub>1</sub>	500,155	0,7	499,225	±0,425	500	A <sub>3.2</sub>	-0,7	A <sub>3.2Ф</sub> =S <sub>1</sub>	499,225	499,575±0,7	500,0,7	499,65
Z <sub>1.1</sub>	0,9	12,65	7,225	+ ∞	10,2	A <sub>3.1</sub>	-0,7	A <sub>3.1Ф</sub> =A <sub>3.2</sub> +Z <sub>3.2</sub>	500,55	500,9,0,7	501,0,7	500,65
Z <sub>1.2</sub>	0,49	4,4	2,69	+ ∞	3,2	A <sub>2.2</sub>	-1,55	A <sub>2.2Ф</sub> =A <sub>3.1</sub> +Z <sub>3.1</sub>	501,975	502,75,1,55	502,8,1,55	502,025
Z <sub>2.1</sub>	0,25	3,3	1,9	+ ∞	2	A <sub>2.1</sub>	-1,55	A <sub>2.1Ф</sub> =A <sub>2.2</sub> +Z <sub>2.2</sub>	503,825	504,6,1,55	504,6,1,55	503,825
Z <sub>2.2</sub>	0,25	3,1	1,8	+ ∞	1,8	A <sub>1.2</sub>	-1,75	A <sub>1.2Ф</sub> =A <sub>2.1</sub> +Z <sub>2.1</sub>	505,725	506,6,1,75	506,6,1,75	505,725
Z <sub>3.1</sub>	0,2	2,25	1,325	+ ∞	1,8	A <sub>1.1</sub>	-2,65	A <sub>1.1Ф</sub> =A <sub>1.2</sub> +Z <sub>1.2</sub>	508,415	509,74,2,65	509,8,2,65	508,475
Z <sub>3.2</sub>	0,2	1,4	0,9	+ ∞	1,0	A <sub>0.1</sub>	±5	A <sub>0.1Ф</sub> =A <sub>1.1</sub> +Z <sub>1.1</sub>	517,025	517,025±5	520±5	520

Розраховуємо про рівнянням РЛ конструкторські розміри:

$$A_{3.2\text{сер}}=S_1=499,225; A_{3.2\text{ном}} = A_{3.2\text{сер}} + TA_{3.2}/2,0 = 499,225+0,70/2 = 499,575_{-0,70};$$

$$A_{3.2\text{ном ск}} = 499,575+0,425=500_{-0,70};$$

$$A_{3.2\text{сер ск}} = A_{3.2\text{ном ск}} - TA_{3.2}/2,0 = 500 - 0,7/2,0=499,650;$$

Перевірка  $S_1=A_{3.2}=500_{-0,70}$ ,  $S_{1к}=500_{-1,550}$ , конструкторський допуск забезпечується.

$$A_{3.1\text{сер}}= A_{3.2} + Z_{3.2}=499,65+0,90=500,55;$$

$$A_{3.1\text{ном}} = A_{3.1\text{сер}} + TA_{3.1}/2,0 = 500,55+0,70/2,0 = 500,9_{-0,70};$$

$$A_{3.1\text{ном ск}} = 500,90+0,10=501_{-0,70};$$

$$A_{3.1\text{сер ск}} = A_{3.1\text{ном ск}} - TA_{3.1}/2,0 = 501 - 0,70/2,0=500,65;$$

$$\text{Перевірка } Z_{3.2} = A_{3.1} - A_{3.2} = 501_{-0,70} - 500_{-0,70} = 1 \pm 0,70, Z_{3.2\text{min}}=0,30;$$

$$Z_{3.2} = 0,20.$$

$$A_{2.2\text{сер}}=A_{3.1} + Z_{3.1}=500,650+1,325=501,975;$$

$$A_{2.2\text{ном}} = A_{2.2\text{сер}} + TA_{2.2}/2,0 = 501,975+1,55/2,0 = 502,75_{-1,550};$$

$$A_{2.2\text{ном ск}} = 502,75+0,05=502,80_{-1,55};$$

$$A_{2.2\text{сер ск}} = A_{2.2\text{ном ск}} - TA_{2.2}/2,0 = 502,80 - 1,55/2,0=502,025;$$

$$\text{Перевірка } Z_{3.1} = A_{2.2} - A_{3.1} = 502,80_{-1,55} - 501_{-0,70} = 1,80_{-1,55}^{+0,7}, Z_{3.1\text{min}}=0,25;$$

$$Z_{3.1} = 0,20.$$

$$A_{2.1\text{сер}}= A_{2.2} + Z_{2.2}=502,025+1,80=503,825;$$

$$A_{2.1\text{ном}} = A_{2.1\text{сер}} + T A_{2.1}/2 = 503,825+1,55/2 = 504,6_{-1,55}; A_{2.1\text{ном ск}} = 504,6_{-1,55};$$

$$A_{2.1\text{сер ск}} = A_{2.1\text{ном ск}} - TA_{2.1}/2 = 504,6 - 1,55/2=503,825;$$

$$\text{Перевірка } Z_{2.1} = A_{2.1} - A_{2.2} = 504,6_{-1,55} - 502,8_{-1,55} = 1,8 \pm 1,55, Z_{2.1\text{min}}=0,25;$$

$$Z_{2.1} = 0,25.$$

$$A_{1.2\text{сер}}= A_{2.1} + Z_{2.1}=503,825+1,9=505,725;$$

$$A_{1.2\text{ном}} = A_{1.2\text{сер}} + TA_{1.2}/2 = 505,725+1,75/2 = 506,6_{-1,75};$$

$$A_{1.2\text{ном ск}} = 506,6_{-1,75};$$

$$A_{1.2\text{сер ск}} = A_{1.2\text{ном ск}} - TA_{1.2}/2 = 506,6 - 1,75/2=505,725;$$

$$\text{Перевірка } Z_{2.1} = A_{1.2} - A_{2.1} = 506,6_{-1,75} - 504,6_{-1,55} = 2_{-1,75}^{-1,55}, Z_{2.1\text{min}}=0,25;$$

$$Z_{2.1} = 0,25.$$

$$A_{1.1\text{сер}}= A_{1.2} + Z_{1.2}=505,725+2,690=508,415;$$

$$A_{1.1\text{ном}} = A_{1.1\text{сер}} + TA_{1.1}/2,0 = 508,415+2,65/2,0 = 509,74_{-2,65};$$

$$A_{1.1\text{ном ск}} = 509,74+0,06=509,8_{-2,65};$$

$$A_{1.1\text{сер ск}} = A_{1.1\text{ном ск}} - TA_{1.1}/2,0 = 509,8 - 2,65/2,0=508,475;$$

$$\text{Перевірка } Z_{1.2} = A_{1.1} - A_{1.2} = 509,80_{-2,65} - 506,60_{-1,75} = 3,20_{-2,65}^{+1,75}, Z_{1.2\text{min}}=0,550;$$

$$Z_{1.2} = 0,49.$$

$$A_{0.1\text{сер}}= A_{1.1} + Z_{1.1}=509,80+7,225=517,025;$$

$$A_{0.1\text{ном}} = A_{0.1\text{сер}} + TA_{0.1}/2,0 - ES_{A_{0.1}} = 517,025+10/2,0 - 5 = 517,025 \pm 5,0;$$

$$A_{0.1\text{ном ск}} = 517,025+2,975=520 \pm 5,0;$$

$$A_{0.1\text{сер ск}} = A_{0.1\text{ном ск}} - TA_{0.1}/2,0 + ES_{A_{0.1}} = 520 - 10/2,0 + 5,0=520.$$

$$\text{Перевірка } Z_{1.1} = A_{0.1} - A_{1.1} = 520 \pm 5,0 - 509,80_{-2,65} = 10,20_{-5}^{+7,65}, Z_{1.1\text{min}}=5,20.$$

$Z_{1.1} = 0,9$ . Висновки: перевіряння забезпечення мінімальних припусків й допусків має позитивний результат, розрахунки є вірними.

## 2.5 Призначення та обґрунтування схем базування й закріплення заготовки муфти

Розглядаємо операцію 065 – свердлильну з ЧПК, для якої в розділі 3 будемо проводити наукове дослідження. На 065 операції на двох установках два рази виконується оброблення по чотири пази отворів  $\varnothing 26/\varnothing 60$  мм.

Базування заготовки на оправці  $340 \times 250$  мм дозволяє лишити заготовку шести ступенів свободи. За таким базуванням реалізуються установлювальна, напрямна й опорна бази, при цьому заготовка буде зорієнтовано відносно вже існуючих поверхонь (див. рисунок 2.5).

Величина похибки базування для розміру 100 мм дорівнюватиме нулю, оскільки співпадатиме вимірювальна й технологічна база, і тоді маємо  $E=0$ .

Похибка базування для розміру 180 мм дорівнюватиме похибці позиціонування верстата,  $E=E_{\text{поз}}=\pm 0,010=0,020$  мм, ця величина є меншою за величину допуску на виконуваний розмір  $E_{180}=E_{\text{поз}}=0,020 < T_{180}=1,00$  мм.

Похибка базування для розміра 60 мм (це розташування осей отворів відносно осі заготовки) дорівнюватиме виразу (2.9):

$$E_1 = TA_1 + TB + 2\Delta_1 \quad (2.9)$$

де  $TA_1 = 0,1150$  мм – допуск величини розміру базової поверхні  $250H9^{(+0,115)}$ ;

$TB = 0,0720$  мм – допуск розміру оправки  $250f8^{(-0,056)}_{(-0,122)}$  мм;

$2\Delta_1 = 0,0560 \cdot 2 = 0,112$  (мм) – це величина подвійного мінімального зазору посадки заготовки на посадкову оправку.

$E_{\text{поз}} = 0,1150 + 0,0720 + 0,112 = 0,299$  мм, і це є меншим за допуск позиціонування, а саме:  $E = 0,299 < E_{\text{поз}} = 0,60$  мм.

Тоді похибка базування для діаметрального розміра  $\varnothing 26$  буде дорівнювати нулю, тобто  $E_{26} = 0$ .

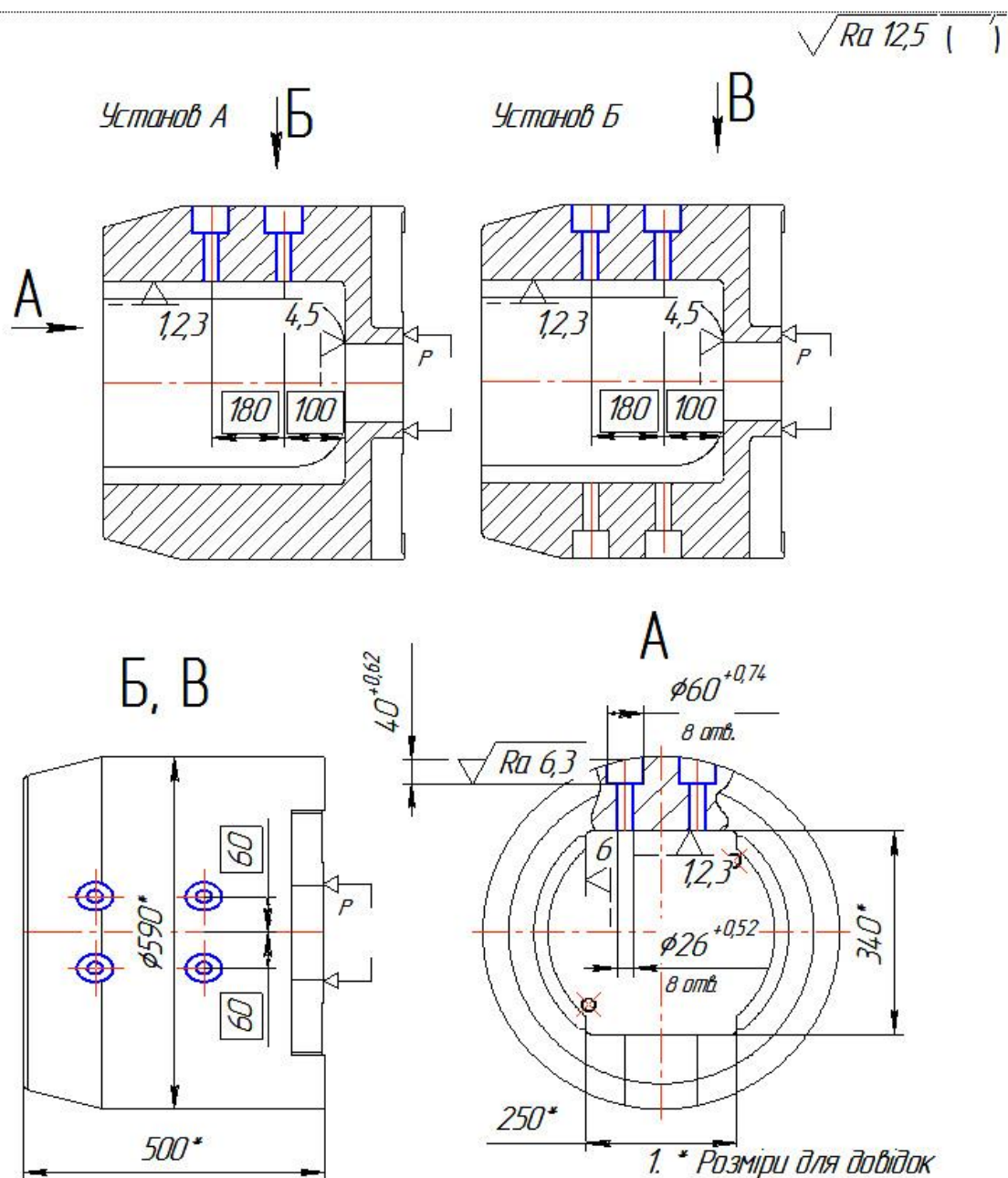


Рисунок 2.5 – Схема базування на оправці на 065 операції

Похибка базування для розміра  $\phi 60$  буде дорівнювати нулю,  $E_{60}=E_{\text{поз}}=0,020$  мм, і це є меншим за величину допуск на виконуваний розмір:

$$E_{60}=0,02 < T_{60}=0,740 \text{ мм.}$$

Похибки базування на глибини отворів  $\phi 26$  розглядати ми не будемо, оскільки кожний отвір виконано напрохід згідно з кресленням деталі.

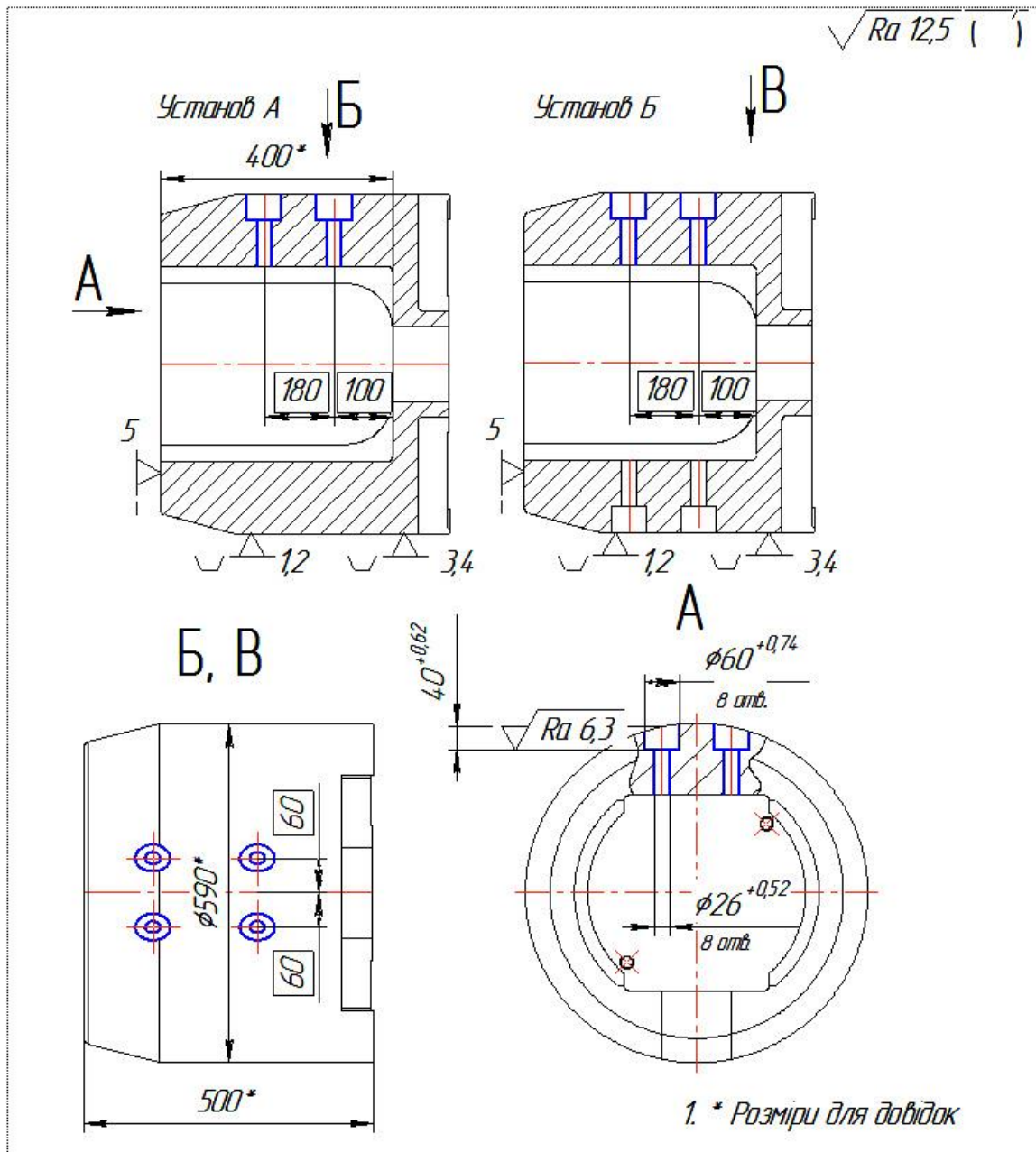


Рисунок 2.6 – Базування на в призмах на 065 операції

Розглянемо процес базування оброблюваної муфти в призмах з упиранням по торцю, див. рис. 2.6. Ця схема передбачатиме подвійну напрямну й опорну бази, а заготованку не буде зорієнтовано відносно вже існуючих поверхонь, що є зовсім неприпустимим.

Тоді величина похибки базування для розміру  $100$  мм дорівнює допуску на розмір, що з'єднує технологічну базу і вимірювальну базу, тобто на розмір  $400^{+1,40}$ ,

що є більшим за величину допуску на виконуваний розмір  $E=T_{400}=1,40$  мм  $\geq T_{100}=0,870$  мм, тому при обробленні деталі можливим є поява брака.

Тоді величина похибки базування для розміра 180 мм дорівнює похибці позиціонування верстата й величині допуску на розмір 400,  $e=e_{\text{поз}}+T_{400}=1,40+0,01=1,410$  мм, що є значно більшим за допуск на виконуваний розмір  $e=1,410 \geq T_{180}=1,00$  мм, тобто можливим є поява брака при оброблянні.

Величина похибки базування для величини глибини оброблюваних отворів  $\varnothing 60$ , в розмір 40 мм, складатиме значення:

$$E = \frac{TD}{2} \left( \frac{1}{\sin 90^\circ} + 1 \right) = \frac{1,750}{2} \left( \frac{1}{\sin 90^\circ} + 1 \right) = 1,750 \text{ (мм)}.$$

Це є більшим за допуск на розмір  $E=1,750 \geq T_{40}=0,620$ .

Величина похибки базування для розміру 60 мм, а саме для розташування осей отворів щодо осі заготованки, дорівнює  $E_{60}=0$ .

З двох схем, що ми розглянули, приймаємо першу схему (встановлення на оправці), оскільки вона є більш точною завдяки меншій похибці базування.

## 2.6 Вибір й обґрунтування моделей металорізальних верстатів

Більш детально розглянемо свердлильну із ЧПК операцію 065, для якої в розділі 3 будемо проводити наукове дослідження.

На операції 065 на двох установах відбудуватиметься оброблення отвору.

Для оброблення було розглянуто дві моделі свердлильних верстатів: радіально-свердлильний 2М55 і вертикально-свердлильний з ЧПК 2554Ф2. Оскільки верстат із ЧПК є більш сучасним, дозволяє зменшити час оброблення, відповідно зменшити собівартість виготовлення муфти, то обираємо саме його. При цьому виключається і людський фактор, тому що не потрібно проводити розмітку заготовки муфти.

Остаточний вибір моделі верстата було зроблено з урахуваннями наступного:

- за потужністю двигуна: верстат цієї моделі оснащено 5,50 кВт електродвигуном, і цього достатньо для оброблення заданих на кресленні отворів;
- за габаритами робочого простору: це обладнання має стіл з робочими розмірами 1700x860 мм, тому це дозволить встановлювати заготованку разом з верстатним пристроєм на стіл;
- за типом виробництва: у дрібносерійному типі перевагу віддають універсальному устаткуванню та верстатам із ЧПК, саме таким обладнанням і є верстат мод. 2554Ф2.

Розглядаємо головні технічні характеристики верстата мод. 2554Ф2:

- розміри робочої поверхні стола верстата - 1700x860 мм;
- кількість швидкостей шпинделя – безступінчасте;
- кількість подач столу верстата:  
 поздовжні і поперечні – 1,0-2000 мм/хв.;  
 вертикальні – 1,0-2000 мм/хв.;
- потужність електродвигуна головного привода – 5,50 кВт;
- частоти обертань шпинделя – 12-2000 об/хв.;
- найбільші переміщення стола верстата:  
 поздовжні - 1000 мм;  
 поперечні – 800 мм;
- конус внутрішній шпинделю – 50.

## **2.7 Вибір та обґрунтування верстатних пристроїв, різального й вимірювального інструмента**

При виборі та обґрунтуванні верстатних пристроїв, оснастки і інструментів враховують:

- точність вимірювання параметрів муфти;
- тип виробництва;



- геометрію різальної частини інструментів для муфти;
- методи оброблення поверхонь муфти;
- використання МОР, їх різновиди для муфти;
- матеріал заготовки муфти;
- габарити верстатів для оброблення муфти;
- етапи оброблення поверхонь муфти.

Більш детально розглянемо свердлильну із ЧПК операцію 065, для якої в розділі 3 будемо проводити наукове дослідження.

Для оброблення отворів будемо застосовувати такі пристрої та інструменти:

- оправка спеціальна;
- прихвати, системи УСП – універсально-складальні пристрої;
- свердло 2301-3757 Р6М5 ГОСТ 10903-79 – це спіральне свердло  $\varnothing 60$  мм із конічним хвостовиком для оброблення отвору  $\varnothing 60$ ;
- свердло 2301-3718 Р6М5 ГОСТ 10903-79 – це спіральне свердло  $\varnothing 40$  мм із конічним хвостовиком для попереднього оброблення отворів;
- свердло 2301-3656 Р6М5 ГОСТ 10903-79 – це спіральне свердло  $\varnothing 26$  мм із конічним хвостовиком для оброблення отворів  $\varnothing 26$ ;
- свердло 2301-3612 Р6М5 ГОСТ 10903-79 – це спіральне свердло  $\varnothing 15$  мм із конічним хвостовиком для попереднього оброблення отворів;
- свердло 2301-3561 Р6М5 ГОСТ 10903-79 – це спіральне свердло  $\varnothing 6$  мм із конічним хвостовиком для центрування оброблюваних отворів;
- цеківка 2358-0756 Р6М5 – цеківка насадна  $\varnothing 60$ ;
- втулка 6101-0308, вона необхідна для базування свердла у шпінделі верстату;
- втулка 6100-0315, вона необхідна для базування свердла у шпінделі верстату;
- штангенциркулі типу ШЦ-I-125-0,1 і ШЦ-III-400-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018;
- зразки шорсткості стандартизовані.

## 2.8 Визначення режимів різання й технічне нормування операцій

Режими різання для технологічних операцій визначимо табличним способом (див. табл. 2.6 – 2.7).

Таблиця 2.6 – Режими різання на операції 055 фрезерній зЧПК

Номер, зміст перехода	Параметри режимів оброблення					L, мм	T <sub>о</sub> , хв	Вид режиму
	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i			
Фрезерування паза 100 чорнове	15	0,08	350	43,8	6	215	7,4	табл.
Фрезерування паза 100Н8 чистове	3	0,08	400	50,1	4	215	7,2	табл.
Фрезерування фаски	3	0,12	350	43,8	2	215	2,6	табл.
Фрезерування паза чорнове	15	0,12	350	43,8	8	510	24,8	табл.
Фрезерування паза чистове	3	0,08	400	50,1	4	510	17,2	табл.
Фрезерування фаски	3	0,18	350	43,8	1	15	0,52	табл.
Всього							59,7	х 2=119,6

Таблиця 2.7 – Режими різання на операції 065 свердлильній зЧПК

Номер, зміст перехода	Параметри режимів оброблення					L, мм	T <sub>о</sub> , хв.	Вид режиму
	t, мм	S, мм/об.	n, об/хв.	V, м/хв.	i			
Центрування øб	3	0,10	580	19,80	1	15	0,2	табл.
Свердління ø15	7,5	0,120	345	17,80	1	134	2,4	табл.
Розсвердлення ø26	5,5	0,160	220	20,40	1	135	3,5	табл.
Розсвердлення ø40	7	0,15	200	25,20	1	45	1,2	табл.
Розсвердлення ø60	10	0,15	125	28,10	1	48	1,7	табл.
Цекування торця	16	0,15	1250	28,10	1	15	0,4	табл.
Всього							9,4	х 8=75,2

Нормування двох технологічних операцій здійснено табличним способом (таблиця 2.8).

Таблиця 2.8 – Нормування технологічних операцій

№ і назва операції	T <sub>о</sub>	T <sub>доп.</sub>	T <sub>оп.</sub>	T <sub>об.</sub>	T <sub>відп.</sub>	T <sub>шт.</sub>	T <sub>підг.-з.</sub>	n	T <sub>шт.-к.</sub>
055 фрезерна з ЧПК	119,6	13,0	132,6	9,24		141,84	25	5	146,8
065 свердлильна з ЧПК	75,2	23,54	98,74	6,92		105,7	20	5	109,7

## 2.9 Проектування засобів технологічного оснащення – верстатного пристрою для операції 055 фрезерної з ЧПК

Спроекуємо спеціальний верстатний пристрій на 055 операцію фрезерну з ЧПК, де є оброблення пазів 52x100x205 і 64x380x180. Нульовою точкою системи координат проєктованого пристрою буде точка системи верстата, де вертикальну вісь «z» направлено вздовж осі муфти. Уточнимо цілі технологічної операції.

### 2.9.1 Точність отримуваних на операції розмірів

На операції 055 фрезеруються пази 64x380x180 і 52x100x205 з точністю:

- $52^{+0,74}$  мм – глибина пазу, 14 квалітет,  $T=0,74$  мм;
- $205^{+1,15}$  мм – довжина пазу, 14 квалітет, допуск  $T=1,15$  мм;
- R10\* і R25\* - розміри залежать від геометрії різального інструмента;
- $64^{+0,74}$  мм – глибина пазу, 14 квалітет, допуск  $T=0,74$  мм;
- $200_{-1,150}$  мм – ширина перемички, 14 квалітет,  $T=1,15$  мм;
- $100^{+0,054}$  мм – величина глибини пазу, 8 квалітет, допуск  $T=0,054$  мм;
- допусків на кутові розміри не вказано на кресленні, їх ми знаходимо згідно

з діючими стандартами:  $\pm AT16/2$ , і  $\pm 30'$ .

Здійснено аналіз точності форми та розташувань для двох найбільш точних поверхонь: ширини паза 100H8 та глибини  $52^{+0,740}$ .

### 2.9.2 Точність форми

Параметри точності, які не вказані конструктором, назначимо їх відповідно із нормальним рівнем відносної геометричної точності «А».

Відхиленнями від площинності є: вогнутість або ж опуклість (дивись рисунок 2.7).

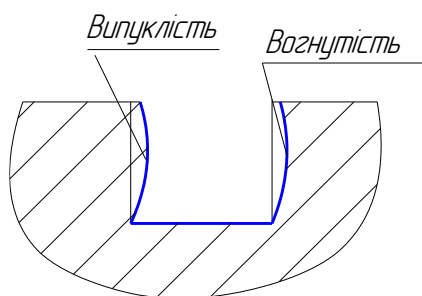


Рисунок 2.7 – Площинність бічних стінок пазу

Для бічних стінок пазу допуск площинності складе 60% від допуску розміра 100, тоді  $T_{\text{пл}} = 0,054 \cdot 0,6 = 0,0324$  (мм), приймемо 30 мкм, що відповідає 9 ступені точності (згідно із стандартами).

Допуск площинності дна паза складатиме 60% від допуску на розмір 52 і буде дорівнювати  $T_{\text{пл}} = 0,74 \cdot 0,6 = 0,444$  (мм), приймемо 400 мкм – що відповідає 15 ступені точності (згідно із стандартами).

### 2.9.3 Точність розміщення поверхонь

Проаналізуємо допуск паралельності бічних стінок паза, що назначено конструктором: не більш 0,02 мм, – це відповідає 7 ступені точності. Паралельність стінок паза зображена на рисунку 2.8.

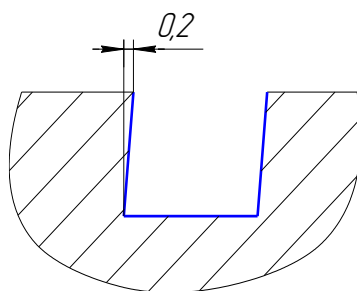


Рисунок 2.8 – Паралельність стінок пазу

### 2.9.4 Шорсткість оброблених поверхонь пазу

Шорсткість оброблених поверхонь така: дна  $Ra = 12,5$  мкм, бічних стінок пазів  $Ra = 1,6$  мкм, й це обумовлено службовим призначенням поверхонь.

### 2.9.5 Виявлення кількісних і якісних даних про заготовку

Деталь «Муфта П6-ВА4-А.15.09» використовують в компресорному агрегаті, і в ході роботи агрегата на цю деталь діють досить великі циклічні знакоперемінні сили, а осьові сили - діють від вала турбіни агрегату. Деталь використовують в роторо-муфтовій групі, умовами роботи є закриті приміщення з робочою температурою від -12 до +46°C. Муфта – це типовий представник корпусів, що виготовляються із легованої сталі марки 45ХН2МФА. З цієї сталі виготовлюються деталі, що працюють під навантаженням скручування або поворотно-змінні.

Попередньо заготованка муфти оброблялася на токарному верстаті згідно з вимогами креслення, а саме: циліндричні поверхні та торці виконано начисто. Тому для базування приймаємо ці начисто оброблені точні і відкриті розвинуті поверхні: торець та центральний отвір. Проаналізуємо точність цих поверхонь.

### 2.9.6 Точність розмірів базових поверхонь

- отвір  $\varnothing 375_{+0.2}^{+0.3}$  мм, має допуск  $T=0,1$  мм, що орієнтовно дорівнює 9 квалітету точності (допуск  $T=0,140$  мм);

- торець виконано в розмір  $500_{-1,55}$  мм, допуск дорівнює  $T=1,550$  мм, 14 квалітет точності.

### 2.9.7 Точність форми базових поверхонь

Допуск площинності торця муфти приймемо 60% від допуску розміру 500 мм, маємо  $T_{пл}=0,6 \cdot 1,55=0,93$  мм. Згідно із стандартним рядом приймемо 800 мкм, що відповідатиме 14 ступені точності (це відхилення від площинності торця, а саме – вогнутість або опуклість).

Допуски циліндричності й профілю поздовжнього січення для базової поверхні  $\varnothing 375$  мм розглядатимемо як 30% від допуску на даний розмір, тобто  $T_{цил}=0,1 \cdot 0,3=0,03$  мм. Приймемо  $T_{цил}=25$  мкм, що відповідатиме 7 ступені точності.

### 2.9.8 Точність розміщення базових поверхонь

Величина радіального биття базового отвору складатиме 60% від допуску на розмір  $\varnothing 375$ , маємо  $T_{\text{биття}}=0,1 \cdot 0,6=0,06$  мм, що відповідатиме 7 ступені точності.

Допуск перпендикулярності для торця муфти складатиме 60% від допуску на розмір 500,  $T_{\text{перп}}=0,6 \cdot 1,55=0,93$  мм, приймаємо  $T_{\text{перп}}=0,8$  мм, що відповідатиме 13 ступені точності.

### 2.9.9 Шорсткість базових поверхонь

Базові поверхні деталі мають таку шорсткість: для отвору  $\varnothing 375H7$   $Ra=1,6$  мкм; для торця муфти  $Ra=12,5$  мкм.

### 2.9.10 Визначення умов, в яких буде виготовлятися і використовуватися проєктований пристрій

Впродовж семи років при виконанні річного обсягу пристрій повинен буде виконати 350 робочих циклів. Пристрій будуть використовувати на фрезерному верстаті, який має систему охолодження. Стружка при обробленні видаляється із зони різання тільки при вимкненому верстаті. Проєктований пристрій обслуговуватиме оператор 3-4-го розряду. Захисний кожух не дозволить під час оброблення розлітатись стружці та МОР. Працівника потрібно попередньо ознайомити із правилами техніки безпеки саме для цього типу обладнання. При установленні і транспортуванні заготовки потрібно використовувати підйомні механізми, які є сертифікованими і попередньо перевіреними.

Робочою температурою навколишнього середовища в цеху є  $22^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість повітря 83%, з атмосферним тиском  $P_{\text{атм}}=86\dots 109$  кПа, швидкістю руху повітря 0,45 м/с, частотою вібрацій під час роботи обладнання  $f=20\div 36$  Гц, освітленням приміщення місцевим не менш 1400 Люкс.

### 2.9.11 Перелік виконуваних пристроєм функцій

Перелік функцій дозволяє ознайомитись з обсягом робіт з використання пристрою, та проаналізувати функції проєктованого пристрою:

- 0 – Попередня орієнтація, переміщення пристрою.
- 1 – Базування муфти.
- 2 – Закріплення муфти.
- 3 – Базування на верстаті пристрою.
- 4 – Закріплення на верстаті пристрою.
- 5 – Підведення і відведення енергоносіїв.
- 6 – Утворення сил закріплення муфти.
- 7 – Управління енергоносіями приводу.
- 8 – Обробка муфти згідно з кресленням.
- 9 – Безпечні умови праці пристрою.
- 10 – Об'єднання функціональних вузлів пристрою.

Виходячи з наведених вище умов реалізації функцій пристрою і вимог до результатів реалізації функцій, конструктор має шукати прототипи з уже накопиченого запасу відомих технічних рішень. Перевагу потрібно віддавати перевіреним практикою конструкціям. Бажано в основу конструкції вкласти здешевлення собівартості пристрою. Розроблення спеціальних конструкцій вузлів, на відміну від вже опробованих, потребує щонайменш спеціального економічного обґрунтування.



### 2.9.12 Розроблення та обґрунтування схеми базування муфти

Схему базування муфти було розглянуто в пункті 2.5 пояснювальної записки.

### 2.9.13 Побудова функціональної структури проектного пристрою

Функціональну структуру спеціального верстатного пристрою можна побачити на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Функціональна структура спеціального верстатного пристрою

### 2.9.14 Розроблення та обґрунтування схеми закріплення муфти

### 2.9.15 Аналіз структур полів сил збурюючих

Для аналізу й знаходження полів збурюючих сил, побудуємо графічну модель сил (рисунок 2.10).

### 2.9.16 Аналіз структур полів зрівноважувальних сил

З рисунку 2.10 видно, що складові сил різання не є зрівноваженими, вони потребують прикладення допоміжних сил закріплення заготовки. Величину сумарної сили необхідно знаходити за умови неповертання від сили, яка утворює момент різання (рисунок 2.10).

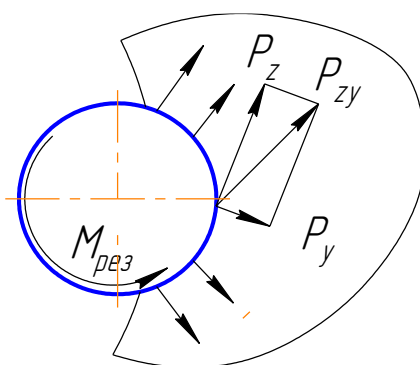


Рисунок 2.10 – Графічна модель поля збурюючих сил

### 2.9.17 Розрахунки сили закріплення заготовки

Величину сил різання було знайдено при фрезеруванні паза раніш. Маємо:

$$P_z = \frac{10 \cdot 82,1 \cdot 15^{0,750} \cdot 0,08^{0,60} \cdot 40^{1,1} \cdot 6}{40^{0,860} \cdot 400,0^0} \cdot 0,94 = 637 \text{ (Н)}.$$

$$M_{\text{крут}} = \frac{6377 \cdot 40,0}{2 \cdot 100} = 1276 \text{ (Нм) [43].}$$

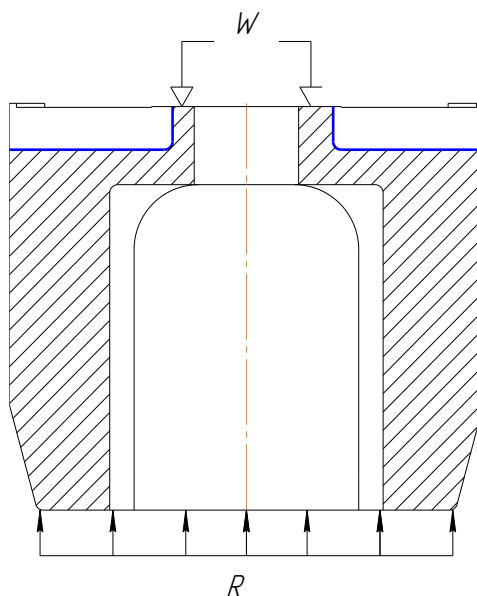


Рисунок 2.11 – Графічна модель структури поля зрівноважувальних сил

Сила закріплення за умови непровертання заготовки муфти:

$$W = \frac{3,8K \cdot M}{f \cdot \pi(D^3 - d^3)}, \quad (2.10)$$

де  $W$  – величина сили затиску муфти;

$d=375$  мм – найменший діаметр, який визначає площу контакту;

$D=530$  мм – найбільший діаметр, який визначає площу контакту;

$K$  – коефіцієнт запаса, який залежить від умов оброблення.

$$K = K_0 K_2 K_1 K_3 K_6 K_4 K_5, \quad (2.11)$$

де  $K_0 = 1,5$  – гарантований коефіцієнт запаса, однаковий для всіх випадків;

$K_2 = 1,1$  – це коефіцієнт, що враховуватиме збільшення сил різання при зносі інструмента;

$K_1 = 1,2$  – це коефіцієнт, що залежить від поверхні – оброблена вона чи не оброблена;

$K_3 = 1$  – це коефіцієнт, що враховуватиме силу різання при оброблянні поверхонь;

$K_6 = 1$  – це коефіцієнт, що враховуватиме ергономічні параметри проєктованого пристрою;

$K_5 = 1,2$  – це коефіцієнт, що враховуватиме сили, які намагаються повернути заготовку навколо власної осі;

$K_4 = 1,2$  – це коефіцієнт, що враховуватиме постійність сил закріплення механізованого привода.

Тоді маємо,  $K = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 2,48$ .

Приймаємо  $K = 2,5$ .

$f_1 = 0,21$  – це коефіцієнт тертя, який діє між заготовкою і установлювальною поверхнею пристрою.

Знаходимо величину сили, яку потрібно прикладати до муфти:

$$W = \frac{3,80 \cdot 2,50 \cdot 1276}{0,21 \cdot 3,14 \cdot (0,52^3 - 0,376^3)} = 5686 \text{ (Н)}.$$

#### 2.9.18 Розрахунок на міцність

Зробимо розрахунок на міцність при розтягуванні штока проектного пристрою. Матеріалом штоку є сталь 40. Щоб різь штоку витримала, необхідно виконання таких умов:

$$\sigma_{p1} \leq [\sigma]_p, \quad (2.12)$$

$$[\sigma]_p = 0,6 \cdot \sigma_{T1}, \quad (2.13)$$

де  $\sigma_{T1} = 307$  МПа – межі текучості сталі 40;

$$[\sigma]_p = 0,6 \cdot 305 = 180 \text{ (МПа)};$$

$$\sigma_p = \frac{4F}{\pi d^2}, \quad (2.14)$$

$d = 22$  мм – це діаметр штока;

$F$  – це максимальна осьова сила, що буде діяти при розтягненні штока, Н

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot 5683}{3,14 \cdot 22^2} = 11 \text{ (МПа)}$$

Оскільки умову  $11 \text{ МПа} < 181 \text{ МПа}$  виконано, то різь штока витримає таку силу.

### 2.9.19 Обґрунтування вибору приводу

Оскільки для розкріплення заготованки достатньо ходу штока 10-15 мм, то раціонально примінити тарільчасту пневмокамеру односторонньої дії резинотканинову. Діаметр діафрагми розраховуємо за формулою (2.18):

$$Q = \frac{0,750\pi}{16} (d_1 + D)^2 p, [43] \quad (2.15)$$

Маємо:

$$D + d_1 = \sqrt{\frac{16Q}{0,750\pi p}} [43] \quad (2.16)$$

де  $Q = 5686 + 301 = 5987$  (Н) – це вихідна сила на штоці пневмокамери з урахуванням сили зворотньої пружини;

$p = 0,63$  МПа – значення тиску повітря в системі.

Знаходимо

$$D + d = \sqrt{\frac{16 \cdot 5988}{0,750 \cdot 3,14 \cdot 0,630}} = 255 \text{ (мм)}.$$

Тоді приймаємо  $D = 160$  мм,  $d = 110$  мм. Дійсна сила на штоку дорівнюватиме:

$$Q = \frac{0,750 \cdot 3,14 \cdot 0,630}{16} (160 + 110)^2 = 6498 \text{ (Н)}.$$

Приймаємо  $Q = 6500$  Н.

### 2.9.20 Точні розрахунки верстатного пристрою

Від точності виконання верстатного пристрою залежатиме й отримання необхідної точності параметрів оброблюваних поверхонь муфти. Для цього розглянемо допуски паралельності бічних стінок пазу, що дорівнює не більше 200 мкм.

$$E_{np} \leq T_{nap} - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot E_{\delta 1})^2 + E_{\delta 1}^2 + E_{\delta 2}^2 + E_{\delta 3}^2 + E_{\delta 4}^2 + (K_{T2} \cdot \omega_1)^2 + E_{\delta 5}^2}, \quad (2.17)$$

де  $K_T = 1,2$  – це коефіцієнт, що враховуватиме можливе відступлення від закону нормального розподілення похибок [43];

$K_{T1} = 0,81$  – коефіцієнт, який враховуватиме можливі відступи від закона нормального розподілення допусків;

$E_{G1} = 0$  є похибкою базування заготовки в пристрої;

$E_{z1} = 53$  мкм є похибкою закріплення, яка виникає на оправці з упором по торцю;

$E_{y1} = 38$  мкм – похибка установлення пристрою на столі верстата, яка розраховується за формулою:

$$E_{y1} = \frac{L_d S}{l}, \quad [43] \quad (2.18)$$

$L_d = 505$  мм є довжиною оброблюваної деталі (відстань між пазами деталі);

$S = 0,049$  мм є найбільшим зазором між шпонкою та пазом стола верстата за посадкою 20H8/g6;

$l = 610$  мм – це є відстань між шпонками на пристрої;

$$E_{y1} = \frac{505 \cdot 0,049}{610} = 0,036 \text{ (мм)}.$$

$E_{П1} = 0$  мкм є похибкою перекошування інструмента;

$E_{zn1} = 2,0$  мкм – похибка, що виникає внаслідок зносу установлювальних поверхонь пристрою:

$$E_{zn1} = \beta \cdot N = 0,0031 \cdot 1000 = 3,1 \text{ (мкм)}.$$

$K_{T2} = 0,600$  – коефіцієнт, що враховує імовірність з'явлення похибки оброблення;

$\omega_2 = 35,0$  мкм – є середньою економічною точністю обробки;

$E_{П02} = 0$  є похибкою позиціювання.

Маємо загальну похибку пристрою:

$$E_{np} = 250 - 1,2 \sqrt{(0 \cdot 0,80)^2 + 52^2 + 37^2 + 0^2 + 3^2 + (0,60 \cdot 35)^2 + 0^2} = 51 \text{ (мкм)}.$$

Прийmemo з урахуваннями отриманих даних допуск паралельності установлювальної поверхні пристрою щодо його базової поверхні  $T = 0,050$  мм.

Така похибка виникатиме внаслідок дії окремих похибок різних елементів проєктованого верстатного пристрою.

### 2.9.21 Опис верстатного пристрою й принцип роботи

Заготованку муфти треба встановити на оправці 3 пристрою при базуванні за центральним отвором деталі та пазу. Далі на штоці 5 встановлено прихват 6, і у верхню частину пневмокамери приводу подається стиснене повітря під тиском 0,63 МПа. Після цього шток із силою 6500 Н рухається вниз, а прихват притискає заготовку муфти через шайбу 6 й гайку 10. В результаті заготованка закріплюється, можна проводити механічне обробляння. Після обробляння стиснене повітря з верхньої частини камери скидається, і пружина пневмокамери підійматиме шток вгору. Зняття заготованки відбувається у протилежному напрямку, при цьому знімають прихват, заготованку. Якщо необхідно, то очищують поверхні пристрою від стружки та бруду, і після цього встановлюють наступну заготованку для механічного обробляння на операції.

### **3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СПІРАЛЬНИХ СВЕРДЕЛ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОШАРОВИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ**

На операції 065 свердлильній з ЧПК проводять: центрування  $\varnothing 6$ , свердління  $\varnothing 15$ , розсвердлення  $\varnothing 26$ , розсвердлення  $\varnothing 40$ , розсвердлення  $\varnothing 60$ , цекування торця  $\varnothing 60$ . У існуючому технологічному процесі свердління здійснюється стандартним інструментом: центрувальним спеціальним свердлом, спіральними свердлами та цеківкою. Матеріал: швидкорізальна сталь Р6М5. Пропонуємо вдосконалити базовий технологічний процес шляхом застосування більш прогресивних конструкцій свердел.

Відомо, що свердління - це один з найпоширеніших способів одержання глухих та наскрізних циліндричних отворів у суцільному матеріалі. Свердла застосовуються для отримання отворів у суцільному матеріалі, розсвердлювання вже отворів, свердління конічних заглиблень для центрів, свердління під різь, висвердлювання і т.д. До 80-90% всіх свердлильних робіт виконуються спіральними (гвинтовими) свердлами.

Процес свердління протікає у складних умовах, пов'язаних із утрудненим тепловідведенням та відведенням стружки із зони обробки. Одночасна робота великої кількості ріжучих кромки та наявність поперечної кромки, яка зминає метал, ускладнює процес стружкоутворення при свердлінні та викликають інтенсивне зношування інструменту. Підвищення ефективності процесу свердління можна досягти шляхом нанесення на контактні майданчики свердел зносостійких покриттів, які знаходять широке застосування. Тому дослідження підвищення працездатності спіральних свердел шляхом розробки та застосування багатошарових зносостійких покриттів є актуальним.

Процес різання при свердлінні має ряд особливостей. Наприклад, такі фізичні явища як: укорочення стружки та її завивання, виділення тепла, наростоутворення, зміцнення поверхневого шару (наклеп), тертя стружки об поверхню гвинтової канавки, тертя задньої поверхні об поверхню різання та ін.



Поряд з цим, процес різання при свердлінні протікає у досить важких умовах. Насамперед наявність поперечної кромки, яка не ріже, а меніт метал, викликаючи значні сили опору на цій ділянці свердла; у процесі різання беруть участь дві головні ріжучі кромки та дві допоміжні ріжучі кромки. У порівнянні з точенням вихід стружки при свердлінні більш стиснутий, підведення мастильно-охолоджуючої рідини в зону різання також утруднений. Крім того, ріжучі кромки свердла від периферії до центру мають змінний передній кут. Змінюється також і швидкість різання по довжині ріжучої кромки, що, своєю чергою, позначається на зміні деформації в суміжних елементах по всій довжині ріжучої кромки: деформація стружки до центру свердла збільшується. Тому свердло має підвищений знос ріжучої частини, що знижує ефективність технологічної операції.

Зношування свердла по задній поверхні відбувається нерівномірно: у поперечної кромки зношування менше, ніж у периферії. Найбільш небезпечним видом зносу у свердел є знос по куточках, що утворюються головними ріжучими кромками та стрічками. Ці місця є найбільш напруженими, так як швидкість різання в цих місцях свердла найбільша, найбільше тут і виділення тепла і відповідно спостерігається і найінтенсивніший знос. Наприклад, при обробці сталевих заготовок у як критерій затуплення для свердел зі швидкорізальної сталі прийнятий знос по задній поверхні біля периферії  $h_z = 1 \dots 1,2$  мм; при свердлінні чавунних заготовок свердлами, оснащеними твердим сплавом, критерій затуплення приймається знос по куточках  $= 0,5 \dots 1,2$  мм. Зношування свердел, оснащених твердим сплавом, при свердлінні важкообробних матеріалів (жароміцних та титанових сплавів, а також тугоплавких металів, наприклад, вольфраму, молібдену та інших) зазвичай відбувається по заднім поверхням. Допустима величина зносу лежить у межах  $h_z = 0,35 \dots 0,5$  мм, що і необхідно приймати за критерій затуплення.

На даний момент розроблено та впроваджено на підприємствах різні методи підвищення стійкості та ефективності спіральних свердел, наприклад, нанесення

покриттів. Щоб краще виявити особливості використання різних методів нанесення покриттів, треба розглянути температурні процеси при роботі свердла.

Для побудови температурних полів у пакеті прикладних програм ANSYS була створена тривимірна модель спірального свердла, на контактні майданчики якого накладалися інтенсивності тепловиділення. Схема накладання інтенсивностей теплових потоків на контактні майданчики свердла показано на рис. 3.1. Як видно з представленої схеми, теплові потоки накладалися на три контактні майданчики свердла, що характеризують теплові джерела при свердлінні.

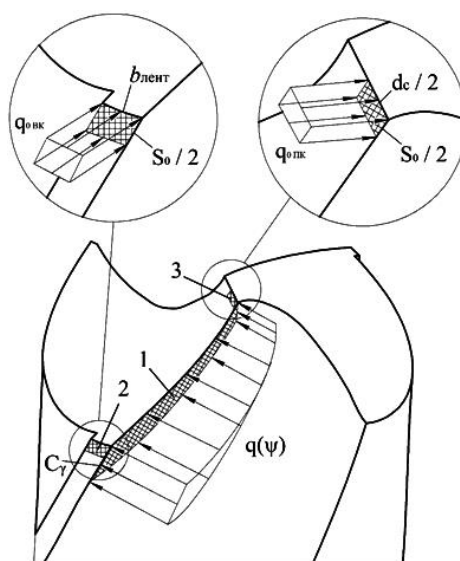


Рисунок 3.1 – Схема накладання інтенсивностей теплових потоків на контактні ділянки свердла [46]

На контактні ділянки головних ріжучих кромок (поз. 1, рис. 3.1) прикладали інтенсивності тепловиділення  $q(\psi)$  вздовж головних ріжучих кромок свердла 1 від центру свердла до його. Ширина ділянки застосування інтенсивності  $q(\psi)$  характеризується величиною довжини контакту стружки з передньою поверхнею  $S_\gamma$ . Величина  $S_\gamma$  незначно змінюється по довжині ріжучої кромки свердла 1. У зв'язку з цим, з метою спрощення моделювання, величина  $S_\gamma$  була прийнята рівномірною по всій довжині. Повна довжина контакту стружки з передньою поверхнею визначалася експериментально.

На контактні майданчики допоміжних ріжучих кромки і поперечної кромки (поз. 2 і 3, рис. 3.3) прикладали інтенсивність тепловиділення  $q_{0\text{вк}}$  і  $q_{0\text{пк}}$ , які розраховували за спеціальною методикою, використовуючи експериментальні дані.

Одночасно з цим були прийняті межі ділянок 2 та 3 додатку інтенсивностей тепловиділення. Ділянка 2 обмежена наступними параметрами:  $b_{\text{стріч}}$  – шириною стрічки свердла та величиною рівною половині подачі на один оберт свердла –  $S_0/2$ . Ділянка 3 обмежена половиною довжини поперечної кромки, визначеної виходячи з конструктивно-геометричних параметрів свердла та рівної половині діаметра серцевини, і так само, величиною, що дорівнює половині осьової подачі на один оберт свердла -  $S_0/2$ .

Згідно з рекомендаціями для спрощення розрахунку при збереженні достатньої для практики точності розподіл інтенсивності теплового потоку на задній поверхні не враховувався.

Результати розрахунку розподілу температурних полів на контактних майданчиках та в ріжучому клині свердла без покриття та з різними покриттями представлені на рис. 3.2. Подані на рисунку результати чисельного моделювання у пакеті прикладних програм ANSYS з високим ступенем достовірності відображають фізичний процес операції свердління та впливу покриттів на тепловий стан контактних ділянок спірального свердла. Спостерігається зростання тепловиділення від центру свердла до його периферії, пов'язане зі збільшенням швидкості різання та зменшення тепловиділення в міру віддалення від ріжучих кромки (від 3% до 5% залежно від складу покриття). Максимальні температури на контактних майданчиках свердлів з покриттями і без покриття мають місце на головних кромках поблизу стрічки. Нанесення зносостійких покриттів знижує цю температуру. Найбільше зниження температури спостерігається при нанесенні покриття TiN і становить у середньому 36%. Застосування покриттів TiAlN і TiAlCrN також веде до зниження максимальної температури на головних ріжучих кромках поблизу стрічок порівняно зі свердлом

без покриття на 34% і 24% відповідно. Аналогічне зменшення температур встановлено на поперечній кромці та допоміжних ріжучих кромках.

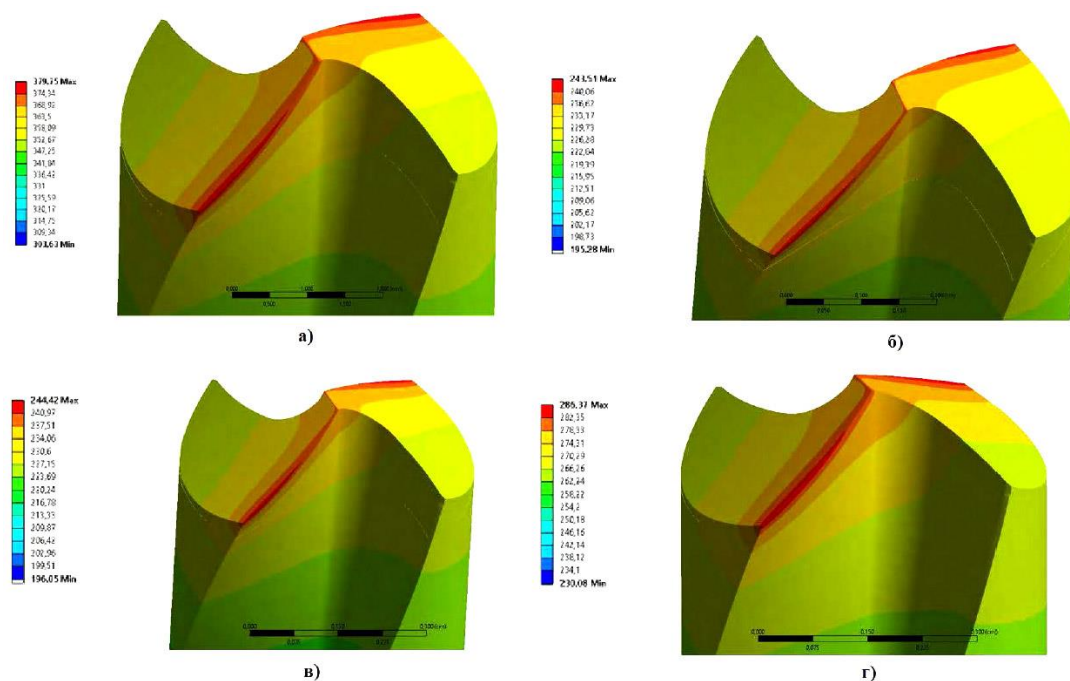


Рисунок 3.2 – Розподіл температурних полів на контактних ділянках свердла, °C: а – без покриття; б – TiN; в – TiAlN; г – TiAlCrN

Встановлено, що нанесення покриття TiN зміщує ізотерми температурних полів у ріжучому клині спірального свердла у бік головної ріжучої кромки та стрічки порівняно зі свердлом без покриття. Зміщення, що спостерігається, пов'язане зі зменшенням довжини контакту  $S_{\gamma}$  при нанесенні покриття. Так, у січній площині на середині головної ріжучої кромки це зміщення склало в середньому 40%. Нанесення багатоелементних покриттів TiAlN і TiAlCrN через збільшення величини  $S_{\gamma}$  в порівнянні з покриттям TiN веде до зміщення ізотерм температур у ріжучому клині у бік від ріжучої кромки та стрічки відповідно на 11% та 31%.

Аналогічне зміщення ізотерм температури відбувається і в секучих площинах головної ріжучої кромки на відстані 0,1 мм від поперечної кромки

свердла та допоміжних ріжучих кромки. При цьому спостереження, що спостерігається, ізотерм температури в ріжучому клині свердла в бік від ріжучої кромки зростає в напрямку від вершини свердла до допоміжних ріжучих кромки.

Як видно з представлених даних, склад зносостійких покриттів впливає на розподіл температур у ріжучому клині спіральних свердел. Велика довжина контакту стружки з передньою поверхнею  $S_1$ , характерна для багатоеlementних покриттів, сприяє більшому зміщенню ізотерм температури в бік від ріжучої кромки і стрічки порівняно з покриттям TiN.

Дослідженнями встановлено, що ізотерми температур багатоеlementних покриттів TiAlN і TiAlCrN зміщуються у бік від головних ріжучих кромки порівняно з покриттям TiN в середньому на 11% і 31%, відповідно, у всіх трьох площинах, що січуть.

Найбільше зміщення ізотерм надає покриття TiAlCrN, що позитивно позначається на тепловому стані ріжучого клину та працездатності свердла.

Аналізуючи отримані розподіли температурних полів у ріжучому клині свердла, можна побачити, що нанесення покриттів викликає зменшення абсолютних значень температури у всіх трьох перерізах. Найбільші значення температури має свердло без покриття, найменші із покриттям TiN. Так, нанесення покриття TiN знижує температуру в ріжучому клині в січній площині ріжучої кромки на відстані 0,1 мм від поперечної кромки на 16%, в сікучих площинах по середині ріжучої кромки свердла і на відстані 0,1 мм від допоміжної ріжучої кромки 37%. Покриття TiAlN і TiAlCrN порівняно з покриттям TiN знижують температуру в ріжучому клині у зазначених сікучих площинах, відповідно, на 8-13%, 10-16% і 13-19%.

Покриття можуть виконуватися у кілька шарів. Вплив співвідношення товщин шарів двошарового покриття на механічні властивості наведено у таблиці 3.1.

Аналіз досліджень показує, що найбільший вплив на мікротвердість, модуль пружності та коефіцієнт інтенсивності напруг надає матеріал верхнього шару та його товщина. Згідно з таблицею 3.1 та рис. 3.3, модуль пружності двошарових

покріттів більше порівняно з одношаровими покріттями – на 9,5% порівняно з TiAlN, і на 5% порівняно з TiAlCrN. Отримані дані можна пояснити впливом межей шарів та великим спотворенням кристалічної решітки.

Таблиця 3.1 – Вплив співвідношення товщин шарів двошарового покріття на механічні властивості

$\Delta$ , %	E, ГПа	$H_{\mu} / E$	$H_{\mu}^3 / E^2$ , ГПа	$K_{1C}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	$K_o$
33	423,7±29,1	0,087	0,284	4,57	0,23
50	419,9±21,5	0,090	0,314	4,48	0,24
66	417,9±23,8	0,090	0,309	4,47	0,31

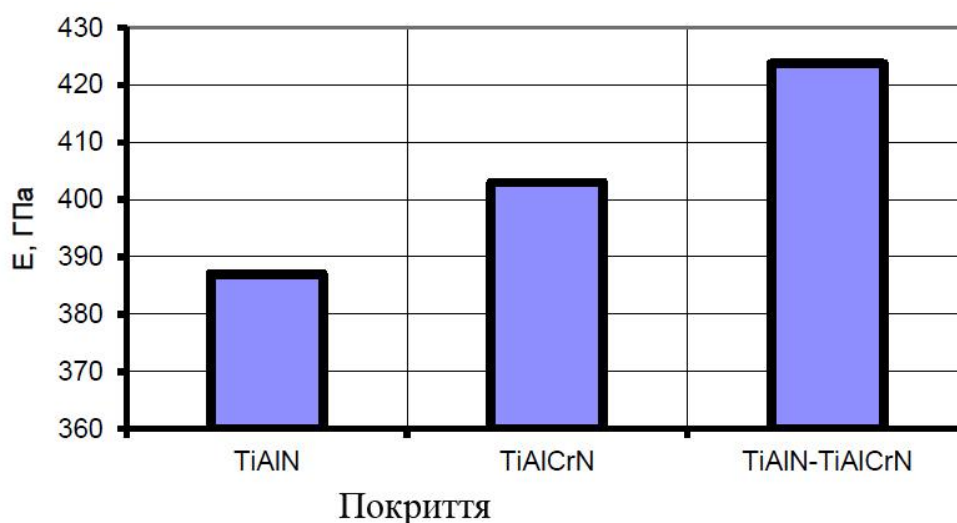


Рисунок 3.3 – Модуль пружності одно- та багатошарових покріттів

Також результати досліджень показують, що найбільший вплив на модуль пружності має матеріал верхнього шару та його товщина.

Двошарові покріття мають більш високий коефіцієнт інтенсивності напруг, що свідчить про їх більш високу тріщиностійкість. Порівняння даних показує, що коефіцієнт  $K_{1C}$  двошарових покріттів порівняно з одношаровим покріттям TiAlN вище на 12,3%, а порівняно з TiAlCrN – на 9,3% (рисунок 3.4). Зміна розташування

шарів багат шаровому покритті веде до зміни коефіцієнта  $K_{1C}$ . Зокрема, коефіцієнт  $K_{1C}$  покриття TiAlN-TiAlCrN (верхній шар завтовшки 3 мкм) на 6,5 % вище, ніж у покриття TiAlCrN-TiAlN (верхній шар завтовшки також 3 мкм).

Дослідження показали, що двошарові покриття, порівняно з одношаровими, мають більш високу міцність адгезії, про що свідчать менші значення коефіцієнта відшарування. Наприклад, коефіцієнт відшарування двошарового покриття при товщині нижнього шару 2 мкм дорівнює  $K_0 = 0,23$ , тоді як для одношарових покриттів TiAlN він дорівнює  $K_0 = 0,907$ , а для TiAlCrN - 1,25.

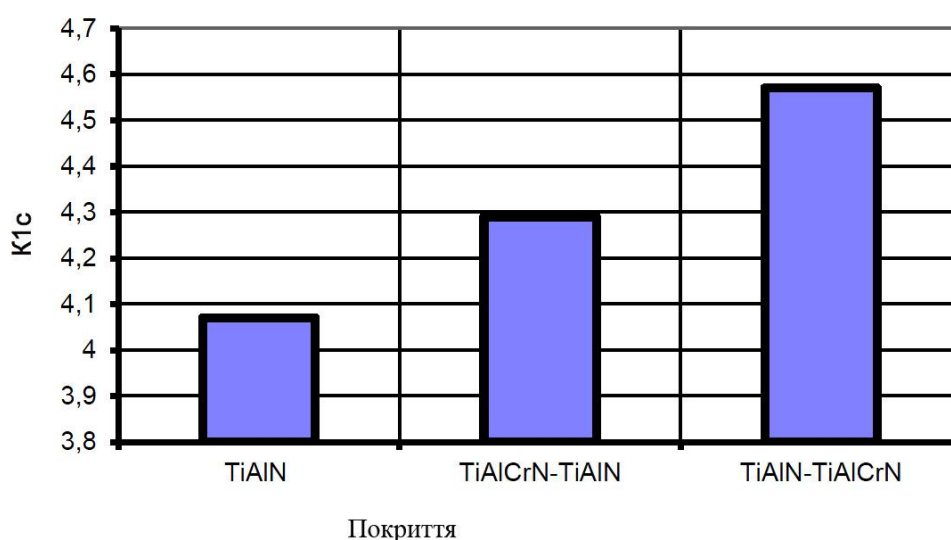


Рисунок 3.4 – Коефіцієнт  $K_{1C}$  багат шарових покриттів у порівнянні з одношаровим TiAlN

Міцність адгезії визначається складом нижнього шару багат шарового покриття. Це підтверджують дані рис. 3.5. При використанні в конструкції багат шарового покриття нижнього шару TiAlCrN, що має більші залишкові напруження, ніж верхній, міцність адгезії знижується майже вдвічі в порівнянні з покриттям TiAlN- TiAlCrN.

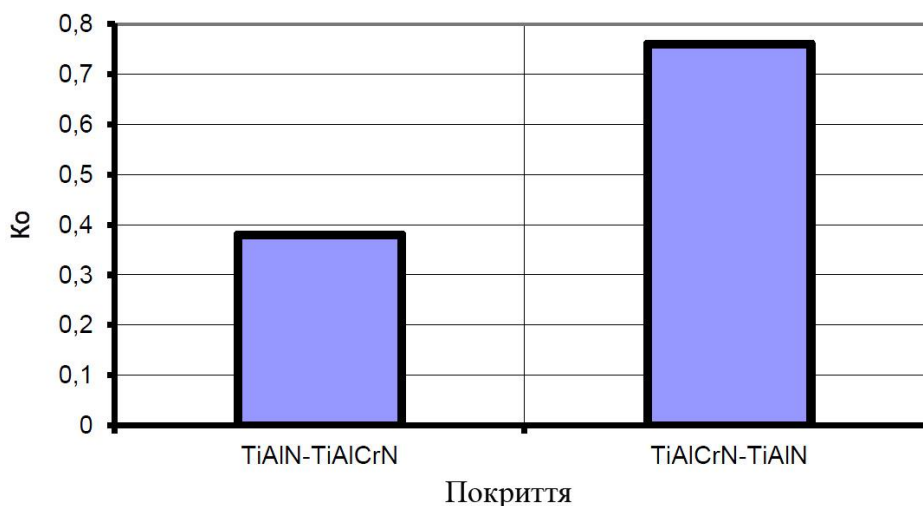


Рисунок 3.5 – Вплив конструкції багат шарового покриття на міцність адгезії з інструментальною основою

Мінімальна інтенсивність зносу свердел має місце при товщині нижнього шару TiAlN 1,5...2,0 мкм: при загальній товщині двошарового покриття, що дорівнює 5 мкм, і 2,0...2,5 мкм при загальній товщині двошарового покриття 6 мкм. Отримані дані пояснюються тим, що при даних товщинах нижнього шару має місце сприятливе співвідношення міцності адгезії (мінімальний коефіцієнт відшарування) двошарового покриття та мікротвердості верхнього функціонального шару.

Таким чином, найбільшу працездатність свердел повинні забезпечувати двошарові покриття TiAlN-TiAlCrN при товщині верхнього функціонального шару TiAlCrN, що становить 60...70% загальної товщини покриття.

### Висновки за розділом 3

1. На основі проведених досліджень сформульовано принцип формування та обрано склад функціональних шарів багат шарового покриття спіральних свердел. Запропоновано різні архітектури багат шарових покриттів для підвищення працездатності спіральних свердел.



2. Показано, що тепловий стан різального клина спірального свердла визначається зміною контактних характеристик процесу свердління при нанесенні покриттів. Виявлено закономірності впливу покриттів різного складу на тепловий стан спірального свердла. Встановлено, що найкращий тепловий стан забезпечують багатоеlementні покриття, порівняно з одноelementними.
3. Встановлено, що нанесення покриттів сприяє зниженню температури в ріжучому клині свердел, а застосування покриття TiAlCrN найбільшою мірою зміщує ізотерми температури в напрямку від головної ріжучої кромки, тим самим розвантажуючи ріжучий клин і куточки спірального свердла. Найкращий тепловий стан ріжучого клина спіральних свердел забезпечує триelementне покриття TiAlCrN.
4. Визначено фазовий склад двошарових покриттів. Встановлено, що двошарові покриття є однофазними з фазою нітриду титану з кубічною кристалічною решіткою. Фазовий склад двошарових покриттів не відрізняється від фазового складу одношарових покриттів. У покриттях є фази нітриду титану TiN і карбиду титану WC.
5. Встановлено, що двошарові покриття порівняно з одношаровими покриттями TiAlN і TiAlCrN мають більш високу мікротвердість (1,23-1,4 рази), модуль пружності (на 5-9,5%), коефіцієнт інтенсивності напруг (на 12, 3%) та міцність адгезії (коефіцієнт  $K_0$  менший у 3,9-4,3 рази).
6. Показано, що співвідношення товщин функціональних шарів впливає на міцність адгезії і практично не впливає, як і загальна товщина, на механічні властивості двошарових покриттів.
7. Встановлено, що мінімальна інтенсивність зношування свердел забезпечується при товщині верхнього функціонального шару 60-70% від загальної товщини двошарового покриття.
8. Проведено моделювання теплового стану робочих елементів спірального свердла у середовищі ANSYS. Встановлено, що застосування зносостійких покриттів значно знижує температуру на контактних ділянках спірального

свердла, а застосування зносостійких багатоелементних покриттів призводить до зміщення ізотерм температури в бік від головних ріжучих кромки, тим самим покращуючи тепловий стан ріжучого клина.

9. Встановлено, що застосування двошарових покриттів підвищує період стійкості свердел у 2,5 рази по відношенню до свердел без покриття та в 1,7-1,8 рази - по відношенню до свердел з покриттям TiN залежно від режиму обробки. Коефіцієнт підвищення періоду стійкості спіральних свердел з багатошаровими покриттями становив 1,25 порівняно з свердлами з одношаровим зносостійким покриттям TiAlCrN і 2,36 порівняно зі свердлами без покриття.

## ВИСНОВКИ

При виконанні наведеної випускної магістерської роботи виконано наступний обсяг робіт.

Було проаналізовано службове призначення виробу – «Відцентрового компресора 351ГЦ2-564/58-76М13» та деталі, робоче креслення деталі, а також аналіз технічних вимог на виготовлення деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09». Для «Муфти П6-ВА4-А.15.09» проведено класифікацію її поверхонь і також виконуваних ними функцій.

За допомогою комп'ютерної програми «Tip2 beta 4» було розраховано тип виробництва – дрібносерійний. Здійснено аналіз технологічності деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09». Було обгрунтовано метод отримання заготовки – поковка куванням на молотах. Обраний метод зменшує витрати матеріалу під час механічного оброблення муфти.

Виконано аналіз операції 065 свердлильної із ЧПК обробки деталі «Муфта П6-ВА4-А.15.09». Здійснені розрахунки припусків та допусків для розміру  $\varnothing 572H8$  за допомогою комп'ютерної програми.

Для операції 065 наведено режими різання, а також проведено технічне нормування операції.

Спроектовано верстатний пристрій, що підвищує продуктивність, точність та якість оброблення заданої деталі «Муфта».

В наукових дослідженнях визначено, що застосування двошарових покриттів підвищує період стійкості свердел у 2,5 рази по відношенню до свердел без покриття та в 1,7-1,8 рази - по відношенню до свердел з покриттям TiN. Також визначено, що двошарові покриття порівняно з одношаровими покриттями TiAlN і TiAlCrN мають більш високу мікротвердість (1,2-1,4 рази) та модуль пружності (на 5-9,5%).

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки для виконання магістерської роботи для студ. спец. 8.05050202 «Технології машинобудування» / укл.: Д.В. Криворучко, В.Г. Євтухов. – Суми: СумДУ, 2012. – 64 с.
2. Паливода Ю. Є. Технологія оброблення корпусних деталей : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю. Б. Капаціла, Ів. Б. Гевко. – Тернопіль : ТНТУ , 2016. – 156 с.
3. Григурко І.О. Технологія обробки типових деталей та складання машин (практикум) : навчальний посібник. / І.О. Григурко, М.Ф. Брендюля, С.М. Доценко. – Львів: «Новий Світ - 2000» – 2020, 472 с.
4. Бойко, Ю. І. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навч. посіб. / Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко. – Київ: НУХТ, 2018. – 195 с.
5. Технологія обробки типових деталей та складання машин : метод. вказ. До викон. лаб. робіт / І. І. Павленко, А. М. Артюхов, М. М. Підгаєцький, М. О. Сторожук.– Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 74 с.
6. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. – 148 с.
7. Доля В.М. Технологія обробки деталей машин: конспект лекцій для студентів спеціальності «Технології машинобудування» усіх форм навчання. / В.М. Доля, О.В. Доля – Харків : НТУ «ХП», 2020. – 112 с.
8. Паливода, Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Р. Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
9. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навчальний посібник. – Київ: Вища школа, 1993. – 414 с.
10. Іванов, В. О. 3176 Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи з дисципліни "Технології машинобудівних виробництв": для студ.

освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр" за напрямом підготовки 6.050604 "Енергомашинобудування" денної форми навчання / В. О. Іванов. – Суми : СумДУ, 2011. – 41 с. – 4-23.

11. Технології формоутворення сучасних складнопрофільних деталей [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології виготовлення літальних апаратів», «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові данні. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 380 с.

12. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з курсу „Теоретичні основи технологій виготовлення деталей” / О.У. Захаркін. – Суми: СумДУ, 2003. – 52 с.

13. Петров О.В., Сухоруков С.І. Технологічна оснастка: навч. посіб. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 123 с.

14. Захаркін О. У. Технологічні основи машинобудування: навч. посіб. / О.У. Захаркін. – Суми : СумДУ, 2009. – 137 с.

15. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсів „Теоретичні основи технології виготовлення деталей” та „Технологія машинобудування” / упорядник О.У. Захаркін. – Суми: СумДУ, 2005. – 29 с.

16. Добротвор, І.Г. Системний аналіз: навчальний посібник / І.Г.Добротвор, А.О.Саченко, Л.М.Буяк. – Тернопіль: ТНЕУ, 2019. - 200 с.  
<http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/30197>

17. Внуков Ю. М., Залога В. О. Зношування та стійкість ріжучих лезових інструментів: навч. посібн. – Суми: СумДУ, 2011. – 129 с.

18. Паливода Ю. Є. Розмірні ланцюги : навчально-методичний посібник / укладачі : Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с.

19. Приходько, В. П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131

«Прикладна механіка» / В. П. Приходько ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с.

20. ДБН В.2.5-56:2010. Системи протипожежного захисту.

21. ДБН В.2.5-28–2006. Природне і штучне освітлення.

22. ДБН Д.2.6-3–2000. Збірник 3. Системи вентиляції і кондиціонування повітря.

23. ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.

24. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

25. ДСТУ EN 292-2-2001 Безпечність машин. Ергономічні принципи проектування. Частина 1. Термінологія, загальні принципи.

26. ДСТУ EN 292-1-2001 Безпечність машин. Основні поняття, загальні принципи проектування. Частина 1. Основна термінологія, метрологія.

27. ДСТУ ГОСТ 12.4.041:2006 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту органів дихання фільтрувальні. Загальні технічні вимоги (ГОСТ 12.4.041-2001, IDT).

28. ДСТУ ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.

29. ДСТУ 7238:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація.

30. ДСТУ EN 1032-2001 Вібрація механічна. Випробування рухомих машин і механізмів.

31. ДСТУ 2272-93 Пожежна безпека. Терміни та визначення.

32. Роїк, О.М. Системний аналіз [Електронний ресурс] / О.М. Роїк, А.А.Шиян, Л. О. Нікіфорова. – Вінниця: ІРВЦ ВНТУ, 2017.– Режим доступу: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmib/32royik\\_systemnyj\\_analiz/txt/zmist.html](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmib/32royik_systemnyj_analiz/txt/zmist.html)

33. ДСТУ EN 292-2-2001 Безпечність машин. Основні поняття, загальні принципи проектування. Частина 2. Технічні принципи, технічні умови.

34. ДСТУ 2293: 2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять.

35. ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Технічні вимоги до геометричних параметрів продукції (GPS). Прилади для лінійних та кутових вимірювань. Частина 1. Штангенциркулі. Проектні та метрологічні характеристики (EN ISO 13385-1:2011, IDT; ISO 13385-1:2011, IDT)

36. ДСТУ ГОСТ 166:2009 Штангенциркулі. Технические условия (ГОСТ 166-89 (ИСО 3599-76), IDT)

37. Кушніров П.В., Євтухов А.В., Дегтярьов І.М. Технологічна оснастка [Електронний ресурс]: навч. посіб. Суми : СумДУ, 2020. – 140 с. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/81842>

38. Березуцький В.В., Бондаренко Т.С., Вершиніна Н.П. та ін. Основи охорони праці: Підручник / За ред. В.В.Березуцького – Харків, НТУ “ХПІ”, 2003. – 430 с.

39. Технічний регламент засобів індивідуального захисту. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 27 серпня 2008 р. № 761.

40. Методичні вказівки з курсу "Охорона праці": для студентів спеціальності 7.05050201 усіх форм. навч. / Л.А.Гладка, І.С.Козій. – Суми: СумДУ, 2014.– 31 с.

41. Протоєрейський О. С., Запорожець О. І. Охорона праці в галузі: Навч. посіб. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 268 с.

42. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В. та ін. Основи охорони праці: Підручник для ВНЗ. – К.: Основа, 2003. – 472 с.

43. Конончук, Д.В. Проектування технологічного процесу виготовлення муфти П6-ВА4-А.15.09 [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 131 прикладна механіка (технології машинобудування) / Д.В. Конончук; наук. керівник П.В. Кушніров. – Суми: СумДУ, 2022. – 70 с.

44. Конончук, Д.В. Особливості проектування верстатного пристрою для фрезерування деталі типу муфти [Текст] / Д.В. Конончук, Б.С. Басов, П.В. Кушніров // Технології ХХІ сторіччя: Збірник тез за матеріалами 29-ої

міжнародної науково-практичної конференції (20-22 листопада 2023 р.). Ч.1. – Суми: СНАУ, 2023.– С. 11-12.

45. Hao, Q., & Yang, Q. (2020). A self-adaptive auxiliary fixture for deformation control in blade machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111(5-6), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06171-3>

46. Jassam, Al-Kadhimi Mohammed Fayyadh. Improving the performance of twist drills through the development and application of multi-layer wear-resistant coatings / Dissertation. – UGTU. – 2022.– 138 p.

47. Liu, Q., Xu, J., & Yu, H. (2021). Experimental study on the reduction of process-induced deformation when milling a low stiffness structure made of Ti6Al4V titanium alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116, 1975–1987. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07586-2>



