

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

**Факультет технічних систем та енергоефективних технологій**  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

---

**Технологія машинобудування, верстати та інструменти**  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

---

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи (проєкту)

другий (магістерський)  
(освітній рівень)

на тему «Удосконалення технологічного процесу виготовлення вала Н19.32.30.01 шляхом вибору раціональних режимів різання на токарній операції»

---

Виконав: студент II курсу, групи ТМ.м-01  
спеціальності: 131 – прикладна механіка  
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми: технології  
машинобудування  
(назва освітньої програми)

Єрмаков А.О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Колесник В. О.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Суми – 2021 року

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

Інститут, факультет	Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра	Технології машинобудування, верстатів та інструментів
Освітній рівень	другий (магістерський) <small>(назва)</small>
Спеціальність	131 – прикладна механіка <small>(шифр і назва)</small>
Освітня програма	технології машинобудування <small>(назва освітньої програми, за наявності)</small>

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри технології  
машинобудування, верстатів та  
інструментів

\_\_\_\_\_ Віталій ІВАНОВ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 року

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО КВАЛІФІКАЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ**

**Єрмаков Антон Олександрович**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Удосконалення технологічного процесу виготовлення вала Н19.32.30.01 шляхом вибору раціональних режимів різання на токарній операції

керівник проєкту Колесник Віталій Олександрович, канд. техн. наук  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «24» листопада 2021 року за № 0911-VI

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) «16» грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту) Креслення деталі «Вал Н19.31.30.01» технологічний процес деталі «Вал Н19.31.30.01».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Виконати аналіз службового призначення деталі Вал та технології її оброблення

2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі Вал

3. Виконати огляд факторів, що впливають на температуру різання, розглянути способи вимірювання температури різання

5. Дата видачі завдання «10» вересня 2021 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи (проєкту)	Строк виконання етапів роботи (проєкту)	Примітка
1	Вступ	25.09.2021	Виконано
2	Виконати аналіз службового призначення деталі вал та технології її оброблення	10.09.2021	Виконано
3	Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі вал	15.10.2021	Виконано
4	Виконати огляд технологічних факторів, що впливають на продуктивність фрезерування та запропонувати шляхи підвищення продуктивності в заданих виробничих умовах	27.11.2021	Виконано
5	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях	03.12.2021	Виконано
6	Формулювання загальних висновків	11.12.2021	Виконано
7	Підготовка доповіді	12.12.2021	Виконано
8	Підготовка презентації	12.12.2021	Виконано
9	Оформлення роботи	14.12.2021	Виконано

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Антон ЄРМАКОВ

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проєкту)

Віталій КОЛЕСНИК  
\_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 98 стр., табл.18, рис.14, джерел 16, додатка 2.

**Об'єкт розробки:** деталь Вал Н19.31.30.01.

**Мета роботи** – аналіз та розробка вдосконалених операцій технологічного процесу механічної обробки деталі Вал Н19.31.30.01.

У кваліфікаційній роботі бакалавра було проведено аналіз службового призначення машини, вузла і деталі; технічні вимоги до деталі, її технологічність і спосіб отримання заготовки – поковка штампована. В роботі розроблена операційна технологія для виготовлення деталі. На операції розраховані режими різання та проведене нормування часу. Обрані більш сучасні верстати, верстатні пристрої, ріжучий і вимірювальний інструмент для обробки деталі за сучасними стандартами та методиками обробки деталей. Спроектовано верстатний пристрій на операцію с базового технологічного процесу 105 – фрезерна.

**Науково-дослідна частина:** розглянуто способи вимірювання та контролю температури різання у точці контакту ріжучого інструменту

Також в роботі розглянута перша допомога при ураженні струмом...

ВАЛ, СТАЛЬ, ШТАМПОВКА, ОПЕРАЦІЯ, ЦИЛІНДРИЧНІ ПОВЕРХНІ,  
ТЕХНІЧНЕ НОРМУВАННЯ.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідуючий кафедрою

\_\_\_\_\_ Віталій ІВАНОВ

«\_\_\_» грудня 2021 р.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ  
ВАЛА Н19.32.30.01 ШЛЯХОМ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ  
РІЗАННЯ НА ТОКАРНІЙ ОПЕРАЦІЇ**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність 131 – прикладна механіка

Освітня програма – технології машинобудування

Студент

А.О. Єрмаков

Керівник

В. О. Колесник

Нормоконтроль

О. В. Івченко

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ</b>	<b>8</b>
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації.....	8
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення .....	10
1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації .....	11
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	13
1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу.....	19
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі.....	25
<b>РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ</b> .....	<b>26</b>
2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі.....	26
2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки .....	27
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання .....	30
2.4 Аналіз та обґрунтування схем базування і закріплення.....	36
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів .....	40
2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального й вимірювального інструментів .....	42
2.7 Визначення режимів різання.....	45
2.8 Технічне нормування операцій .....	56
2.9 Проектування верстатного пристрою .....	61
<b>РОЗДІЛ 3 Способи вимірювання температури різання в зоні контакту під час обробки деталі.</b> .....	<b>75</b>

3.1 Теплота різання.....	75
3.2 Температури різання. ....	76
3.3 Методи вимірювання температури різання.....	87
Висновки .....	94
Перелік джерел посилань .....	95
Додаток А.....	93
Додаток Б.....	95

## ВСТУП

У сучасному машинобудуванні досягнутого великого прогресу у розвитку промислових роботів, металообробних верстатів та технологій виготовлення та обробки з допомогою комп'ютеризованих технологій та спеціального високотехнологічного оснащення.

Основним з напрямків сучасного розвитку промисловості є розвиток верстатів з ЧПК – основний спосіб механічної обробки матеріалів. Верстат з системою числового програмного керування являє собою високотехнологічну та високопродуктивну механо-оброблюючу станцію. Так як його системи числового керування є наймовірно точними, і верстат має можливість виконувати обробку за складними траєкторіями руху ріжучого інструменту, це дозволяє йому виконувати важкі види обробки.

Сучасне українське машинобудування застрягло у 70-80-их роках минулого століття. Більшість українських підприємств використовує обладнання радянських часів, яке до останнього добивається виготовляючи сучасні складні замовлення з максимальними навантаженнями та мінімальною продуктивністю. В кращому випадку, на українських підприємствах подекуди використовують списані китайські верстати з ЧПК. Можливо для України це високі технології, але у порівнянні з німецькими чи японськими верстатами, китайський аналог – дитяча іграшка.

Якщо країна дійсно хоче розвиватися, то необхідно створювати можливості для її розвитку. Нове обладнання на підприємствах спонукатиме до зміни методів навчання, і може тоді молоді спеціалісти будуть працювати не на польських виробництвах, а у рідній країні, оскільки буде можливість реалізувати знання. Метою даної роботи є удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі Вал Н19.31.30.01, основане на використанні останніх розробок у машинобудуванні.

**Мета і задачі дослідження.** Удосконалення технологічного процесу виготовлення валу для насосів типу «Д» Н19.31.30.01 шляхом модернізації технологічного процесу.

**Задачі дослідження:** 1) виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі; 2) розробити перспективний технологічний процес



виготовлення деталі; 3) спроектувати спеціальну конструкцію верстатного пристрою для модернізації способу обробки на операції 105 базового технологічного процесу; 4) провести аналіз способів вимірювання та контролю температури різання в точках контакту ріжучого інструменту з заготовкою під час обробки.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації.

Деталь «Вал», що розглядається входить до складу насос типу «Д»,  
рисунок 1.1



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд насосу типу «Д».

Насоси типу «Д» використовують для перекачування води в системах водопостачання промислових і комунальних об'єктів, їх застосовують також для зрошення і осушення земель..

Призначення: Насоси типу Д та насосні агрегати на їх основі типу АД призначені для перекачування води з температурою до 850С в системах водопостачання промислових і комунальних об'єктів, меліорації.

Матеріали: корпуси, кришки і робочі колеса - відливки з сірого чавуну; деталі щільних ущільнень - незадираємі корозійностійкі сплави; вал - сортовий прокат з конструкційної легованої сталі 40Х. Насос Д 2500-62-2- відцентровий горизонтальний одноступінчатий насос двостороннього входу з двостороннім полуспіральним підведенням рідини до робочого колеса і спіральним відводом. Розташування всмоктуючого і напірного патрубків в нижній частині корпусу насоса дозволяє проводити ремонт без від'єднання труб і демонтажу двигуна. Двигун приводить в дію ротор насоса через пружну втулочно-пальцеву муфту. Опорами ротора насоса служать радіальні або радіально-упорні підшипники качення або ковзання (в залежності від споживаної потужності) з пластичного або картерного мастила. Робоче колесо двостороннього входу, що забезпечує рівновагу осевих сил. Ущільнення валу - механічні з сальниковим набиванням надійно запобігають протікання по валу.

Насос Д 2500-62-2) призначений для перекачування чистої води і рідин, характеристики яких подібні з нею по хімічній активності, з кінематичною в'язкістю до  $36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , змістом механічних домішок не більше 0,05%, з розміром твердих частинок не більше 0,2 мм, температурою до  $85^\circ \text{C}$  і мікротвердістю не більше  $650 \text{ кгс} / \text{мм}^2$ . У якості матеріалу для виготовлення проточних деталей насоса Д 2500-62-2 використовується чавун СЧ 25 (корпус, кришка, робоче колесо) і сталь 40Х (вал).

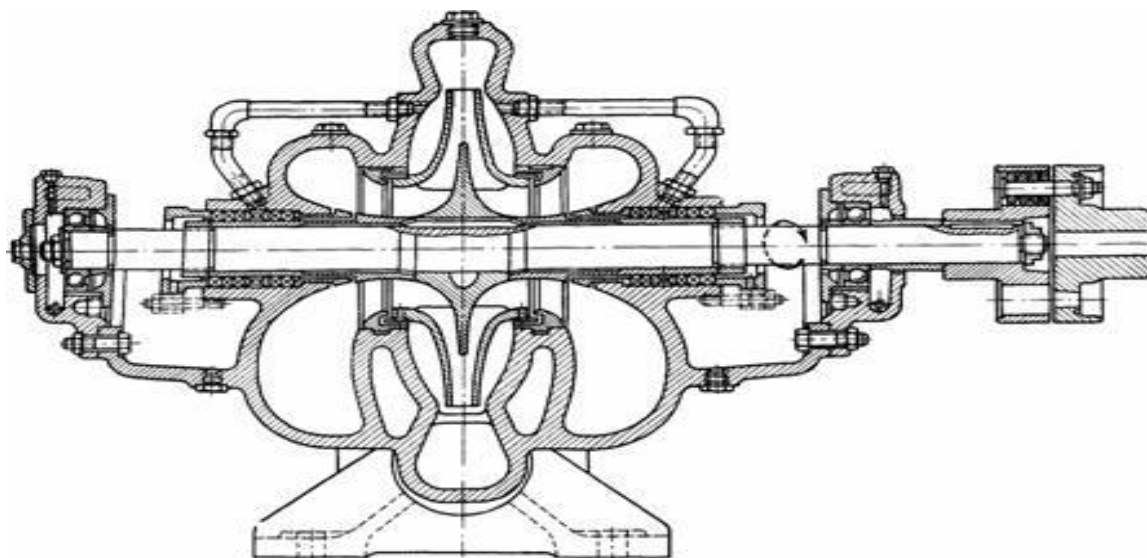


Рис 1.2 Розріз насосу типу Д

Вал Н19.31.30.01 призначений для передачі крутного моменту від двигуна до робочого колеса насоса. Виготовлений він із Сталі 40Х, яка пройшла випробування на стійкість проти міжкристалічної корозії за методом ВЧ ГОСТ 6032-89. Базування валу у виробі відбувається за допомогою двох підшипників кочення напресованих на вал, які впресовуються в посадочні місця корпусу насосу з упором у торці. Посадочні поверхні вала виконані по Ra 0.4. Передача крутного моменту від валу до робочого колеса передається за допомогою шпонки. Співвідношення  $l / d = 1912/100$  мм. Переходи між торцевими поверхнями в більшості випадків мають фаски.

## **1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення**

Технічні вимоги на виготовлення деталі визначаються її службовим призначенням. На основі аналізу робочого креслення можна зробити висновок, що наявних проєкцій і перетинів досить, вони правильно розміщені відповідно до існуючих стандартів, на всіх поверхнях позначені необхідні дані: вимоги на виготовлення деталі, розміри, їх точність і шорсткість. Креслення деталі Вал Н19.31.30.01 виконано відповідно до ЕСКД і повністю відповідає стандартам:

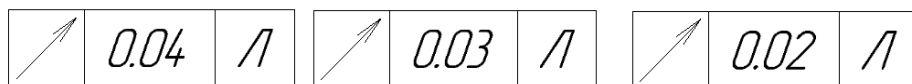
- ГОСТ 2.109-73. Основні вимоги до креслень;
- ГОСТ 2.305-68. Зображення видів, перетинів;
- ГОСТ 2.307-68. Нанесення розмірів і граничних відхилень;
- ГОСТ 2.309-73. Шорсткість поверхні. Параметри, характеристики і позначення;
- ГОСТ 24643-81. Допуски форми і розташування поверхонь.

Вимоги по точності розмірів конструктором проставлені у вигляді відхилень. Аналізуючи технологічність конструкції по застосовуваних матеріалів необхідно відзначити, що сталь 40Х є взаємозамінною на сталь 45Х

Деталь являє собою тіло обертання з відношення  $l/d=1912/100$ .

Найбільш точними поверхнями є зовнішні циліндричні поверхня  $d=100k6_{-0,022}$ ,  $d=80h8$ ,  $d=95h8$ . Найбільш високу якість мають зовнішні циліндричні поверхні  $Ra0,4$ ;  $d=80h8$ .

Основними допусками проставлення на кресленні, є допуски радіального і торцевого биття. Всі допуски проставлені щодо загальної бази Л - осі вала, дані допуски чисельно рівні 0.02, 0.03 0.04мм,



Також існують допуски симетричності та паралельності пазу до бази Т, які чисельно дорівнюють 0.8 (симетричність) та 0.02 (паралельність).



Вимоги до них вважаються підвищеними. Це забезпечує точність оброблюваної поверхні. Дані допуски дозволяють правильно розташувати пази на конусі та циліндричних поверхнях, та виготовити установчі шийки валу що базують його у виробі з необхідною точністю. Якщо знехтувати цими вимогами, це може призвести до вібрацій або люфтів конструкції, що в свою чергу призведе до передчасних поломок та зменшенню ресурсу виробу.

### 1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації

Виходячи з річної програми випуску деталей  $N = 2000$  шт. тип виробництва середньосерійний.

Визначимо кількість деталей в партії для одночасного запуску у виробництво за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{254} \quad (1.1)$$

де  $N$  – річна програма ,шт.;

$a$  – періодичність запуску в днях (рекомендовано періодичність 3,6,12, 24 дні).

Вибираємо 6 днів.

$$n = \frac{2000 \cdot 6}{254} = 47,24 \approx 48 \text{ шт}$$

Среднесерійне виробництво характеризується середньою обмеженою номенклатурою виробу, що виготовляються або ремонтуються періодичними партіями і порівняно великим об'ємом випуску близько 10-20 найменувань виробів. Використовується універсальне і спеціалізоване обладнання та частково спеціальне. Широко використовуються верстати з ЧПУ, обробні центри. Устаткування розставляються по технічним групам з урахуванням напрямку основних вантажопотоків цеху по предметнозамкнутим ділянкам. Тех.оснастка зазвичай універсальна але також використовується універсально-збірна, переналагоджувані технологічне оснащення.

В якості вихідних заготовок використовують холодний і гарячий прокат, лиття в землю і під тиском, точне лиття, поковки і точні штампування і пресування, доцільність застосування яких також обґрунтовується техніко-економічними розрахунками.

Середня кваліфікація робітників вище, ніж в масовому виробництві, використовується відрядна погодинна форма оплати праці.

У С.С.П. нормування операцій здійснюючи аналітичним способом, причому час встановлюється на виконання даної операції при певних організаційно-технічних умов і найбільш ефективно використання всіх засобів виробництва з урахуванням передового виробничого досвіду.

Оскільки в серійному виробництві випуск виробів повторюється, економічно доцільно розробляти технологічні процеси обробки і збірки детально; представляти кожну операцію у вигляді переходів; встановлювати режими обробки, точні назви верстатів і спеціального оснащення і технічні норми часу.

Організація праці в серійному виробництві відрізняється високою спеціалізацією. За кожним робочим місцем закріплюється виконання декількох певних операцій. Це дозволяє робітникові добре освоїти інструмент, пристосування і весь процес обробки; набути навичок і вдосконалити прийоми обробки. Так як в

серійному виробництві застосовується велика кількість складного обладнання та спеціального оснащення, налагодження устаткування здійснюється спеціальними робочими-наладчиками.

Особливості серійного виробництва обумовлюють економічну доцільність випуску продукції по циклічно повторюється графіком. При цьому виникають необхідні умови для встановлення суворого порядку чергування виробів в цехах, на виробничих ділянках і робочих місцях. Технологічне оснащення в основному універсальна. Великого поширення набули універсальні збірні переналагоджувані пристосування, що дозволяють істотно підвищити коефіцієнт оснащеності виробництва. Ріжучий інструмент: в основному стандартний, рідше – спеціальний. Вимірювальний інструмент: в основному спеціальний, рідше – стандартний. Технічне нормування робіт ведеться за допомогою розрахунку. Технологічна документація детально розробляється для найбільш складних і відповідальних заготовок при одночасному застосуванні спрощеної документації для простих заготовок. Для них використовується гарячий і холодний прокат, лиття, поковки і штампування. Необхідна точність досягається методами автоматичного отримання розмірів, рідше – методом пробних ходів і замірів.

#### **1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі**

Технологічною вважається та конструкція деталі, обробка якої можлива з мінімальною собівартістю.

Відпрацювання на технологічність проводиться в три етапи:

1) Конструктор під час проектування деталі або виробу вдається до використання найбільш вдалих рішень, які дозволяють забезпечити вимоги креслення, використання стандартного інструменту, типових способів обробки з мінімальними витратами на налаштування обладнання, уніфікацію складальних одиниць і основних деталей як в межах проєктованого виробу, так і виробів знаходяться в виробництві, технологічність оригінальних деталей і вибір для них раціональних заготовок.

2) Технолог при складанні технологічного процесу аналізує можливість використання найбільш прогресивних методів обробки. Проводять аналіз технологічності деталі - виявляють НЕ технологічні конструктивні елементи з обґрунтуванням. Після аналізу подаються пропозиції щодо відпрацювання деталі на технологічність в конструкторське бюро, якщо рішення визнають обґрунтованим, проводиться відпрацювання технологічності конструкції деталі (вводять зміни в конструкцію).

3) Робочий на робочому місці механічної обробки або зборки.

Показники технологічності - якісні і кількісні

До якісних оцінок відносять:

1) Матеріал деталі

2) Базування і закріплення заготовки в процесі обробки. На деталі повинні бути поверхні дозволяють виробляти установку і закріплення на механічній обробці з великим ступенем надійності. При відсутності таких поверхонь вони повинні бути передбачені конструктором штучно.

3) Проставлення розмірів повинно здійснюватися так щоб не викликати труднощів у процесі обробки поверхонь та їх контролю.

4) Величина допусків поверхонь и взаємного розположення

5) Точність розмірів та шорхностей

6) Не технологічні конструктивні елементи. вирішується питання про уніфікацію елементів, заміна складних простішими.

7) Метод отримання заготовки

До кількісних відносять:

1) Коефіцієнт використання заготовки.

2) Коефіцієнт використання матеріала.

3) Коефіцієнт точності

4) Коефіцієнт шорхності

Якісні оцінки технологічності

Деталь вал виготовлена зі сталі 40Х. Замінниками можуть служити Сталь 45Х, Сталь 40ХС. Поставляється у вигляді: сортового прокату, в тому числі фасонного



ГОСТ 4543-71, ГОСТ 2590-2006. Калібрований пруток ГОСТ 7417-75, Лист товстий ГОСТ 1577-93, Поковки ГОСТ 8479-70.

Механічні властивості матеріалу: межа текучості  $0.2 > 490$  МПа (50кгс / мм<sup>2</sup>) тимчасовий опір розриву  $> 690$  МПа (70кгс / мм<sup>2</sup>) відносне видовження  $> 14\%$  ударна в'язкість  $> 490$ кДж / м<sup>2</sup> (5кгс / см<sup>2</sup>) Відбір проб для випробувань відповідно з ГОСТ 7564-73.

Хімічний склад С 0.36-0.44%, Si 0.17-0.37%, Mn 0.5-0.8%, Ni до 0.3%, S до 0.035%, P до 0.035%, Cr 0.8-1.1%, Cu до 0.3%, Fe ~ 97%

Твердість матеріалу: HB 10 -1 = 217 МПа

Температура критичних точок:  $A_{c1} = 743$ ,  $A_{c3} (A_{cm}) = 815$ ,  $A_{r3} (A_{rcm}) = 730$ ,  $A_{r1} = 693$

Зварюваність: важкозварювальна. Способи зварювання: РДС, ЕШС, необхідний підігрів і подальша термообробка. КТС - необхідна подальша термообробка.

Різанням: в гарячекатаному стані при HB 163-168 і  $\sigma_B = 610$  МПа, До  $\nu$  тв. спл = 1,2 і  $K_v$  б.ст = 0,95

Температура ковки, С°: початку 1250, кінця 800. Перетини до 350 мм охолоджуються на повітрі.

Схильність до відпускнуї крихкості: схильна

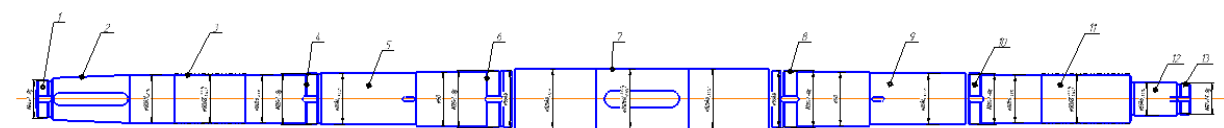


Рис. 1.3 Поверхні валу.

Табл. 1.1 Основні та Допоміжні конструкторські бази.

№ поверхні	Назва бази
3,11	ОКБ
1,2,4,5,6,7,8,9,10,12,13.	ДКБ

Якщо розглянути конструкцію деталі в цілому, то вона технологічна, так як є тілом обертання. Базування деталі можна виробляти на всіх поверхнях. Як пристосування для закріплення заготовки слід застосовувати центру: лівий - плаваючий, правий обертаний. Рух передається за допомогою диску приводу, так само використовують призми для фрезерної операції.

Як чорнові бази варто застосовувати поверхні у яких найменші припуски, не варто приймати за чорнові бази поверхні роз'єму, нерівні поверхні зі слідами від прибутків, літників і іншими вадами.

Проставлення розмірів на кресленні деталі повинна бути здійснено так, що б ці розміри можна було легко проконтролювати в процесі обробки. На підставі аналізу технологічності проставлення розмірів, очевидно, що простановка розмірів відповідає вимогам технологічності.

Не технологічними конструктивними елементами даної деталі є наступні елементи:

- 1) Проточки, канавки (для їх виготовлення необхідний спеціально зпроектований інструмент)
- 2) Шпонкові пази (для їх виготовлення необхідні шпонкові фрези певного діаметра)
- 3) Наявність галтелі (для її виготовлення необхідний спеціально заточений інструмент або ж верстат з ЧПУ)
- 4) Наявність ступенів (для їх отримання необхідно проводити обробку в центрах на двох установках або застосовувати ліві різці, обробка в центрах потягне за собою впровадження фрезерно-центрувальної операції)
- 5) Наявність різьблень (для їх виготовлення необхідно мати різьбові різці або плашки).

Підрахунок середнього квалітету та шорсткості приведені в Табл 1.2

Табл 1.2 Поверхні та елементи валу.

Поверхня	Кількість	Квалитет	Шорсткість
<b>Циліндричні</b>			

d80h11	1	11	3,2
d80d8	2	8	0,4
d80h6	2	6	1,6
d85h6	2	6	1,6
d90	2	14	3,2
d95h8	2	8	1,6
d100h8	2	8	1,6
d100k6	1	6	1,6
d55h6	1	6	1,6
d30h6	2	6	1,6
<b>Канавки</b>			
d61h13	1	13	
d82h13	2	13	
d92h13	2	13	
d94	2	14	
d92h13	1	13	
d54h13	1	13	
<b>Різи</b>			
m64x2	1		3,2
m85x2	2		3,2
m95x2	2		3,2
m52x1.5	1		3,2
<b>Шпонкові пази</b>			
R5L23	1		
R10L125	1	9	3,2
R5L25	2		
R4L20	2	9	
R5L30	2		
R14L125	1	9	3,2

R3L16	1		
R4L22	1		

Коефіцієнт точності дорівнює

$$K_{Tq} = 1 - (1/A_{CP}), \quad (1.2)$$

де  $A_{CP}$  – середній квалітет точності

Розрахунок середнього арифметичного значення квалітету точності деталі:

$$ACP = (n_1 + n_2 + \dots + n_{27}) / \sum_i m_i, \quad (1.3)$$

де  $n$  – квалітет точності кожної поверхні;

$m$  – кількість поверхонь.

$$A_{CP} = ((14 * 10) + (13 * 3) + (11 * 1) + (8 * 6) + (6 * 7)) / 27 = 10.3$$

$$K_{Tq} = (1 - 1/10.3) = 0.9 > 0.8$$

Коефіцієнт шоркості рівний

$$K_{Ш} = 1 - 1/B_{CP} \quad (1.4)$$

де  $B_{CP}$  – середнє позначення шорсткості всіх поверхонь

Розрахунок арифметичного значення шорсткості всіх поверхонь:

$$B_{CP} = (c_1 + c_2 + \dots + c_{27}) / \sum_i m_i \quad (1.5)$$

$$B_{CP} = ((11 * 3.2) + (11 * 1.6) + (1 * 0.8) + (2 * 0.4) + (9 * 12.5)) / 34 = 4.9$$

$$K_{Ш} = 1 / 4.9 = 0.2 < 0.32$$

Так як  $K_{Ш} < 0.32$ , деталь по даному показнику є технологічною.

Згідно з результатами кількісного аналізу можемо зробити висновок що деталь є технологічною.

В цілому аналізуючи технологічність деталі «Вал», він має прості поверхні, виконання яких може викликати ускладнення. Проте з урахуванням загального аналізу можемо зробити висновок, що деталь є технологічною хоча має окремі не технологічні характеристики як по точності так і по якості.

Висновок: при аналізі базування деталі, її конструкторських розмірів, виконавчих умов, властивостей матеріалу, можна зробити висновок, що деталь задовольняє умови експлуатації.

### 1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу

Аналіз будемо проводити на основі базового технологічного процесу, за яким, на підприємстві, виготовляють дану деталь.

У цьому технологічному процесі послідовність механічної обробки відповідає загальноприйнятим етапам побудови технологічного процесу. Технологічний процес виготовлення деталі та обладнання операції наведено в таблиці 1.3, а нижче розглянемо його детальніше.

Таблиця 1.3 – Базовий технологічний процес

<b>Базовий Т.П</b>		
<b>№</b>	<b>Наименование</b>	<b>Верстат</b>
005	Заготівельна	
010	Маркувальна	
015	Слюсарна	
020	Контроль ОТК	
025	Токарно-центрувальна	1М63
030	Токарна	1М63
035	Контроль	
040	Розмітка	
045	Свердлильна	2А620Ф1
050	Токарна	1М63
055	Контроль	
060	Токарна полу-чистова	1М63
065	Контроль	

070	Токарна чистова	1М63
075	Контроль	
80	Шліфувальна	3В4230
85	Контроль	
90	Токарна резьбонарізна	1М63
95	Контроль	
100	Розмітка	
105	Фрезерна	6М13П
110	Контроль	
111	Закалка ТВЧ	
115	Шліфувальна	3А172
120	Контроль	
125	Шліфувальна чистова	3А172
130	Контроль	
135	Контроль	
140	Токарна	1М63
145	Контроль	
150	Шліфувальна	3А172
155	Слюсарна	
160	Контроль	

### **005 Заготівельна**

Поковка на молотах розміром 1920\*120 мм

### **010 Маркувальна**

5-Пр3 ГОСТ 26.020-80 (36 знаків)

Техоснастка - Клейма 7858-0054 ВК8-Х1Н12 ГОСТ 25726-83 Клейма 7858-0074 ВК8-Х1Н12 ГОСТ 25726-83 Молоток 7850-0116 ГОСТ 2310-77

### **015 Слюсарна**

Підготовка поверхонь для базування заготовки.

Оснастка – напильник слюсарный,

### **020 Контроль ОТК**

Контроль відповідності заготовки кресленню

Оснастка - Рулетка Р5НЗД ДСТУ 4179-2003, Штангельциркуль ШЦ-ІІ-250-0,1-2 ГОСТ 166-89,

### **025 Токарно-центрувальная**

Верстат 1М63, підрізати торці і зацентрувати с переустановом. 2 отв. Центровальных ГОСТ 14034-74

Техоснастка - Патрон 7103-0049 ГОСТ 3890-82, Центр упорный 7032-0043, Морзе 6 ГОСТ 13214-79, Центр А-1-5-Н ГОСТ 8742-75, Свердло 2317-0044 ГОСТ 14952-75

### **030 Токарна**

Верстат 1М63, виконати обдирку згідно ескізу, Оснастка – прохідний різець, Патрон 7103-0049 ГОСТ 3890-82, Центр упорний 7032-0043, Центр А-1-5-Н ГОСТ 8742-75

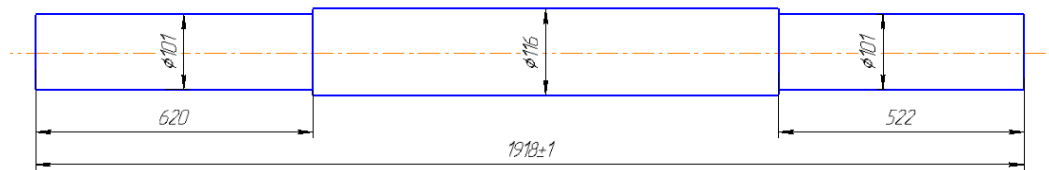


Рис 1.4 Ескіз для операції 030

### 035 Контроль

Контроль оброблених поверхонь.

Оснастка - Штангельциркуль ШЦ-ІІ-250-0,1-2 ГОСТ 166-89

### 040 Размітка

Розмітка для свердління згідно ескізу.

### 045 Свердлильна

Верстат 2А620Ф1 горизонтально розточний

Свердління 4 отворів згідно ескізу, витримати допуск співвісності 0.3 мм, нарізати різі.

Оснастка – свердло центрувальне ГОСТ 14034-74, свердло 4.8 ГОСТ 10902-77, Зенковка 22 ГОСТ 14034, машинний мітчик М5\*0.8 ГОСТ 3266-81

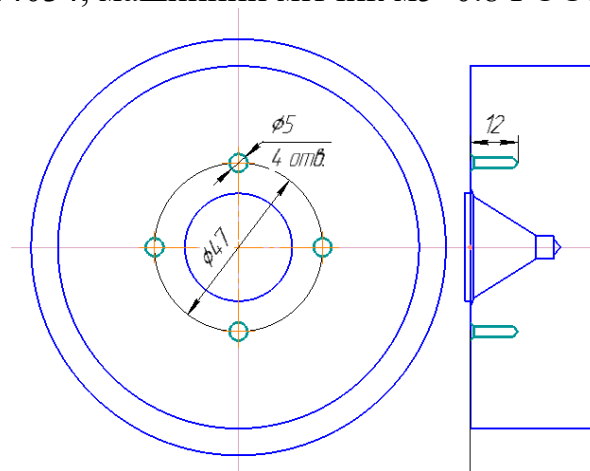


Рис 1.5 Ескіз для операції 045

### 050 Токарна чорнова

Верстат 1М63

Точити вал згідно ескізу.

Оснастка – прохідний різець, Патрон 7103-0049 ГОСТ 3890-82, Центр упорний 7032-0043, Центр А-1-5-Н ГОСТ 8742-75

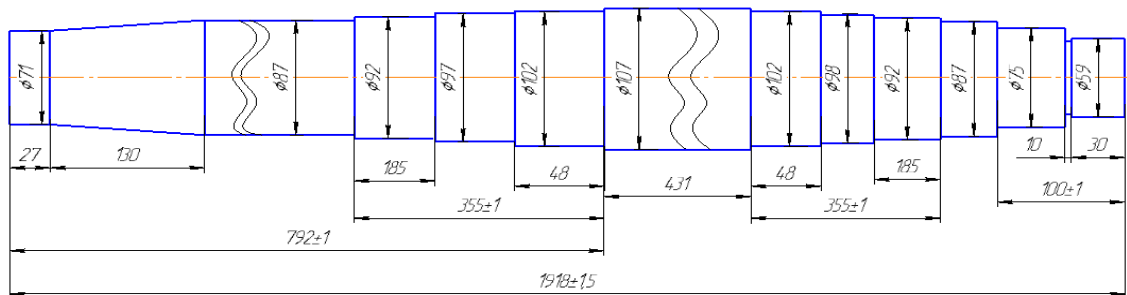


Рис 1.6 Ескіз для операції 050

**055 Контроль**

Контроль оброблених поверхонь.

Оснастка - Штангельциркуль ШЦ-II-250-0,1-2 ГОСТ 166-89

**060 Токарна напів-чистова**

Верстат 1М63

Точити вал згідно ескізу.

Оснастка – прохідной різець, Патрон 7103-0049 ГОСТ 3890-82, Центр упорний 7032-0043, Центр А-1-5-Н ГОСТ 8742-75

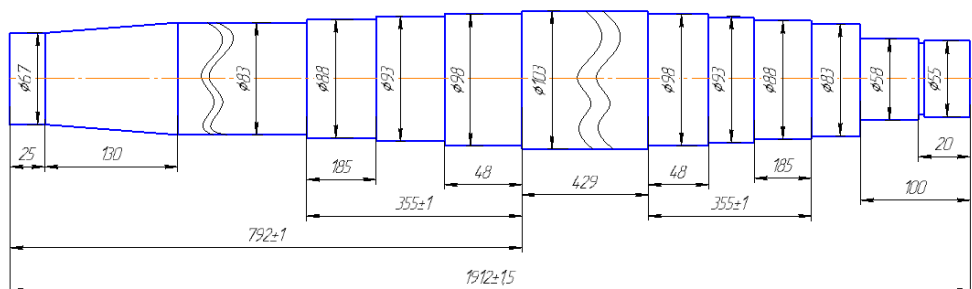


Рис 1.7 Ескіз для операції 060

**065 Контроль**

Контроль оброблених поверхонь.

Оснастка - Штангельциркуль ШЦ-II-250-0,1-2 ГОСТ 166-89

**070 Токарна чистова**

Верстат 1М63

Точити вал згідно ескізу.

Оснастка – прохідной різець, Патрон 7103-0049 ГОСТ 3890-82, Центр упорний 7032-0043, Центр А-1-5-Н ГОСТ 8742-75



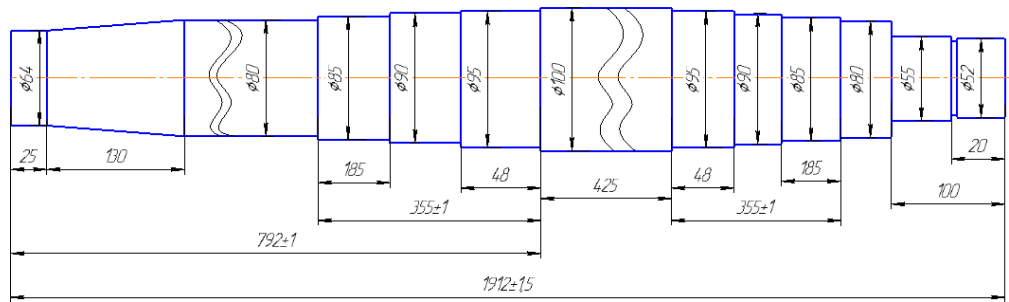


Рис 1.8 Ескіз для операції 070

**075 Контроль**

Проконтролювати оброблені начисто поверхні та розмір 80h11 конусним калібром.

Оснастка – Калібр конусний 80h11, Штангельциркуль ШЦ-ІІ-250-0,1-2 ГОСТ 166-89

**080 Шлифувальна**

Верстат 3В4230

Шліфувати посадочні місця з припуском 0.6-0.1 мм

**085 Контроль**

Проконтролювати посадочні шийки валу після обробки.

Оснастка – Мікрометр 75-100 ГОСТ 6507-90

**090 Токарная резьбонарезная**

Верстат 1М63

Нарізати різі М62Х2-8g, М85х2-8g, М95х2-8g, М95х2 Н-8g, М85х2 Н-8g, m52x1,5 Н-8g

Оснастка – різьбовий різець, Патрон 7103-0049 ГОСТ 3890-82, Центр упорний 7032-0043, Центр А-1-5-Н ГОСТ 8742-75

**095 Контроль**

Проконтролювати нарізані різі

Оснастка – кільця різьбові М62Х2-8g СТП 875.77.00.42, М85х2-8g, М85х2 Н-8g СТП 875.77.00.47, М95х2-8g, М95х2 Н-8g 875.77.00.47, m52x1,5 Н-8g. 875.77.00.15

**100 Розмітка**

Розмітити шпонкові пази.

**105 Фрезерна**

Верстат 6М13П

Фрезерувати шпонкові пази з урахуванням припуску під шліфування.

Оснастка – Фрези шпонкові d10 СТП 826.00.00.06 d20 СТП 826.00.00.14

8N9 СТП 826.00.00.05, 28N9 СТП 826.01.00.06, d6 СТП 826.00.00.04

**110 Контроль**

Перевірити симетричність та паралельність шпонкових пазів згідно вимогам креслення.

Оснастка – калібри для контролю пазів d10 СТП 992-79-02 d20 СТП 992-79-04 8N9 СТП 992-79-02, 28N9 СТП 992-79-05, d6 СТП 992-79-08

**111 Закалка ТВЧ**

Закалка ТВЧ шийок вала d80d8

### **115 Шлифувальна**

Верстат 3A172

Шліфувати посадочні місця з припуском 0.3, під чистове шліфування.

Оснастка Центр упорний 7032-0036 МОРЗЕ 5 ГОСТ 13214-79, Люнет нерухомий

### **120 Контроль**

Проконтролювати оброблені поверхні, переконатися що залишився припуск під кінцеве шліфування.

Оснастка – Мікрометр 75-100 ГОСТ 6507-90

### **125 Шліфувальна чистова**

Верстат 3A172

Шліфувати посадочні шийки начисто, згідно вимог креслення

Оснастка Центр упорний 7032-0036 МОРЗЕ 5 ГОСТ 13214-79 Люнет нерухомий

### **130 Контроль**

Проконтролювати шийки валу d80h11, d80h6, d85h6, d95h8, d100h6, d100k6, d55h6.

Калібр скоби d80h11, d80h6 СТП 962.79.08, d85h6, d95h8, d100h6, d100k6 СТП 962.79.09, d55h6 СТП 962,79,06.

### **135 Контроль**

Перевірити биття шийок вала відносно центрів, d55h6., d80d8, - 2 місця, конуснаа поверхня d80h11 – допск 0,02 мм, d80h6 – 2 місця, d85h6 – 2 місця, d95h8 – 2 місця, d100h6 – 2 місця, d100k6 – допуск 0,03 мм. Биття торців відносно осі центрів d85h6 и d90 – 2 місця, допуск 0,03, d80d8 и d54 допуск 0,02, Биття торців d100 и d 94 – 2 місця, допуск 0,04 забезпечується технологічно, биття d30h6 має допуск 0,03 і забезпечується технологічно.

Оснастка – індикатор 2ИЧ ГОСТ 0606-82

### **140 Токарна**

Верстат 1М63

Точіння торців, канавок, фасок

Оснастка - Різець прохідний, різець канавочний спеціальний, Патрон 7103-0049 ГОСТ 3890-82, Центр упорний 7032-0043, Центр А-1-5-Н ГОСТ 8742-75

### **145 Контроль**

Проконтролювати відсутність зазубрин, гострих кромки, раковин.

### **150 Шліфувальна**

Верстат 3A172

Полірувати шийки вала d80d8 – 2 місця, згідно з кресленням

Оснастка Центр упорний 7032-0036 МОРЗЕ 5 ГОСТ 13214-79 Люнет нерухомий

### **155 Слесарная**

Гострі кромки заокруглити

### **160 Контроль**

Контроль перед збиранням виробу

## **1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі**

У базовому технологічному процесі є ряд недоліків. Згідно ГОСТ3.1129-93 для заповнення карт технологічного процесу вказується повна назва операції. На операціях базового процесу не вказані пристрої та устаткування які використовуються на операціях. Відсутні номери цеху, дільниць та робочих місць, невказані коди операцій, обладнання, пристроїв та інструментів. Взагалі про заготовку у базовому технологічному процесі окрім виду та профілю нічого не вказано. Відсутні режими різання та карти ескізів. Пристрої та устаткування – застарілі, неекономічні та низькопродуктивні. Деякі верстати можна замінити на верстати з ЧПК, або більш продуктивні оброблючі центри . Замість ручного закріплення заготовки, доцільніше використовувати механізоване устаткування. Щодо базування деталі, то можна сказати, що деталь має постійні базові поверхні – торці та зовнішні поверхні, тому може оброблятися у стандартних пристроях, без застосування спеціальних.

Отже, в ході виконання курсового проекту потрібно виконати наступні завдання:

- Обрати заготовку та метод її отримання, який буде відповідати типу виробництва та буде максимально економічно вигідним.
- Оптимізувати технологічний процес виготовлення деталі, обрати доцільний маршрут обробки деталі;
- Правильно оформити карти технологічного процесу;
- Замінити застаріле обладнання та ріжучий інструмент;
- Розрахувати режими різання та норми часу;
- Згідно типу виробництва розробити верстатний пристрій, який дозволить зменшити похибку базування деталі, підвищити продуктивність роботи та зменшити час на встановлення та зняття заготовки.

## РОЗДІЛ 2

### УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі.

Вихідними даними для виконання цього етапу є знання про типові маршрути обробки поверхонь, та сучасні верстати для виконання різних операцій.

У багатьох випадках операції виконуються на застарілому обладнанні, яке хоч і дає можливість обробки деталі з необхідними допусками, але займає достатньо часу. За для зменшення часу виготовлення деталі, та підвищення продуктивності виробництва, можна використовувати новітні верстати та оброблюючі центри, які іноді компонують в собі, та дають змогу виконати 2 та більше операцій, не знімаючи деталь з верстата. Наприклад верстат Doosan Puma 800M, має можливість токарної та фрезерної обробки деталей. Відносно нашого технологічного процесу, це дає можливість об'єднати в собі Токарну чистову 090, та Фрезерну 125 операції, що відчутно зменшує час виготовлення деталі. Таким же чином, шліфувальний верстат 3A172 буде замінено на сучасний шліфувальний верстат з ЧПК RSM 2000.

Також при проектуванні маршрутного технологічного процесу необхідно врахувати:

- технологічні процеси рекомендується проектувати згідно з принципом поетапності, тобто необхідно забезпечити виконання чорнових, а потім чистових способів обробки;

- в першу чергу обробляють бази для наступних операцій потім обробляють поверхні з найбільшим припуском і напуском, так як використовуються форсовані режими різання, а отже і будуть великі сили різання;

- обробка поверхонь, в яких можуть бути виявлені дефекти заготовки;

- найбільш точні поверхні обробляються в останню чергу.

## 2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

Від методу виготовлення заготовки залежать техніко-економічні показники ТП виготовлення деталі. Трудомісткість і собівартість заготовки повинні бути як умога меншими для більшої рентабельності деталі. Заготовка повинна мати форму, що дозволяє вести обробку з мінімальною кількістю установів, ріжучого інструменту та оснастки. Заготовка не повинна мати тріщин, рихлостей, раковин або сильно виражених дефектів форми.

На метод отримання заготовки впливають матеріал деталі, його призначення та технічні вимоги до виготовлення, обсяг випуску, конфігурація, форма поверхні та її розміри.

В базовому варіанті заготовку отримували прокатом. В проектованому варіанті, виходячи з конфігурації заданої деталі, технічних вимог до неї та габаритів, пропонується метод ГKM.

Вид заготовки встановлюється на основі перелічених даних, а також техніко-економічного порівняння декількох варіантів.

Аналіз економічності заготовки.

Собівартість заготовок з прокату розраховується за формулою:

$$S_{\text{заг}} = M + \sum C_{\text{о.з.}}, \quad (2.1)$$

де  $M$  – витрати на матеріал заготовки, грн;

$\sum C_{\text{о.з.}}$  – технологічна собівартість операції правки, калібрування прутків, розрізання їх на штучні заготовки

$$C_{\text{о.з.}} = \frac{C_{\text{п.з.}} \cdot T_{\text{шт}}}{60 \cdot 100}, \quad (2.2)$$

де  $C_{\text{п.з.}}=3050$  – приведені затрати на робочому місці, грн./год.;

$T_{\text{шт}}=7,9$  – штучний час виконання заготівельної операції, хв.

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \frac{S_{\text{отх}}}{1000} \quad (2.3)$$

де  $Q = 176$  – маса заготовки (розраховується за габаритами заготовки заводського варіанта – прокат діаметром 120 мм та довжиною 2000 мм та за густиною матеріалу заготовки,  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>), кг;

$q = 88$  – маса готової деталі, кг;

$S_{отх} = 0,9$  – ціна 1 тони відходів, грн.;

$S = 17$  – ціна 1 кг матеріалу заготовки, грн

$$M = 17623,2 - (176 - 88) \frac{900}{1000} = 17544 \text{ грн.}$$

$$C_{о.з.} = \frac{3050 \cdot 7,9}{60 \cdot 100} = 4,01 \text{ грн.}$$

$$S_{заг} = 17544 + 4,01 = 17548 \text{ грн.}$$

Собівартість заготовок, отриманих ковкою на молотах розраховується за формулою:

$$S_{заг} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_v \cdot K_M \cdot K_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{отх}}{1000}, \quad (2.4)$$

де  $C_i = 15600$  – базова вартість однієї тони заготовок, грн/т;

$K_m$  – коефіцієнт, який залежить від класу точності заготовки;

$K_c$  – коефіцієнт, який залежить від групи складності заготовки;

$K_v$  – коефіцієнт, який залежить від маси заготовки;

$K_M$  – коефіцієнт, який залежить від марки матеріалу;

$K_n$  – коефіцієнт, який залежить від обсягу виробництва;

$Q$  – маса заготовки;

$q$  – маса деталі;

$S_{отх}$  – вартість однієї тони відходів, грн.

Для заготовки, отриманої ковкою на молотах:

$C_i = 15600$  грн/т;

$K_m = 1$  [3, с.37];

$K_c = 1,1$  [3, табл.2.12, с.38];

$$K_v = 0,98 \text{ [3, табл.2.12, с.38];}$$

$$K_m = 1,22 \text{ [3, с.37];}$$

$$K_n = 0,95 \text{ [3, табл.2.13, с.38];}$$

$$Q = 133 \text{ кг (виходячи з габаритних розмірів, } \rho = 7,8 \text{ г/см}^3\text{);}$$

$$q = 88 \text{ кг;}$$

$$S_{omx} = 900 \text{ грн/т.}$$

Вартість заготовки, отриманої ковкою на молотах:

$$S_{заг} = \left( \frac{15600}{1000} \cdot 133 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,98 \cdot 1,22 \cdot 0,95 \right) - (133 - 88) \cdot \frac{900}{1000} = 3494,4 \text{ грн}$$

$$S_{заг} = 3494,4 \text{ грн}$$

Так як вартість заготовки, отриманої ковкою на молотах значно менше вартості заготовки, отриманої покатою (3494,4 проти 17548), то в якості способу отримання заготовки для даної деталі приймаємо ковку.

Економічний ефект розраховують за формулою

$$E_f = (S_{2заг} - S_{1заг})N, \text{ грн}$$

(2.5)

де  $N$  – річний обсяг випуску, шт

$$E_f = (3494,4 - 17548) \cdot 2000 = 28107200 \text{ грн}$$

Для остаточно обраної заготовки, у відповідності зі стандартом ГОСТ 7829-70 «Поковки з вуглецевих і легированих сталей, що отримують ковкою на молотах» призначаємо припуски на всі поверхні і визначаємо розміри заготовки.

Припуски та граничні відхилення для поковок вибираємо у відповідності з рисунком 2.1 і таблицею 2.1 [4]:

Таблиця 2.1 – Припуски та граничні відхилення для поковок

Розмір деталі	Чистота поверхні	Основний припуск	Додатковий припуск	Загальний припуск	Розрахунковий розмір заготовки	Приймай розмір заготовки	Фактичний припуск
D100	12,5	3,5	0,5	4	108	108	8,0
L1912	6,3	4,5	0,5	5	1917	1917	5,0

Зміщення по поверхні рознімання штампа – 0,3 мм.

Зігнутість і відхилення від площинності і прямолінійності – 0,5 мм.

Вигляд заготовки зображений на рисунку 2.1.

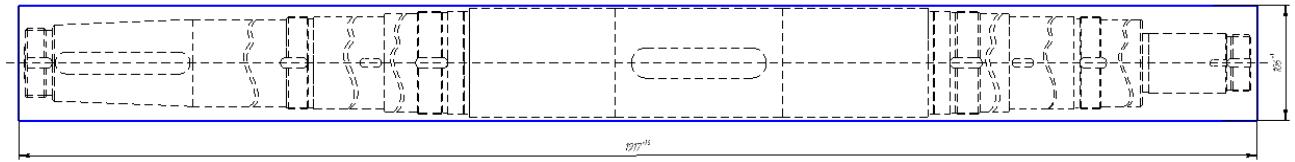


Рисунок 2.1 – Вигляд заготовки, що отримується ковкою на молотах

Технічні вимоги до заготовки:

- Спосіб отримання: вільне кування на молотах;
- НВ 180...200;
- Група складності: II;
- Припуски на розміри за ГОСТ 7829-70

### 2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Обераємо поверхню для розрахунку припуску перевіряючи запас металу для забезпечення точності та якості поверхні d100k6.

6.1.1. Метод одержання заготовки - поковка штампована

6.1.2. Призначення маршруту обробки.

А) Чорнова;

Б) Напів чистова;

В) Чистова;

Г) Обробна (шліфування).

6.1.3. Обробка поверхонь ведеться на токарному верстаті з ЧПК моделі Doosan Puma XL800.

6.1.4.

$$2Z = 2(Rz_{i-1} + T_{i+1} + \sqrt{P_{i-1}^2 + M_{yi}^2})$$

(2.6)



Rz- висота мікронерівностей

m- похибки установки

T- глибина дефектного шару поверхні

P- просторове відхилення форми

-попередній перехід

i-виконуваний перехід

Табл. 2.2 - стадії обробки та допуски.

Заготовка	h15	<b>+0</b>
		<b>-14</b>
Чорнова	h14	<b>0</b>
		<b>-0.87</b>
Н/чистова	h12	<b>0</b>
		<b>-0.35</b>
Чистова	h9	<b>0</b>
		<b>-0.087</b>
Обробна	k6	<b>-0.003</b>
		<b>-0.025</b>

Висота мікронерівностей Rz і глибина дефектного шару h

вибираються за таблицями:

- Для заготовки: Rz =200 мкм; h =250 мкм;

- По переходах:

а) чорнове точіння: Rz = 50 мкм; h = 50 мкм;

б) напівчистове точіння: Rz = 35 мкм; h = 35 мкм;

г) чистове точіння: Rz = 25 мкм; h = 25 мкм;

в) оздоблювальне шліфування: Rz = 5 мкм; h = 5 мкм

Сумарне значення просторових відхилень форми заготовки при обробці в патроні валу визначається за формулою:

$$P = P_1 + P_2$$

(2.7)

$$P = 1.4 + 1.1 = 1780 \text{ мкм}$$

Величина залишкового сумарного значення просторових відхилень форми

заготовки після виконання переходу (операції) визначається за формулою:

$$P=P \cdot K$$

(2.8)

Коефіцієнт уточнення:

- Для чорнового точіння:  $K_u = 0,06$ ;
- Для напівчистового точіння:  $K_u = 0,05$ ;
- Для чистового точіння:  $K_u = 0,04$ .

Тоді сумарні значення просторових відхилень форми по переходах рівні:

$$P=0.06 \cdot 1780=106.8 \text{ мкм}$$

$$P=0.05 \cdot 1780=89 \text{ мкм}$$

$$P=0.04 \cdot 1780=71.2 \text{ мкм}$$

Необхідне положення заготовки в робочій зоні верстата досягається в процесі її встановлення. Процес установки містить базування і закріплення

Відхилення у положенні заготовки, що виникає при базуванні, а при закріпленні

-називається похибкою закріплення

При більш точних розрахунках точності обробки, похибку, можна визначити за таблицями

- Для чорнового точіння:  $m = 0 \text{ мкм}$ ;
- Для напівчистового точіння:  $m = 0 \text{ мкм}$ ;
- Для чистового точіння:  $m = 0 \text{ мкм}$ .

$$2Z_{\text{чор}}=2(200+250+ 1780+ 0)=4.460 \text{ мм}$$

$$2Z_{\text{п/ч}}=2(50+50+ 106+ 0)=0.412 \text{ мм}$$

$$2Z_{\text{ч}}=2(35+35+ 89+ 0)=0.318 \text{ мм}$$

$$2Z_{\text{обр}}=2(25+25+ 71.2+ 0)=0.242 \text{ мм}$$

Допуск заготовки  $T_{\text{дзаг}}$  визначений в п.4 и дорівнює  $T_{\text{дзаг}}=1.4$  ( $e_s=+0 \text{ мм}$ ;  $e_i=-1.4 \text{ мм}$ ).

Допуски по переходам:

- для чорнового точіння:  $T_{\text{дчорн}}=0,87 \text{ мм}$  ( $e_s=0 \text{ мм}$ ;  $e_i=-0,87$ );
- для напівчистового точіння:  $T_{\text{дп/ч}}=0,35 \text{ мм}$  ( $e_s=0 \text{ мм}$ ;  $e_i=-0,35$ );

- для чистового точіння:  $T_{d\text{чист}}=0,087$  мм ( $es=0$  мм;  $ei=-0,087$ );

- для оздоблювального шліфування:  $T_{d\text{озд}}=0,028$  мм ( $es=-0,025$  мм;  $ei=-0,003$ );

Розміри валу після шліфування оздоблювального визначаються за формулами:

$$d_{\text{min озд}} = d_{\text{ном озд}} + ei_{\text{озд}}, \quad (2.9)$$

$$d_{\text{min озд}} = 100 + 0,003 = 100,003 \text{ мм},$$

$$d_{\text{max озд}} = d_{\text{ном озд}} + es_{\text{озд}}, \quad (2.10)$$

$$d_{\text{max озд}} = 100 + 0,025 = 100,025 \text{ мм}.$$

Максимальний припуск на шліфування оздоблювальне визначається за формулою:

$$2Z_{\text{max озд}} = T_{d\text{озд}} + 2Z_{\text{min озд}}, \quad (2.11)$$

$$2Z_{\text{max озд}} = 0,028 + 0,242 = 0,27 \text{ мм}.$$

Розміри валу після точіння чистового визначаються за формулами:

$$d_{\text{min чист}} = d_{\text{max озд}} + 2Z_{\text{min озд}}, \quad (2.12)$$

$$d_{\text{min чист}} = 100,025 + 0,242 = 100,267 \text{ мм}.$$

$$d_{\text{ном чист}} = d_{\text{max чист}} = d_{\text{min чист}} + T_{d\text{чист}} \quad (2.13)$$

$$d_{\text{ном чист}} = d_{\text{max чист}} = 100,267 + 0,087 = 100,354 \text{ мм}.$$

Максимальний припуск на точіння чистове визначається за формулою:

$$2Z_{\text{max чист}} = T_{d\text{чист}} + T_{d\text{н/ч}} + 2Z_{\text{min чист}}, \quad (2.14)$$

$$2Z_{\text{max чист}} = 0,087 + 0,35 + 0,318 = 0,755 \text{ мм}.$$

Розміри валу після точіння напівчистового визначаються за формулами:

$$d_{\text{min н/ч}} = d_{\text{ном чист}} + 2Z_{\text{min чист}}, \quad (2.15)$$

$$d_{\text{min н/ч}} = 100,354 + 0,318 = 100,672 \text{ мм}.$$

$$d_{\text{ном н/ч}} = d_{\text{max н/ч}} = d_{\text{min чист}} + T_{d\text{н/ч}}$$

(2.16)

$$d_{\text{ном н/ч}} = d_{\text{мак н/ч}} = 100.672 + 0,35 = 101.022$$

Максимальний припуск на точіння напівчистове визначається за формулою:

$$2Z_{\text{мак чист}} = T_{d_{\text{н/ч}}} + T_{d_{\text{чорн}}} + 2Z_{\text{мін н/ч}} \quad (2.17)$$

$$2Z_{\text{мак н/ч}} = 0,35 + 0.87 + 0,412 = 1.632 \text{ мм.}$$

Максимальний припуск на точіння чорнове визначається за формулою:

$$d_{\text{мін чорн}} = d_{\text{ном н/ч}} + 2Z_{\text{мін н/ч}}, \quad (2.18)$$

$$d_{\text{мін чорн}} = 101.022 + 0,412 = 101.434 \text{ мм,}$$

$$d_{\text{ном чорн}} = d_{\text{мак чорн}} = d_{\text{мін чорн}} + T_{d_{\text{чорн}}}, \quad (2.19)$$

$$d_{\text{ном чорн}} = d_{\text{мак чорн}} = 101.434 + 0.87 = 102.304 \text{ мм.}$$

Максимальний припуск на точіння чорнове визначаються за формулою:

$$2Z_{\text{мак чорн}} = T_{d_{\text{чорн}}} + T_{d_{\text{заг}}} + 2Z_{\text{мін чорн}}, \quad (2.20)$$

$$2Z_{\text{мак чорн}} = 0.87 + 1.4 + 4.460 = 6.730 \text{ мм.}$$

Розміри валу заготовки визначаються за формулами:

$$d_{\text{мін заг}} = d_{\text{ном чорн}} + 2Z_{\text{мін чорн}}, \quad (2.21)$$

$$d_{\text{мін заг}} = 102.304 + 4.460 = 106,764 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{ном заг}} = d_{\text{мін заг}} + e_{\text{заг}}, \quad (2.22)$$

$$d_{\text{ном заг}} = 106,764 + 1,4 = 108.164 \text{ мм,}$$

$$d_{\text{мак заг}} = d_{\text{ном заг}} + e_{\text{сзаг}}, \quad (2.23)$$

$$d_{\text{мак заг}} = 108.164 + 0 = 108.164 \text{ мм.}$$

Розраховані значення максимальних припусків і проміжних розмірів зводяться до таблиці 6.2

Розрахунок загального мінімального і максимального припуску на обробку

поверхні проводиться за формулою:

$$2Z_{\text{заг min}} = m2Z_{\text{min}} \quad (2.24)$$

де  $m2Z_{\text{min}}$  - сума мінімальних міжопераційних припусків, мм

$$2Z_{\text{заг min}} = 4,460 + 0,318 + 0,413 + 0,242 = 5,433$$

$$2Z_{\text{заг max}} = m2Z_{\text{max}} \quad (2.25)$$

де  $m2Z_{\text{max}}$  - сума максимальних міжопераційних припусків, мм

$$2Z_{\text{заг max}} = 6,730 + 1,632 + 0,755 + 0,27 = 9,359 \text{ мм}$$

Таблиця 2.3 - Вихідні та розрахункові дані на заданий розмір

3 Стадії	Rz	T(h)	p		2Zmin	2Zmax	dmin	dnom	dmax
Заготовка	200	250	1780	-	5,433	9,359	106.764	108.164	108.164
Чорнова	50	50	106	0	4,460	6,730	101.434	102.304	102.304
Н/ч	35	35	89	0	0,413	1,633	100.672	101.022	101.022
Чистова	25	71,2	0	0,318	0,755	100.267	100.354	100.354	
Обробна	5	5	-	-	0,242	0,27	100.003	100	100.025

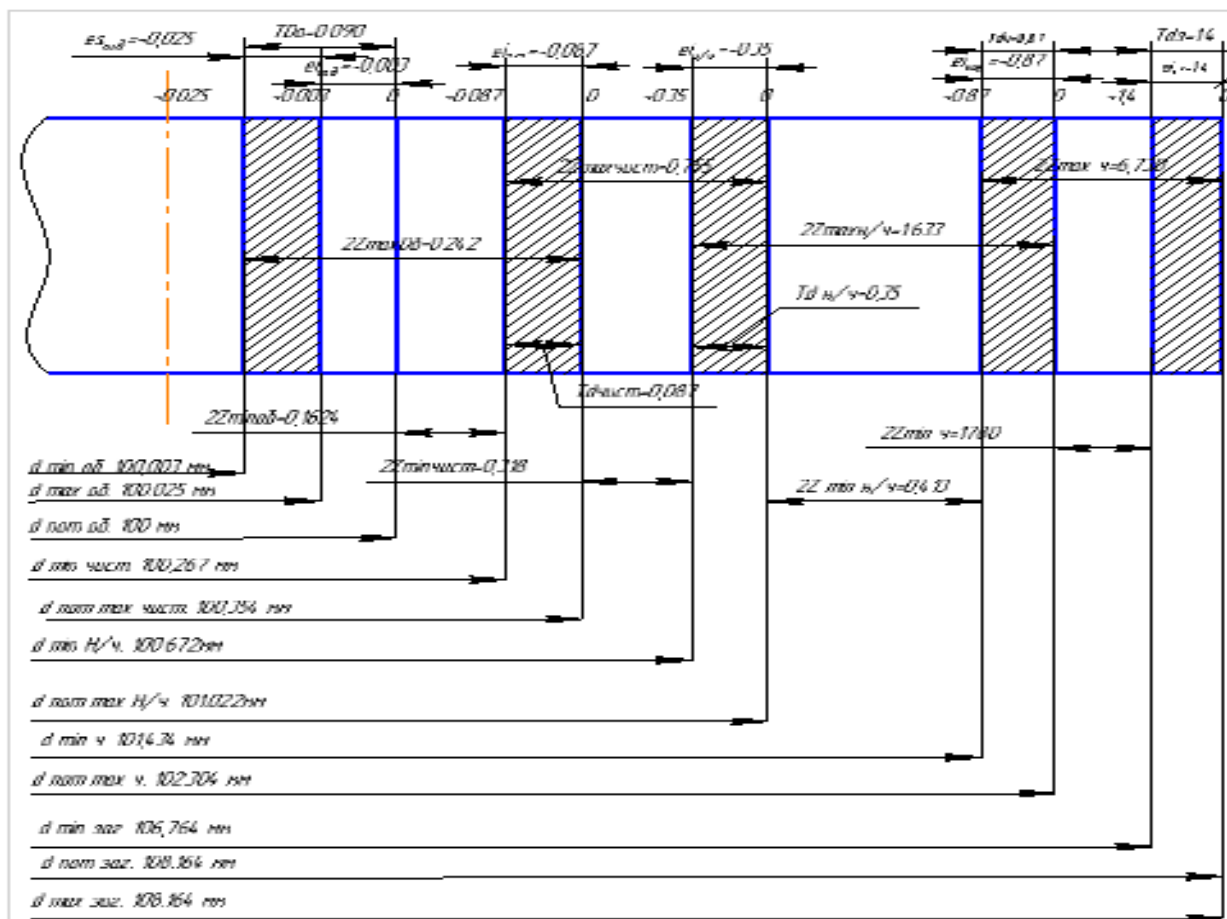


Рис 2.2 Таблиця розрахованих припусків

## 2.4 Аналіз та обґрунтування схем базування і закріплення

Для розгляду цього питання в якості технологічної операції була прийнята операція – 150 Кругло-шліфувальна із існуючого технологічного процесу. На даній операції на кругло-шліфувальному верстаті 3А172 обробляються поверхні, виділені на рисунку 2.3.

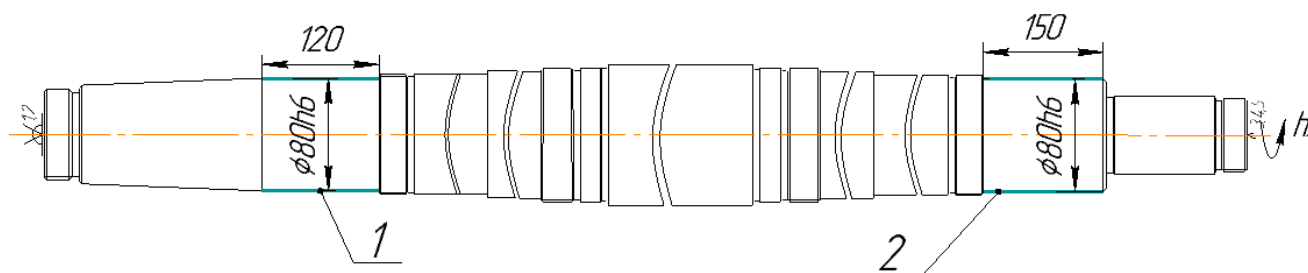


Рис 2.3 Оброблювані поверхні на операції 150.

Проаналізувавши поверхні, обирається спосіб базування в центрах, тому що відсутні інші альтернативні рішення. Зазначені поверхні є доступними, не заважають доступу ріжучого інструменту до оброблюваних поверхонь, забезпечують обробку деталі на інших операціях без зміни баз (принцип постійності баз).

На даній операції заготовка позбавляється 5 ступенів вільності. При цьому виникають дві бази:

- подвійна направляюча – лівий і правий центровий отвір, позбавляють деталь 4-х ступенів вільності: переміщення вздовж осей X і Y і обертань навколо осей X і Y;
- опорна – торець уступу, позбавляє деталь одного ступеня вільності: переміщення вздовж осі Z.

Обрані бази використовуються на інших операціях, тобто досягається принцип постійності баз.

Таблиця 2.4 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування баз
1, 2, 3, 4	I, III, IV, VI	ПНБ
5	II	ОБ
6	V	

Таблиця 2.5 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування баз
l	1	1	0	ПНБ
$\alpha$	1	1	0	
l	0	0	1	ОБ
$\alpha$	0	0	0	
l	0	0	0	
$\alpha$	0	0	0	
$\Sigma$	2	2	1	5 ступенів

Також розберемо операцію - 090 Токарна з ЧПК із запропонованого технологічного процесу. На даній операції обробляються поверхні, виділені на рисунку 2.4.

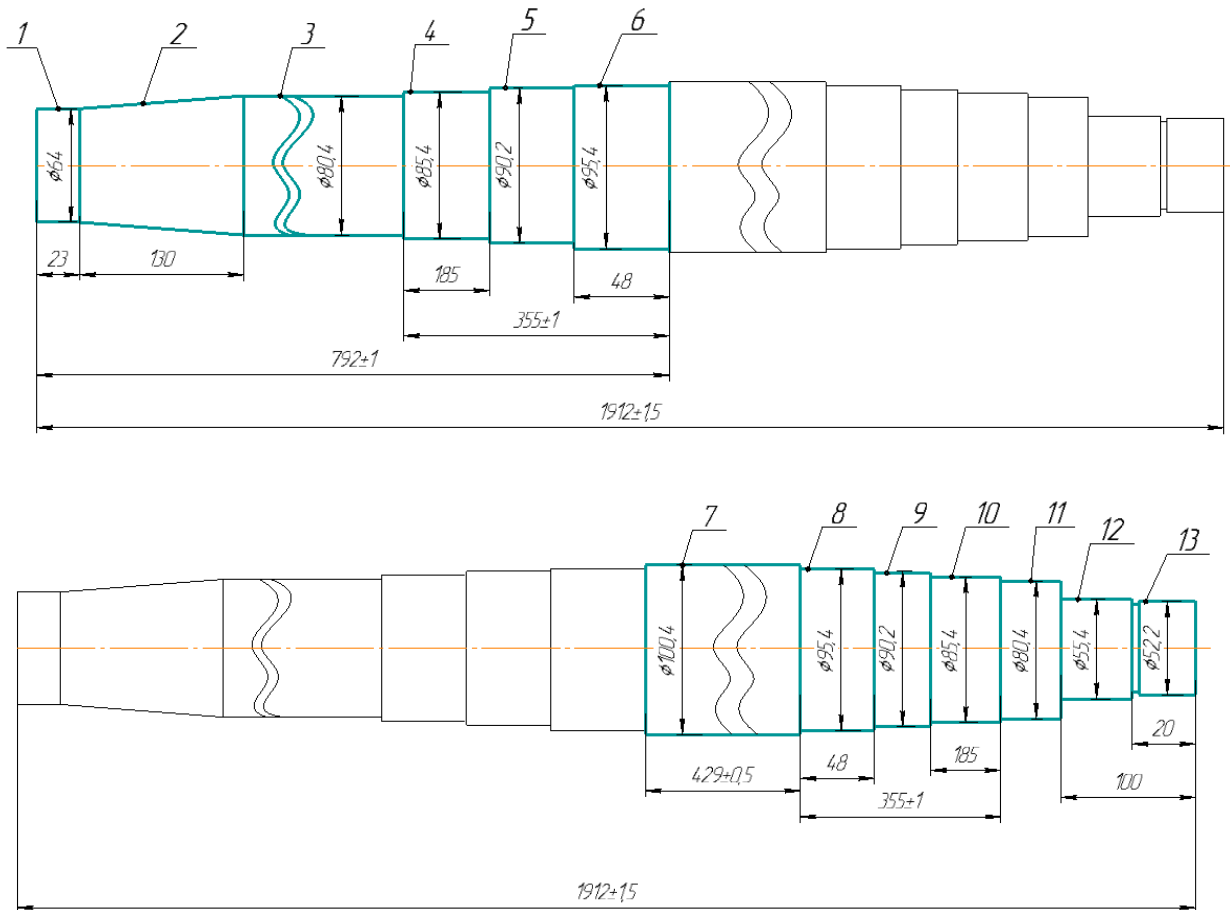


Рис. 2.4 оброблені поверхні на операції 090.

Проаналізувавши поверхні, обирається спосіб базування в центрах, тому що відсутні інші альтернативні рішення. Зазначені поверхні є доступними, не заважають доступу ріжучого інструменту до оброблюваних поверхонь, забезпечують обробку деталі на інших операціях без зміни баз (принцип постійності баз).

На даній операції заготовка позбавляється 5 ступенів вільності. При цьому виникають дві бази:

- подвійна направляюча – лівий і правий центровий отвір, позбавляють деталь 4-х ступенів вільності: переміщення вздовж осей X і Y і обертань навколо осей X і Y;
- опорна – торець уступу, позбавляє деталь одного ступеня вільності: переміщення вздовж осі Z.

Обрані бази використовуються на інших операціях, тобто досягається принцип постійності баз.

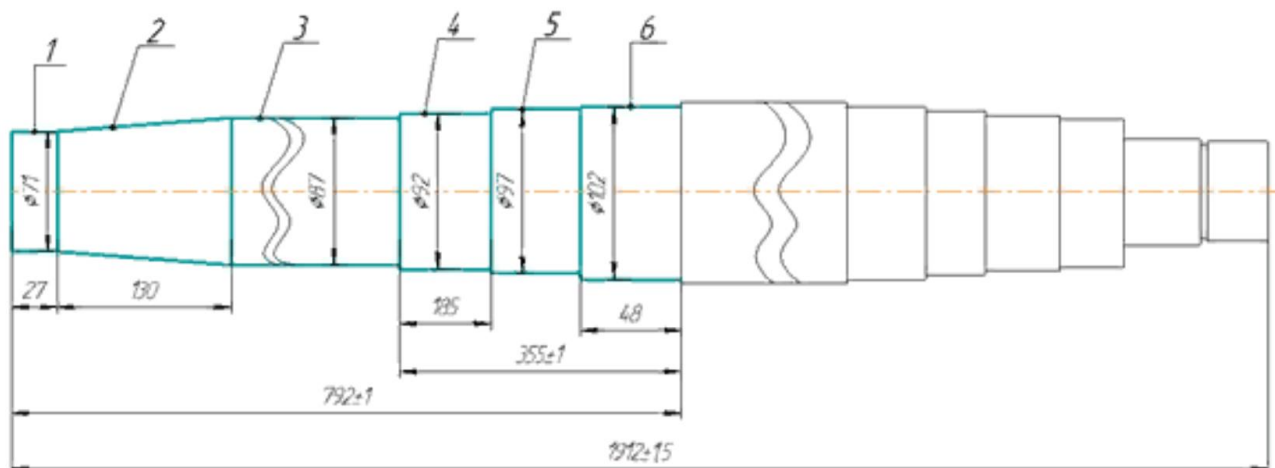
Таблиця 2.6 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Степені вільності	Найменування баз
1, 2, 3, 4	I, III, IV, VI	ПНБ
5	II	ОБ
6	V	

Таблиця 2.7 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування баз
1	1	1	0	ПНБ
$\alpha$	1	1	0	
1	0	0	1	ОБ
$\alpha$	0	0	0	
1	0	0	0	
$\alpha$	0	0	0	
$\Sigma$	2	2	1	5 ступенів

Третьою розберемо операцію - 075 Токарна з ЧПК із запропонованого технологічного процесу. На даній операції начорно обробляються поверхні, виділені на рисунку 2.5.





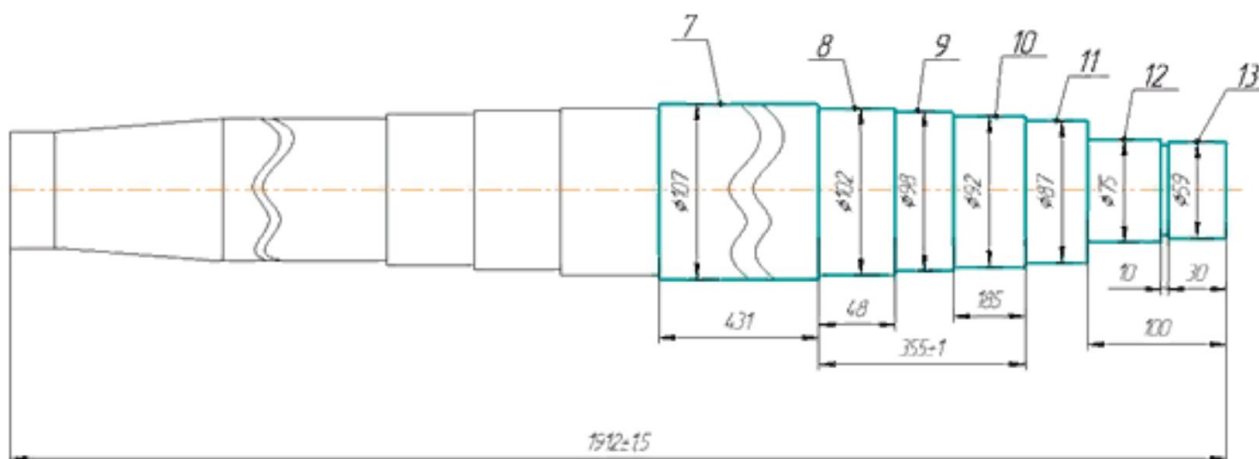


Рис. 2.5 оброблювані поверхні на операції 075.

Проаналізувавши поверхні, також обираємо спосіб базування в центрах, так як і на раніше розглянутій операції 090. Зазначені поверхні легко оброблюваними, не заважають доступу ріжучого інструменту до оброблюваних поверхонь, забезпечують обробку деталі на інших операціях без зміни баз (принцип постійності баз).

На даній операції заготовка позбавляється 5 ступенів вільності. При цьому виникають дві бази:

- подвійна направляюча – лівий і правий центровий отвір, позбавляють деталь 4-х ступенів вільності: переміщення вздовж осей X і Y і обертань навколо осей X і Y;
- опорна – торець уступу, позбавляє деталь одного ступеня вільності: переміщення вздовж осі Z.

Обрані бази використовуються на інших операціях, тобто досягається принцип постійності баз.

Таблиця 2.8– Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування баз
1, 2, 3, 4	I, III, IV, VI	ПНБ
5	II	ОБ
6	V	

Таблиця 2.9– Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування баз
1	1	1	0	ПНБ
$\alpha$	1	1	0	
1	0	0	1	ОБ
$\alpha$	0	0	0	
1	0	0	0	
$\alpha$	0	0	0	
$\Sigma$	2	2	1	5 ступенів

## 2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Для виконання операції 150 Кругло-шліфувальна вибираємо кругло-шліфувальний верстат 3A172.

При виборі даного обладнання з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції (на операції проводиться шліфування зовнішніх циліндричних поверхонь) прийшли до висновку, що даний верстат цілком придатний для здійснення заданої операції. Технічна характеристика верстата приведена в таблиці 2.10.

Табл 2.10 Основні характеристики верстату 3A172

Клас точности станка по ГОСТ 8-82	П
Найбільший діаметр виробу над станиною, мм	560
Найбільша довжина випобу мм	4000
Довжина шліфування, мм	3500
Межі частот обертання шпинделя, об/хв	368-891
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	40
Габаритні розміри верстата, мм	11750x3700x1850
Маса, кг	23400

Проаналізувавши технічні характеристики верстата на операції 150 кругло-шліфувальна, будемо використовувати верстат 3A172 тому що його технічні характеристики та технологічні можливості повністю забезпечують безперешкодну обробку деталі.

Для виконання операції 090 Токарна з ЧПК вибираємо токарний верстат з ЧПК DOOSAN PUMA 800M Система ЧПК: «FanuK».

При виборі даного обладнання з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції (на операції проводиться точіння зовнішніх циліндричних поверхонь) прийшли до висновку, що даний верстат цілком придатний для здійснення заданої операції. Технічна характеристика верстата приведена в таблиці 2.11

Табл. 2.11 Основні характеристики верстату DOOSAN PUMA 800M

Найбільший діаметр виробу над станиною, мм	900
Найбільший хід супортів, мм	
Поздовжній	950
поперечний	210
Кількість керованих/одночасно керованих координат	2/2
Дискретність завдання переміщення, мм	
в поздовжній осі	0,01
в поперечної осі	0,005
Межі частот обертання шпинделя, об/хв	1500
Межі швидкостей робочих подач, мм/хв	
поздовжніх	2800
поперечних	550
Кількість позицій інструментальної головки	6,8,12
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	21
Габаритні розміри верстата, мм	7210x2260x2650
Маса, кг	16000

Проаналізувавши технічні характеристики верстата на операції 090 токарна з ЧПК, будемо використовувати верстат DOOSAN PUMA 800M тому що його технічні характеристики та технологічні можливості повністю забезпечують безперешкодну обробку деталі.

Для виконання операції 075 Токарна з ЧПК вибираємо токарний верстат з ЧПК 1M63f1 з системою ЧПК «НЦ-31».

При виборі даного обладнання з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції (на операції проводиться чорнове точіння зовнішніх циліндричних поверхонь) прийшли до висновку, що даний верстат цілком придатний для здійснення заданої операції. Технічна характеристика верстата приведена в таблиці 2.12

Табл 2.12 Основні характеристики верстату 1М63Ф1

Клас точності	Н
Найбільший діаметр виробу над станиною, мм	630
Найбільший діаметр виробу над супортом, мм	350
Найбільша довжина деталі, мм	2800
Кількість керованих/одночасно керованих координат	2/2
Межі частот обертання шпинделя, об/хв	10-1250
Кількість позицій інструментальної головки	4
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	15
Габаритні розміри верстата, мм	4950x1780x1550
Маса, кг	5620

Проаналізувавши технічні характеристики верстата на операції 075 токарна з ЧПК, будемо використовувати верстат 1М63Ф1 тому що його технічні характеристики та технологічні можливості повністю забезпечують безперешкодну обробку деталі.

## **2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального й вимірювального інструментів**

На операцію – 150 кругло-шліфувальна вибираємо верстатні пристрої, металорізальні та вимірювальні інструменти.

Для установки і закріплення вала в центрах використовуємо паводковий патрон діаметром  $D=200$  мм, виконання 1. Позначення: Патрон 7108-0021 ГОСТ 2571-71.

Передача руху заготовці здійснюється через хомутик. Вибираємо хомутик для заготовок діаметром від 50 до 75 мм. Позначення: Хомутик 7107-0043 ГОСТ 2578-70.

Призначаємо центр упорний виконання 1 нормальної точності з конусом Морзе 6. Позначення: Центр 7032-0043 Морзе 6 ГОСТ 13214-79. Центр обертовий типу А, виконання 1 з конусом Морзе 5, нормальної серії. Позначення: Центр А-1-5-Н ГОСТ 8742-75.

Для обробки зовнішніх поверхонь використовуємо абразивний шліфувальний круг прямого профілю із білого електрокорунду

25А ПП 450Х50Х203 F46. Для контролю поверхонь  $\varnothing 80h6$  використовуємо мікрометр УАТО 75-100 мм (УТ-72303)

Зведемо до таблиці 2.13 верстатний пристрій, ріжучий, вимірювальний та допоміжний інструмент, який використовується при механічній обробці на операції 150 Кругло-шліфувальна.

Таблиця 2.13 – Ріжучий та вимірювальний інструмент, що використовується на операції 150 Кругло-шліфувальна.

Номер та зміст переходу	Ріжучий інструмент	Доп інстр.	Верст. Прист.	Вим. інструмент
Шліфування шийок вала	Шліфувальний круг 25А ПП 450Х50Х203 F46	Центр упорний ГОСТ 13214-79; Центр обертовий ГОСТ 8742-75	Повідковий патрон 7108-0021 ГОСТ 2571-71	УАТО 75-100 мм (УТ-72303)

На операцію – 090 Токарна з ЧПК вибираємо верстатні пристрої, металорізальні та вимірювальні інструменти.

Для установки і закріплення вала в центрах використовуємо паводковий патрон діаметром  $D=200$  мм, виконання 1. Позначення: Патрон KOTIGAWA B-200.

Передача руху заготовці здійснюється через хомутик. Вибираємо хомутик для заготовок діаметром від 50 до 75 мм. Позначення: Хомутик 7107-0043 ГОСТ 2578-70.

Призначаємо центр упорний виконання 1 нормальної точності з конусом Морзе 6. Позначення: Центр 7032-0043 Морзе 6 ГОСТ 13214-79. Центр обертовий типу А, виконання 1 з конусом Морзе 5, нормальної серії. Позначення: Центр А-1-5-Н ГОСТ 8742-75.

Для обробки зовнішніх поверхонь використовуємо різець токарний прохідний з механічним кріпленням підтисканням важелем через отвір твердосплавної непереточуваної ромбічної пластинки з ріжучою кромкою 12,7 мм і кутом в плані  $95^\circ$ , задній кут пластинки  $0^\circ$ , правий, перерізом  $H \times B = 25 \times 20$  мм, довжиною 150 мм. Позначення: Різець PCLNR 2520 M12 T15K6.

Для обробки канавок використовуємо різець спеціальний канавковий для точіння канавки б6 з напайною пластиною з твердого сплаву Т15К6.

Для контролю розмірів використовуємо штангенциркуль ШЦ-I-150-0,1 ГОСТ 166-89 і штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89. Для контролю поверхонь використовуємо мікрометри УАТО 75-100 мм (УТ-72303) та УАТО 50-75 мм (УТ-72302)

Зведемо до таблиці 2.14 верстатний пристрій, ріжучий, вимірювальний та допоміжний інструмент, який використовується при механічній обробці на операції 090.

Таблиця 2.14 – Ріжучий та вимірювальний інструмент, що використовується при обробці на операції 090 токарна з ЧПК

Номер та Зміст переходу	Ріжучий інструмент	Доп. інструмент	Верст. Прист.	Вим. інструмент
Обточування зовнішніх поверхонь	PCLNR2520M12 Різець правий прохідний PCLNL2520M12 Різець лівий прохідний	Центр упорний ГОСТ 13214-79; Центр обертовий ГОСТ 8742-75	Повідковий патрон КОТІГАВА В-200	ШЦ-I-150-0,1 ГОСТ 166-89; ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ166-89; Мікрометр УТ-72302 УТ-72303

На операцію – 075 Токарна з ЧПК вибираємо верстатні пристрої, металорізальні та вимірювальні інструменти.

Для установки і закріплення вала в центрах використовуємо патрон діаметром D=200 мм, виконання 1. Позначення 7103-0042 ГОСТ 3890-82,.

Передача руху заготовці здійснюється через хомутик. Вибираємо хомутик для заготовок діаметром від 50 до 75 мм. Позначення: Хомутик 7107-0043 ГОСТ 2578-70.

Призначаємо центр упорний виконання 1 нормальної точності з конусом Морзе 6. Позначення: Центр 7032-0043 Морзе 6 ГОСТ 13214-79. Центр обертовий типу А, виконання 1 з конусом Морзе 5, нормальної серії. Позначення: Центр А-1-5-Н ГОСТ 8742-75.

Для обробки зовнішніх поверхонь використовуємо різець токарний прохідний з механічним кріпленням підтисканням важелем через отвір твердосплавної непереточуваної ромбічної пластинки з ріжучою кромкою 12,7 мм і кутом в плані 95°, задній кут пластинки 0°, правий, перерізом Н×В = 25×20 мм, довжиною 150 мм. Позначення: Різець PCLNR 2520 M12 T15K6.

Для контролю розмірів використовуємо штангенциркуль ШЦ-I-150-0,1 ГОСТ 166-89 і штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89. Для контролю поверхонь використовуємо мікрометри УАТО 75-100 мм (УТ-72303) та УАТО 50-75 мм (УТ-72302)

Зведемо до таблиці 2.15 верстатний пристрій, ріжучий, вимірювальний та допоміжний інструмент, який використовується при механічній обробці на операції 075.

Таблиця 2.15 – Ріжучий та вимірювальний інструмент, що використовується при обробці на операції 075 токарна з ЧПК

Номер та Зміст переходу	Ріжучий інструмент	Доп. інструмент	Верст. Прист.	Вим. інструмент
Обточування зовнішніх поверхонь	PCLNR2520M12 Різець правий прохідний PCLNL2520M12 Різець лівий прохідний	Центр упорний ГОСТ 13214-79; Центр обертовий ГОСТ 8742-75	Повідковий патрон KOTIGAWA B-200	ШЦ-I-150-0,1 ГОСТ 166-89; ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ166-89; Мікрометр УТ-72302 УТ-72303

## 2.7 Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання будемо проводити для операції 150 Кругло-шліфувальна. Розрахунково-аналітичним методом розрахуємо режим різання для зовнішнього шліфування поверхні Ø80h6, для інших переходів режим різання призначимо за табличним методом.

Вихідні дані: діаметр поверхні – 80 мм, довжина поверхні 120мм, матеріал заготовки – сталь 40Х з межею міцності  $\sigma_B=930$  МПа; матеріал абразивного круга електрокорунд білий, ЗОР – емульсія, заготовка – прокат.

Розміри шліфувального круга  $D_k=450$ мм,  $B_k=50$  мм, швидкість шліфувального круга  $V_k=35$  м/с

Визначимо глибину різання:

$$t = \frac{D_3 - D_{обт}}{2} \quad (2.26)$$

де  $D_3$  – діаметр в стані заготовки;

$D_{обт}$  – діаметр після шліфування.

$$t = \frac{80,4-80}{2} = 0,2 \text{ мм.}$$

Визначимо частоту обертання шліф. Бабки, об/хв

$$n_{ш} = \frac{1000 * V_k * 60}{\pi * D_k} \quad (2.27)$$

Маємо:

$$n_{ш} = \frac{1000 * 35 * 60}{\pi * 450} = 1486 \text{ об/хв}$$

Корегуємо за паспортом верстата, приймаємо 1400 об/хв.

Окружну швидкість заготовки приймаємо  $V_3=30$ м/хв.

Частота обертів передньої бабки, відносно вибраної окружної швидкості заготовки, об/хв:

$$n_3 = \frac{1000 * V_3}{\pi * D} \quad (2.28)$$

Маємо:

$$n_3 = \frac{1000 * 30}{\pi * 80} = 119,4 \text{ об/хв}$$

Приймаємо  $n_3=120$  об/хв.



Глибина на прохід  $t=0.005-0.015$  мм, Приймаємо  $t=0.005$  мм.

Поздовжня подача  $S=(0,2-0,4)*V_k$ , мм/об

Приймаємо  $S=0.25*V_k=0.25*50=12.5$  мм/об.

Швидкість поздовжнього ходу стола

$$V_c = \frac{S * n_z}{1000} = \frac{12.5 * 120}{1000} = 1,5 \text{ м/хв}$$

(2.29)

Приймаємо  $V_c=1,5$  м/хв

Перевірка достатньої потужності верстата.

Потужність необхідна для різання.

$$N_p = C_n * V_z^z * t^x * S^y * d^q, \text{ кВт.}$$

(2.30)

$C_n$ - коеф. Умов шліфування.

$x, y, z, q$ - показники ступеню.

$V, t, S$ - елементи різання.

$d$ - діаметр шліфування, мм

Для цих умов приймаємо  $C_n=2,56; z=0,5; x=0,5; y=0,55; q=0,$

Тоді

$$N_p = 2,56 * 30^{0,5} * 0,005^{0,5} * 12,5^{0,55} * 1 = 3,97 \text{ кВт}$$

Потужність на шпинделі

$$N_{шп} = N_d * h = 40 * 0.8 = 32 \text{ кВт}$$

(2.31)

Так як  $N_{шп}=32\text{кВт} > 3.97\text{кВт}$ , то обробка можлива.

Визначимо Основний час

$$T_o = \frac{L * h}{1000 * V_c * t} K, \text{ хв}$$

(2.32)

$$L = l - (1 - k * m) * V_k, \text{ мм}$$

Де  $l$ -довжина шліфування,  $m$ - перебіг круга,  $m=0,5$ ,  $k=1$  число сторін перебігу круга.

$$L=1-(1-1*0,5)*B_k=120-0,5*50=95 \text{ мм}$$

$K=1,4$  – коефіцієнт вихажування

$$T_o = \frac{95 * 0,2}{1000 * 1,5 * 0,005} 1,4 = 3,54, \text{ хв}$$

Розглянемо обробку інших поверхонь. На переходи даної операції здійснюємо вибір режимів різання табличним методом за допомогою каталогів. Ріжучий інструмент зазначений в пункті 2.6. Обрані режими заносимо до таблиці 2.16

Таблиця 2.16 – Режими різання визначені за табличним методом

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T <sub>o</sub> , хв
1	2	3	4	5	6	7	8
Поверхня 1 Ø80h6	4	0.005	12.5	1.5	1400	120	3.54
Поверхня 2 Ø80h6	4	0.005	12.5	1.5	1400	150	4.6
Всього	-	-	-	-	-	-	8.14

Розрахунок режимів різання будемо проводити для операції 090 токарна з ЧПК. Розрахунково-аналітичним методом розрахуємо режим різання для зовнішнього точіння поверхні Ø80h6, для інших переходів режим різання призначимо за табличним методом [10, 11].

Вихідні дані: діаметр поверхні – 80 мм, матеріал заготовки – сталь 40X з межею міцності  $\sigma_B=930$  МПа; матеріал ріжучої частини різця T15K6, ЗОР – емульсія, заготовка – прокат

Визначимо глибину різання:

$$t = \frac{D_3 - D_{обт}}{2} \quad (2.33)$$

де  $D_3$  – діаметр в стані заготовки;

$D_{обт}$  – діаметр після точіння.

$$t = \frac{80,4-80}{2} = 0,2 \text{ мм.}$$

Визначимо подачу:

$$S = 0,25 \text{ мм/об [10, с. 265]}$$

Стійкість інструменту  $T = 60$  хв. Визначимо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (2.34)$$

де  $C_v=420$ ;  $x=0,15$ ;  $y=0,20$ ;  $m=0,20$  – коефіцієнти та показники у формулі швидкості різання [10, с. 269].

$K_v$  – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, котрий враховує фактичні умови різання, визначається за формулою:

$$K_v = K_M \cdot K_t \cdot K_n \quad (2.35)$$

$K_M$  – поправочний коефіцієнт, на оброблюваний матеріал [10, с.262]

$K_t$  – поправочний коефіцієнт, враховуючий інструментальний матеріал [10, с. 263]

$K_n$  – поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання [10, с. 263]

$$K_v = 0,8 \cdot 1,05 \cdot 1,0 = 0,84$$

$$V = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 1,0^{0,15} \cdot 0,25^{0,2}} \cdot 0,84 = 205,26 \text{ м/хв}$$

Визначимо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.36)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 205,26}{3,14 \cdot 80,4} = 787,5 \text{ об/хв}$$

Скорегуємо частоту обертання відповідно до паспорту верстату  $n = 800$  об/хв.

Визначимо фактичну швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.37)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 80,4 \cdot 800}{1000} = 208,5 \text{ м/хв.}$$

Визначимо силу різання:

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (2.38)$$

де  $C_p = 300$ ,  $x = 1,0$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,15$  – коефіцієнти та показники в формулі [10, с.273].

$K_p$  – поправочний коефіцієнт, який враховує умови різання, розраховується за формулою:

$$K_p = K_m \cdot K_\varphi \cdot K_\gamma \cdot K_\lambda \cdot K_r \quad (2.39)$$

де  $K_m = 1,17$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності [10, с. 264];

$K_\varphi = 0,94$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив головного кута в плані на силові залежності [10, с. 275];

$K_\gamma = 1,0$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив переднього кута на силові залежності [10, с. 275];

$K_\lambda = 1,0$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив кута нахилу головного леза на силові залежності [10, с. 275];

$K_r = 1,0$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив радіуса при вершині на силові залежності [10, с. 275].

$$K_p = 1,17 \cdot 0,94 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,10.$$

Враховуючи поправочні коефіцієнти отримуємо:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,0^{1,0} \cdot 0,25^{0,75} \cdot 208,5^{-0,15} \cdot 1,10 = 523,7 \text{ Н}$$

Визначимо потужність необхідну для обробки:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (2.40)$$

$$N = \frac{523,7 \cdot 208,5}{1020 \cdot 60} = 1,71 \text{ кВт}$$

Розрахункове значення потужності *не перевищує допустимого* (1,71 кВт < 21 кВт), отже обробка на верстаті DOOSAN PUMA 800M буде забезпечена.

Визначимо основний час:

$$T_o = \frac{L_p + l_1^* + l_1^{**}}{S \cdot n} \quad (2.41)$$

де  $l_1^* = ctg\varphi \cdot t = ctg60^\circ \cdot 1 = 0,58$  мм – величина врізання різця;

$l_1^{**} = 2$  мм – виліт різця.

$$T_o = \frac{296}{0,25 \cdot 800} = 1,48 \text{ хв.}$$

Розглянемо обробку інших поверхонь. На переходи даної операції здійснюємо вибір режимів різання табличним методом за допомогою каталогів [10, 11]. Ріжучий інструмент зазначений в пункті 2.6 Обрані режими заносимо до таблиці 2.17

Таблиця 2.17 – Режими різання визначені за табличним методом

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T <sub>o</sub> , хв
1	2	3	4	5	6	7	8
Поверхня Ø64	1	0.1	0.08	370	1800	25	0,5
Поверхня 2	1	0,2	0.08	370	1400	130	2,21
Поверхня Ø80	1	0,2	0.08	370	1400	296	5
Поверхня Ø85	1	0,2	0.08	370	1400	185	3,35
Поверхня Ø90	1	0,1	0.08	370	1400	170	3,25
Поверхня Ø95	1	0,2	0.08	370	1200	48	0,97
Поверхня Ø100	1	0,2	0.08	370	1200	425	9
Поверхня Ø95	1	0,2	0.08	370	1200	48	0,97
Поверхня Ø90	1	0.1	0.08	370	1400	170	3,25

Поверхня Ø85	1	0,2	0.08	370	1400	185	3,35
Поверхня Ø80	1	0,2	0.08	370	1400	251	4,2
Поверхня Ø55	1	0,2	0.08	370	2100	78	0,9
Поверхня Ø52	1	0.1	0.08	370	2300	22	0,24
Всього	-	-	-	-	-	-	37,19

Розрахунок режимів різання будемо проводити для операції 075 токарна з ЧПК. Розрахунково-аналітичним методом розрахуємо режим різання для зовнішнього точіння поверхні Ø107, для інших переходів режим різання призначимо за табличним методом [10, 11].

Вихідні дані: діаметр поверхні – 107 мм, матеріал заготовки – сталь 40Х з межею міцності  $\sigma_B=930$  МПа; матеріал ріжучої частини різця Т15К6, ЗОР – емульсія, заготовка – прокат

Визначимо глибину різання:

$$t = \frac{D_3 - D_{\text{обт}}}{2} \quad (2.42)$$

де  $D_3$  – діаметр в стані заготовки;

$D_{\text{обт}}$  – діаметр після точіння.

$$t = \frac{107-103}{2} = 2 \text{ мм.}$$

Визначимо подачу:

$$S = 0,25 \text{ мм/об [10, с. 265]}$$

Стійкість інструменту  $T = 60$  хв. Визначимо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (2.43)$$

де  $C_v=420$ ;  $x=0,15$ ;  $y=0,20$ ;  $m=0,20$  – коефіцієнти та показники у формулі швидкості різання [10, с. 269].

$K_v$  – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, котрий враховує фактичні умови різання, визначається за формулою:

$$K_v = K_M \cdot K_t \cdot K_n \quad (2.44)$$

$K_M$  – поправочний коефіцієнт, на оброблюваний матеріал [10, с.262]

$K_t$  – поправочний коефіцієнт, враховуючий інструментальний матеріал [10, с. 263]

$K_n$  – поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання [10, с. 263]

$$K_v = 0,8 \cdot 1,05 \cdot 1,0 = 0,84$$

$$V = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 1,0^{0,15} \cdot 0,25^{0,2}} \cdot 0,84 = 205,26 \text{ м/хв}$$

Визначимо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.45)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 205,26}{3,14 \cdot 107} = 610,9 \text{ об/хв}$$

Скорегуємо частоту обертання відповідно до паспорту верстату  $n = 630$  об/хв.

Визначимо фактичну швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.46)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 107 \cdot 630}{1000} = 211,6 \text{ м/хв.}$$

Визначимо силу різання:

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (2.47)$$

де  $C_p = 300$ ,  $x = 1,0$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,15$  – коефіцієнти та показники в формулі [10, с.273].

$K_p$  – поправочний коефіцієнт, який враховує умови різання, розраховується за формулою:

$$K_p = K_m \cdot K_\varphi \cdot K_\gamma \cdot K_\lambda \cdot K_r \quad (2.48)$$

де  $K_m = 1,17$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності [10, с. 264];

$K_\varphi = 0,94$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив головного кута в плані на силові залежності [10, с. 275];

$K_y = 1,0$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив переднього кута на силові залежності [10, с. 275];

$K_\lambda = 1,0$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив кута нахилу головного леза на силові залежності [10, с. 275];

$K_r = 1,0$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив радіуса при вершині на силові залежності [10, с. 275].

$$K_p = 1,17 \cdot 0,94 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,10.$$

Враховуючи поправочні коефіцієнти отримуємо:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,0^{1,0} \cdot 0,25^{0,75} \cdot 211,6^{-0,15} \cdot 1,10 = 522,5 \text{ Н}$$

Визначимо потужність необхідну для обробки:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (2.48)$$

$$N = \frac{522,5 \cdot 211,6}{1020 \cdot 60} = 1,8 \text{ кВт}$$

Розрахункове значення потужності *не перевищує допустимого* ( $1,8 \text{ кВт} < 15 \text{ кВт}$ ), отже обробка на верстаті 1М63Ф1 буде забезпечена.

Визначимо основний час:

$$T_o = \frac{L_p + l_1^* + l_1^{**}}{S \cdot n} \quad (2.49)$$

де  $l_1^* = ctg\varphi \cdot t = ctg60^\circ \cdot 1 = 0,58 \text{ мм}$  – величина врізання різця;

$l_1^{**} = 2 \text{ мм}$  – виліт різця.

$$T_o = \frac{429}{0,25 \cdot 630} = 2,72 \text{ хв.}$$



Розглянемо обробку інших поверхонь. На переході даної операції здійснюємо вибір режимів різання табличним методом за допомогою каталогів [10, 11]. Ріжучий інструмент зазначений в пункті 2.6 Обрані режими заносимо до таблиці 2.18

Таблиця 2.18 – Режими різання визначені за табличним методом

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T <sub>0</sub> , хв
1	2	3	4	5	6	7	8
Поверхня Ø71	1	2	0.25	370	800	25	0,5
Поверхня 2	1	2	0.25	370	800	130	0,67
Поверхня Ø87	1	2,5	0.25	370	800	296	1,5
Поверхня Ø92	1	2	0.25	370	800	185	0,95
Поверхня Ø97	1	2,5	0.25	370	630	170	1,1
Поверхня Ø102	1	2	0.25	370	630	48	0,4
Поверхня Ø107	1	2	0.25	370	630	425	2.73
Поверхня Ø102	1	2	0.25	370	630	48	0,4
Поверхня Ø98	1	2,5	0.25	370	630	170	1,2
Поверхня Ø92	1	2	0.25	370	800	185	0,95
Поверхня Ø87	1	2,5	0.25	370	800	251	1,28
Поверхня Ø75	4	2,125	0.25	370	1000	78	1,6
Поверхня Ø59	1	2	0.25	370	1000	22	0,2
Всього	-	-	-	-	-	-	13,48

## 2.8 Технічне нормування операцій

В основі розрахунків продуктивності праці лежить технічне нормування операцій. З цією метою розраховують технічні норми штучно-калькуляційного часу, так як раніше було визначено тип виробництва – середньосерійне. Технічне нормування будемо проводити для операції 150 кругло-шліфувальна.

Технічне нормування операцій здійснюємо згідно вибору з відповідної літератури норм допоміжного часу. Метою даного нормування є визначення норми штучно-калькуляційного часу на операції .

Дані щодо режимів різання та основного часу обираємо з таблиці 6.5.1

Основний час:  $T_0 = 8,14$  хв.

Визначаємо допоміжний час, для операції 150 кругло-шліфувальна, за формулою:

$$T_d = T_{\text{вст}} + T_{\text{кв}} + T_{\text{вим}} \quad (2.50)$$

де  $T_{\text{вст}} = 2,2$  хв – час на установку і зняття заготовки [12];

$T_{\text{кв}} = 0,42$  хв – допоміжний час, пов'язаний з керуванням верстата

$T_{\text{вим}} = 0,86$  хв – час на вимірювання [12].

$$T_d = 2,2 + 0,42 + 0,86 = 3,48 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховуємо за формулою:

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_d \quad (2.51)$$

$$T_{\text{оп}} = 8,14 + 3,48 = 11,62 \text{ хв}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу:

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 \quad (2.52)$$

$$T_{\text{дод}} = 11,62 \cdot 0,08 = 0,92 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучний час:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}} \quad (2.53)$$

$$T_{\text{шт}} = 11,62 + 0,92 = 12,54 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шк-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N} \quad (2.54)$$

де  $T_{\text{п-з}}$  – підготовчо-заключний час, що складається з часу:

1) на отримання креслення і наряду,  $T = 4$  хв [12];

2) на ознайомлення з роботою та кресленням,  $T = 2$  хв [12];

3) інструктаж майстра,  $T = 2$  хв [12];

4) отримання основного та допоміжного інструменту, верстатного пристрою та заготовки,  $T = 9$  хв [12].

5) час на встановлення вихідних режимів роботи станка,  $T = 0,15$  хв;

6) час налаштування пристрою для подачі ЗОР:  $0,20$  хв.

$$T_{п-з} = 4 + 2 + 2 + 9 + 0,15 + 0,2 = 17,35 \text{ хв}$$

$N = 48$  шт. – кількість деталей у партії

$$T_{шк-к} = 12,54 + \frac{17,35}{48} = 34,83 \text{ хв.}$$

(2.54)

Зводимо дані в таблицю 2.19

Таблиця 2.19 - Норми часу на операцію 150

$T_0$	$T_d$	$T_{оп}$	$T_{дод}$	$T_{шт}$	$T_{штк}$
8,14 хв	3,48 хв	11,62 хв	0,92 хв	12,54 хв	34,83 хв

Також проведемо технічне нормування для операції 090 токарна з ЧПК. Дані щодо режимів різання та основного часу обираємо з таблиці 6.5.2.

Основний час:  $T_0 = 37,19$  хв.

Визначаємо допоміжний час, для операції 090 токарна з ЧПК, за формулою:

$$T_d = T_{вст} + T_{кв} + T_{вим}$$

(2.55)

де  $T_{вст} = 2,2$  хв – час на установку і зняття заготовки [12];

$T_{кв} = 0,42$  хв – допоміжний час, пов'язаний з керуванням верстата [12];

$T_{вим} = 0,86$  хв – час на вимірювання [12].

$$T_d = 2,2 + 0,42 + 0,86 = 3,48 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховуємо за формулою:

$$T_{оп} = T_0 + T_d$$

(2.56)

$$T_{оп} = 37,19 + 3,48 = 40,67 \text{ хв}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу:

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 \quad (2.57)$$

$$T_{\text{дод}} = 40,67 \cdot 0,08 = 3,25 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучний час:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}} \quad (2.58)$$

$$T_{\text{шт}} = 40,67 + 3,25 = 43,92 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шк-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N} \quad (2.59)$$

де  $T_{\text{п-з}}$  – підготовчо-заклучний час, що складається з часу:

- 1) на отримання креслення і наряду,  $T = 4$  хв [12];
- 2) на ознайомлення з роботою та кресленням,  $T = 2$  хв [12];
- 3) інструктаж майстра,  $T = 2$  хв [12];
- 4) отримання основного та допоміжного інструменту, верстатного пристрою та заготовки,  $T = 9$  хв [12].
- 5) час на встановлення вихідних режимів роботи станка,  $T = 0,15$  хв;
- 6) час налаштування пристрою для подачі ЗОР: 0,20 хв.

$$T_{\text{п-з}} = 4 + 2 + 2 + 9 + 0,15 + 0,2 = 17,35 \text{ хв}$$

$N = 48$  шт. – кількість деталей у партії

$$T_{\text{шк-к}} = 43,92 + \frac{17,35}{48} = 44,28 \text{ хв.}$$

Зводимо дані в таблицю 2.20

Таблиця 2.20 - Норми часу на операцію 090

$T_0$	$T_d$	$T_{\text{оп}}$	$T_{\text{дод}}$	$T_{\text{шт}}$	$T_{\text{штк}}$
-------	-------	-----------------	------------------	-----------------	------------------

37,19 хв	3,48 хв	40,67 хв	3,25 хв	43,92 хв	44,28 хв
----------	---------	----------	---------	----------	----------

Також проведемо технічне нормування для операції 090 токарна з ЧПК. Дані щодо режимів різання та основного часу обираємо з таблиці 6.5.2.

Основний час:  $T_0 = 13,48$  хв.

Визначаємо допоміжний час, для операції 090 токарна з ЧПК, за формулою:

$$T_d = T_{\text{вст}} + T_{\text{кв}} + T_{\text{вим}} \quad (2.60)$$

де  $T_{\text{вст}} = 2,2$  хв – час на установку і зняття заготовки [12];

$T_{\text{кв}} = 0,42$  хв – допоміжний час, пов'язаний з керуванням верстата [12];

$T_{\text{вим}} = 0,86$  хв – час на вимірювання [12].

$$T_d = 2,2 + 0,42 + 0,86 = 3,48 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховуємо за формулою:

$$T_{\text{оп}} = T_0 + T_d \quad (2.61)$$

$$T_{\text{оп}} = 13,48 + 3,48 = 16,96 \text{ хв}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу:

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 \quad (2.62)$$

$$T_{\text{дод}} = 16,96 \cdot 0,08 = 1,35 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучний час:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}} \quad (2.63)$$

$$T_{\text{шт}} = 16,96 + 1,35 = 18,31 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шк-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N} \quad (2.64)$$

де  $T_{\text{п-з}}$  – підготовчо-заключний час, що складається з часу:

- 1) на отримання креслення і наряду,  $T = 4$  хв [12];
- 2) на ознайомлення з роботою та кресленням,  $T = 2$  хв [12];

3) інструктаж майстра,  $T = 2$  хв [12];

4) отримання основного та допоміжного інструменту, верстатного пристрою та заготовки,  $T = 9$  хв [12].

5) час на встановлення вихідних режимів роботи станка,  $T = 0,15$  хв;

6) час налаштування пристрою для подачі ЗОР: 0,20 хв.

$$T_{\text{п-з}} = 4 + 2 + 2 + 9 + 0,15 + 0,2 = 17,35 \text{ хв}$$

$N = 48$  шт. – кількість деталей у партії

$$T_{\text{шк-к}} = 18,31 + \frac{17,35}{48} = 18,67 \text{ хв.}$$

Зводимо дані в таблицю 2.21

Таблиця 2.21 - Норми часу на операцію 075

$T_0$	$T_d$	$T_{\text{оп}}$	$T_{\text{дод}}$	$T_{\text{шт}}$	$T_{\text{штк}}$
13,48 хв	3,48 хв	16,96 хв	1,35 хв	18,31 хв	18,67 хв

## 2.9 Проектування верстатного пристрою

На фрезерній операції виконується обробка 11 шпоночних пазів у деталі «Вал». Так, як дана деталь є однією з відповідальних складових атомного водоочисного насосу, для неї ставляться високі вимоги щодо точності розмірів, форми та розташування поверхонь. Для виконання цих вимог використовується підпружинений палець, що зменшує похибку базування та збільшує точність виготовлення деталі.

На початковому етапі розроблення схеми базування проводимо аналіз точності поверхонь, що претендують на роль базових. Для кількісної оцінки параметрів поверхонь, які можуть виступати в ролі базових, проводимо аналіз точності їхніх розмірів, точності форми, точності розташування та ступеня їхньої шорсткості. Оскільки для обробки пазів застосовуємо призми, та пневмозажим, то базовими поверхнями можуть виступати: поверхня  $\varnothing 85h6$  та  $\varnothing 85h6(2)$ , а також торець заготовки  $\varnothing 90h14$ .

### **Точність**

Знаходимо допуски на вище зазначені розміри:

$$T_{\varnothing 85} = 22 \text{ мкм};$$

$$T_{\varnothing 85} = 22 \text{ мкм};$$

$$T_{\varnothing 90} = 870 \text{ мкм}.$$

Це означає, що діаметри базових розмірів виконані з параметрами:

$$\varnothing 85h6 (-0,022), \varnothing 85h6 (-0,022), \varnothing 90h14 (-0,87),$$

### **Точність форми**

Похибка форми поверхні  $\varnothing 85h6$  характеризується відхиленням від круглості та циліндричності. Оскільки допуск циліндричності та круглості не вказано в технічних вимогах і на кресленні деталі, то він може бути встановлений у межах допуску на розмір:

$$T_{\varnothing 85} = 0,3 \cdot 22 = 6,6 \text{ мкм}$$

Беремо найближче стандартне значення допуску циліндричності та круглості.

$$T_{\varnothing 85} = 6 \text{ мкм}, \text{ що відповідає 5 ступеню точності [1, с. 110].}$$

Похибка форми поверхні  $\varnothing 85h6 (2)$  характеризується відхиленням від круглості та циліндричності. Оскільки допуск циліндричності та круглості не вказано в технічних вимогах і на кресленні деталі, то він може бути встановлений у межах допуску на розмір:

$$T_{\varnothing 85} = 0,3 \cdot 22 = 6,6 \text{ мкм}$$

Беремо найближче стандартне значення допуску циліндричності та круглості.

$$T_{\varnothing 85} = 6 \text{ мкм}, \text{ що відповідає 5 ступеню точності [1, с. 110].}$$



Похибка форми торця  $\varnothing 90h14$  характеризується відхиленням від площинності. Оскільки допуск площинності не вказується, то це означає, що він входить до складу допуску на номінальний розмір.

Розраховуємо значення допуску площинності:

$$T_{\varnothing 90} = 0,6 \cdot 870 = 522 \text{ мкм}$$

Беремо найближче стандартне значення допуску площинності:

$$T_{\varnothing 90} = 600 \text{ мкм, що відповідає 15 ступеню точності [1, с. 107].}$$

### **Точність розташування**

Вказані допуски по радіальному биттю: поверхні  $\varnothing 85h6$  та  $\varnothing 85h6$ , а також торця заготовки  $\varnothing 90h14$ .

$$T_{\varnothing 85} = 0,6 \cdot 22 = 13.2 \text{ мкм, відповідного до стандартного ряду:}$$

$$T_{\varnothing 85} = 16 \text{ мкм, що відповідає 7 ступеню точності.}$$

Для поверхні  $\varnothing 85h6$ :

$$T_{\varnothing 85} = 0,6 \cdot 22 = 13.2 \text{ мкм, відповідного до стандартного ряду:}$$

$$T_{\varnothing 85} = 16 \text{ мкм, що відповідає 7 ступеню точності.}$$

Для торця  $\varnothing 90h14$ :

$$T_{\varnothing 90} = 0,6 \cdot 870 = 522 \text{ мкм, відповідного до стандартного ряду:}$$

$$T_{\varnothing 90} = 600 \text{ мкм, що відповідає 15 ступеню точності.}$$

### **Шорсткість**

Шорсткість поверхонь, зазначена на кресленні, і має такі значення:

Для  $\varnothing 85h6$  вона становить  $Ra = 1,6$  мкм.

Для  $\varnothing 85h6$  вона становить  $Ra = 1,6$  мкм.

Для  $\varnothing 90h14$  відповідає  $Ra = 3,2$  мкм.

Річна програма випуску задана в 2000 деталей. Така програма з урахуванням трудомісткості відповідає дрібносерійному типу виробництва. Можна стверджувати, що пристрій будуть використовувати з досить великою інтенсивністю. В цілому, за

період виготовлення деталі “Вал” (1 рік) пристрій повинен здійснити 2000 робочих циклів за нормальних умов.

Заготовка буде оброблюватися на верстаті із ЧПК моделі ГФ2171Ф3. Основні параметри верстата:

- частота обертання шпинделя – 2500 об/хв;
- подача – 1,6 мм/об;
- максимальна осьова сила різання:  $P = 5000 \text{ Н}$ ;
- потужність електродвигуна – 7.5 кВт;
- ККД верстата  $\eta = 0,8$ .

Перелік функцій, які реалізуються

0 Переміщення і попередня орієнтація заготовки;

1 Базування заготовки;

2 Закріплення заготовки;

3 Базування пристрою на верстаті;

4 Закріплення пристрою на верстаті;

5 Підведення і відведення енергоносія;

6 Утворення вихідної сили для закріплення;

7 Керування енергоносієм;

8 Об'єднання функціональних вузлів;

9 Обробка пазів;

10 Створення безпечних умов праці.

Із усього комплексу поверхонь, що утворюють заготовку, на базову поверхню може претендувати циліндричний отвір  $\varnothing 85h6$ . На її користь свідчить таке:

- вона найбільш точно оброблена:  $T_{\varnothing 85} = 22 \text{ мкм}$ ;

- вона досить чисто оброблена: шорсткість її поверхні  $Ra = 1,6 \text{ мкм}$ . Крім того, застосування цієї поверхні як базової не перешкоджає доступу інструментів до оброблюваних поверхонь. Циліндрична поверхня  $\varnothing 85h6$ , будучи прийнятою в якості базової, позбавляє заготовку чотирьох ступенів свободи, тобто являється подвійною напрямною базою. У якості опорної бази беремо торець деталі  $\varnothing 90h14$ , вона

позбавляє заготовку одного ступеню свободи. І для забезпечення позиційного допуску розташування отриманих пазів конструкція має підпружинений палець. Дана схема базування показана на рисунку 2.6

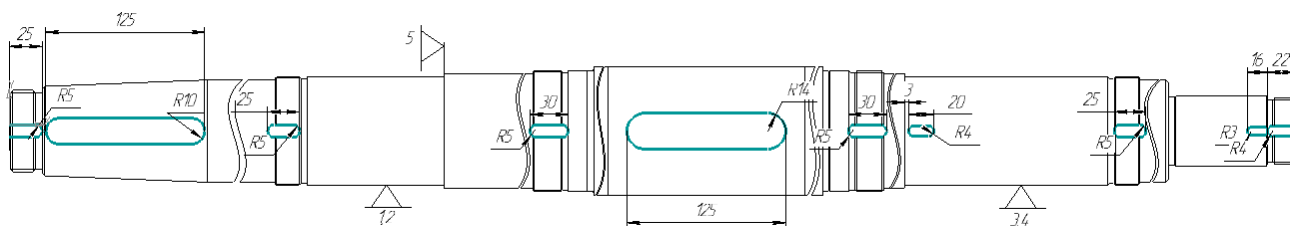


Рисунок 2.6 – Схема базування

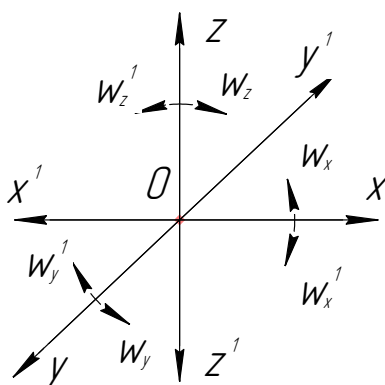


Рисунок 2.7 – Схема однобічних зв'язків, що покладають на заготовку (до таблиці 7.5.1)

Таблиця 2.22 – Індекси та номери зв'язків

Індекс координати		x	x'	y	y'	z	z'	$\omega_x$	$\omega'_x$	$\omega_y$	$\omega'_y$	$\omega_z$	$\omega'_z$
Спосіб реалізації	<b>Реакція</b>	R	R	R	R	R	R	-	-	R	R	R	R

### Аналіз структури полів збурюючих сил.

Для визначення взаємного впливу поля збурюючих сил та поля зрівноважуючи сил будуємо графічну модель збурюючих сил (рисунок 8.1) взаємозв'язку з прийнятою схемою базування.

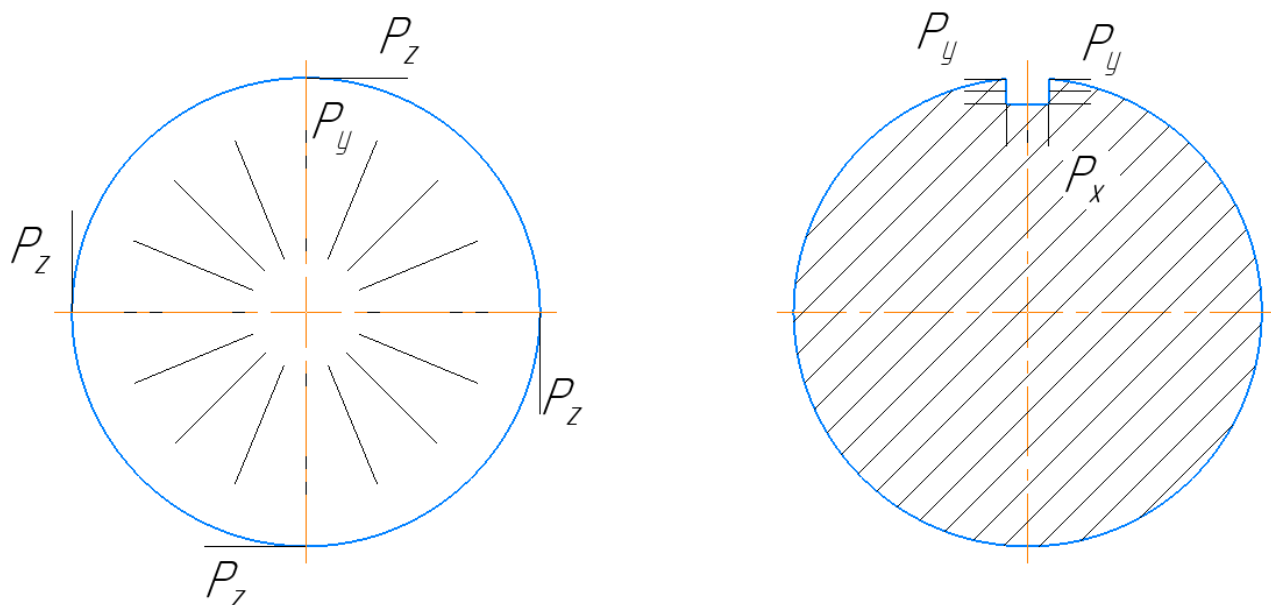


Рисунок 2.8 – Структура поля збурюючих сил

З рисунку 7.5.3 бачимо, що складова  $P_y'$  поля збурюючих сил врівноважується реакцією  $R_y'$ . Інші складові поля збурюючих сил не врівноважені та потребують прикладання додаткових сил закріплення. При даній схемі базування доцільно застосовувати пневмоприжим який створює поле зрівноважувальних сил, що й представлено на рисунку 7.5.4

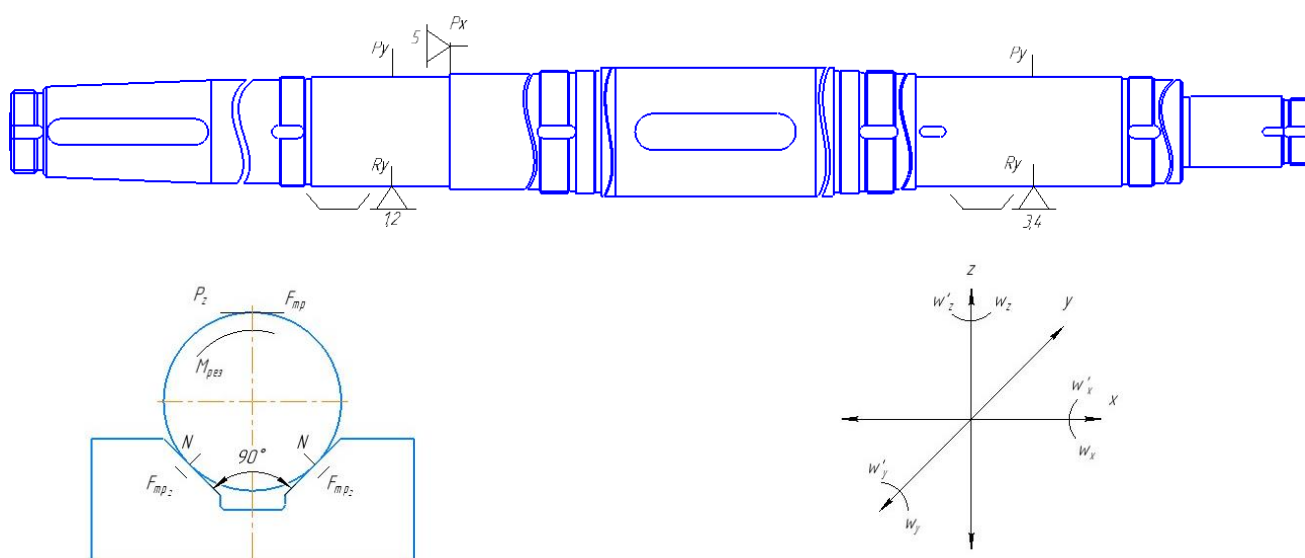


Рисунок 2.9 – Структура поля зрівноважувальних сил

Для аналізу структури та якості зв'язків, що виникають при закріпленні заготовки, будемо таблицю однобічних зв'язків.

Таблиця 2.23 – Однобічні зв'язки

Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	$\omega_x$	$\omega'_x$	$\omega_y$	$\omega'_y$	$\omega_z$	$\omega'_z$
Спосіб реалізації	<i>Реакція</i>	R	-	R	R	-	R	-	-	R	R	R	R
	<i>Сила закріплення</i>	-	W	-	-	W		-	-	-	-	-	-
	<i>Сила тертя</i>	-	-	-	-	-	-	F(W)	F(W)	-	-	-	-

Визначаю крутящий момент, діючий під час фрезерування (по [6], с.277) по формулі:

$$M_{кр} = 10 C_M D^q S^y K_p, \quad (2.65)$$

де,  $C_M=0,0345$ - коефіцієнт, що враховує умови обробки ([6],табл. 32);

$D=20$ - діаметр фрези;

$q=2,0$ - показник ступеня при  $D$  ([6], табл. 32, с.281);

$S=0,25$ - оборотна подача ( [6], табл. 25, с.277);

$y=0,8$ - показник ступеня при  $S$  ([6], табл. 32, с.281).

Коефіцієнт, що залежить від властивостей оброблюваного матеріалу  $K_p$ , визначають по формулі ([6], табл. 9, с.264):

$$K_{Mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \quad (2.66)$$

де,  $\sigma_B=710$  МПа – межа міцності оброблюваного матеріалу;

$n=0,75$  – показник степені ([6], табл. 9, с.254).

Тоді:

$$K_{Mp} = \left( \frac{710}{750} \right)^{0,75} = 0,96$$

А момент:

$$M_{кр} = 10 * 0.0345 * 20^{2.0} * 0,25^{0.8} * 0.96 = 43,70 \text{ (Н*м)}$$

При затиску момент сили тертя, що виникає між заготовкою й поверхнею призми, повинен бути більше моменту кручення при обробці:

$$M_{тр} = M_{кр} \cdot K, \quad (2.67)$$

де,  $M_{тр}$  – момент тертя,

$K$  – коефіцієнт запасу по формулі ([7], с.382-384):

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (2.68)$$

де,  $K_0=1,5$  – гарантований коефіцієнт запасу сил затиску;

$K_1 = 1,0$  – стан технологічної бази;

$K_2 = 1,5$  – збільшення сили резання від прогресуючого затуПЛення інструмента;

$K_3 = 1,0$  – ударне навантаження на ПІ;

$K_4 = 1,0$  – стабільність силового приводу;

$K_5 = 1,0$  зручність розташування рукояток у ручних затискних механізмах пристосуваннях;

$K_6 = 1,25$  – наявність моментів, що прагнуть повернути заготовку.

Тоді:

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,25 = 3,75$$

Під час розрахунку  $M_{тр}$  розглядаю точку на поверхні заготовки:  $R = 55,25$

Також момент тертя дорівнює добутку:

$$M_{тр} = F_{тр} \cdot R \quad (2.69)$$

де,  $F_{тр}$  - сила тертя розраховується по формулі:

$$F_{тр} = Q' \cdot f \quad (2.70)$$

де,  $Q'$  – складова сили  $Q$ , прагнуча повернути заготовку;

$f=0,16$  – коефіцієнт тертя (по [7], табл. 3, с. 384).

Виконуючи математичні операції над формулами (7.5) і (7.6) виводжу формулу для обчислення сили  $Q$  :

$$Q = \frac{M_{кр} \cdot K}{R \cdot f} \quad (2.71)$$

Згідно цій формулі маємо:

$$Q = \frac{43.70 \cdot 3.75}{55.25 \cdot 0.16} = 18537(H)$$

Затиск заготовки виконується при подачі стиснутого повітря в штокову порожнину пневмокамери двосторонньої дії. При цьому максимальна сила на штоку розраховується по формулі (для вихідного положення штока) (див.[22], с. 94):

$$Q = \frac{\pi}{16} \left[ (D + d)^2 - d_1^2 \right] \cdot p \quad (2.72)$$

де ,  $D$  – діаметр діафрагми усередині пневмокамери, см;

$d$  – діаметр опорного диска діафрагми, см;

$d_1$  - діаметр штока, см;

$p = 4 \text{ кгс/см}^2 \approx 39.2 \text{ Н/см}^2$  - тиск стиснутого повітря.

Діаметр опорного диска діафрагми визначається по формулі ([22], с.92)

$$d = D - 2h - (2 \div 4) \text{ мм} \quad (2.73)$$

де,  $h = 4-8 \text{ мм}$  – товщина діафрагми (приймаю  $h = 7 \text{ мм}$  ).

Тоді:

$$d = D - 2 \cdot 7 - 3 = D - 17(\text{мм}) = D - 1,7(\text{см}).$$

Діаметр штока дорівнює:

$$d_1 = (0,08 \div 0,12)D \quad (2.74)$$

Приймаю значення  $d_1 = 0,1D$ .

Підставляючи співвідношення по формулах, маємо наступне вираження:

$$Q = 0,196 \cdot p \cdot \left[ (2D - 1,7)^2 - (0,1D)^2 \right] \quad (2.75)$$

Урахувавши те, що необхідна сила затиску дорівнює  $Q=9082$  Н, а тиск стисненого повітря  $p=39.2$  Н/см<sup>2</sup>, маємо:

$$10730 = 0.196 \cdot 39.2 \cdot (4D^2 - 2 \cdot 2D \cdot 1,7 + 1,7^2 - 0,01D^2)$$

Вирішуємо квадратне рівняння:

$$30,7 \cdot D^2 - 52,2 \cdot D - 10710,8 = 0$$

$$D = \frac{52,2 \pm \sqrt{52,2^2 + 4 \cdot 30,7 \cdot 10710,8}}{2 \cdot 30,7} \approx 114,8^2 > 0$$

$$D_1 = \frac{52,2 - 114,8}{2 \cdot 30,7} < 0$$

$$D_2 = \frac{52,2 + 114,8}{2 \cdot 30,7} = 19,55(\text{см})$$

Приймаю стандартне значення діаметра пневмокамери  $D=250$  мм. Тоді діаметр опорного диска рівний :  $d=250-2 \cdot 7-3=233$ (мм). Приймаю  $d=232$  мм. А діаметр штока :  $d_1=0,1 \cdot 250=25$  (мм). Сила на штоку в його початковому положенні визначається по формулі:

$$Q = \frac{3 \cdot 14}{16} \left[ (25 + 23,2)^2 - 2,5^2 \right] \cdot 39,2 \approx 17825(\text{Н})$$

Дана сила перевищує необхідну силу затиску заготовки, а, отже, пристосування забезпечує фіксоване положення при обробці.

Оптимальна довжина ходу штока пневмокамери визначається по формулі:

$$l = \frac{L}{2} = (0,17 \div 0,22)D$$

(2.76)

Тоді, приймаю значення  $l=0,2D$ , маємо:  $l=0,2 \times 250=50$ (мм).

### 7.6.1 Розрахунок на міцність

Для розрахунку на міцність береться шток. Він виготовлений зі сталі 40, у якої межа  $\sigma_T=300$  МПа. На даному штоку при затиску заготовки саме вразливе місце - різь



M16, за допомогою якої шток пристосування прикріплюється до штока пневмокамери.

Для того щоб не було розриву різі на штоку, необхідне виконання умови:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]$$

У свою чергу, допустиме навантаження штока  $[\sigma_p]$  визначається по формулі:

$$[\sigma_p] \approx 0,67 \sigma_{\delta} \quad (2.77)$$

Тобто:

$$[\sigma_p] \approx 0,67 \cdot 300 = 201 \text{ МПа.}$$

Небезпечним є перетин, ослаблене нарізанням різі, найменший діаметр якого визначається по формулі:

$$d_1 = d - 2H = d - 1,08 \cdot P, \quad (2.78)$$

де,  $d_1$  - внутрішній діаметр різі;

$d$  – зовнішній (номінальний) діаметр різі;

$H$  – висота витка;

$P$  – крок різі (прийнятий  $P=1,5$  мм).

Тому для різі M18:  $d_1=16.38$  мм, а для M16:  $d_1=14.38$  мм.

Навантаження штока визначається по формулі:

$$\sigma = \frac{Q}{S}, \quad (2.79)$$

де,  $Q$  – зусилля на штоці ( $Q=17825$  Н);

$S$  – площа розглянутого перетину штока.

Отже, найбільша напруга виникає в перетині з найменшою площею, у нашому випадку - по внутрішньому діаметрі різі M16

Будую ескіз штока (див. рисунок 2.10) і розбиваю його на три ділянки

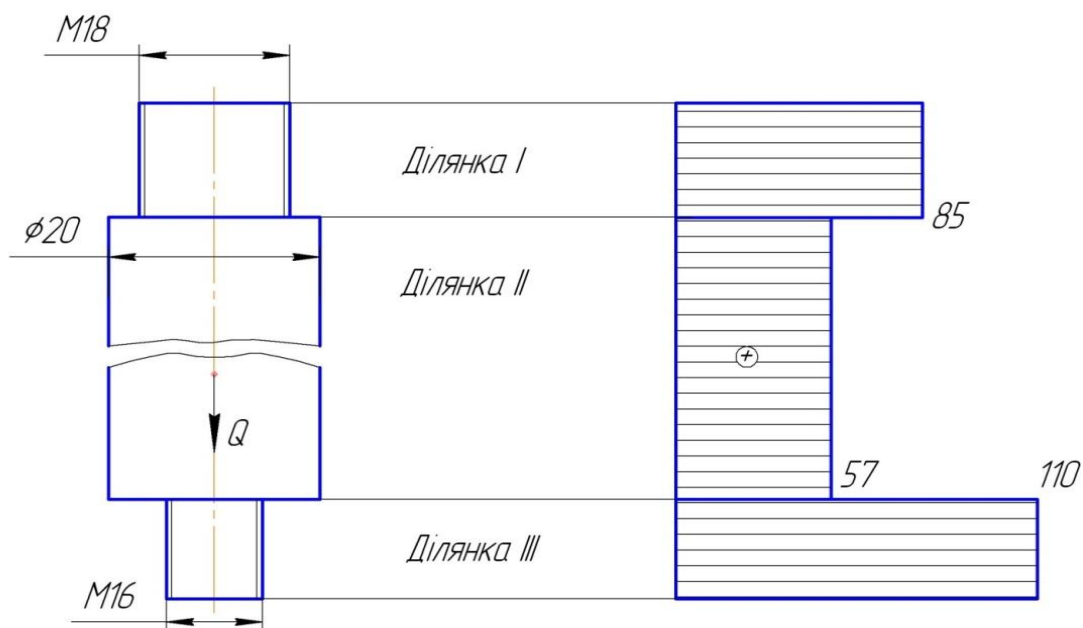


Рисунок 2.10 - Ескіз штока Рисунок 2.11 - Епюра навантажень  $\sigma_p$  МПа

Обчислюю навантаження, що виникають на ділянках:

$$\text{I: } \sigma_I^p = \frac{4Q}{\pi d_I^2} = \frac{4 \cdot 17825}{3.14 \cdot (16,38)^2} \approx 85 (\text{Н/мм}^2) \approx 85 \text{ МПа}$$

$$\text{II: } \sigma_{II}^p = \frac{4Q}{\pi d_{II}^2} = \frac{4 \cdot 17825}{3.14 \cdot 20^2} \approx 57 (\text{Н/мм}^2) \approx 57 \text{ МПа}$$

$$\text{III: } \sigma_{III}^p = \frac{4Q}{\pi d_{III}^2} = \frac{4 \cdot 17825}{3.14 \cdot (14,38)^2} \approx 110 (\text{Н/мм}^2) \approx 110 \text{ МПа}$$

Максимальна напруга буде на ділянці III, але вона не перевищує припустиме значення  $[\sigma_p]$ , виконується умова, а значить різь М16 на штоку витримає навантаження. Для наочності поруч із ескізом штока будує епюру навантаження (рисунок 9.2).

### 7.6.3 Розрахунки пристрою на точність

Розрахункову похибку пристрою знаходимо за формулою [4, с.26]:

$$\varepsilon_{np} \leq T - K_T \sqrt{(k_{T1} \cdot \varepsilon_0)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_u^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{noz}^2}$$

(2.80)

де,  $T = 620$  мкм – найбільший жорсткий допуск розміру, що одержують на даній операції ( $L = 40$  по 14 квалітету);

$K_T = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує можливий відступ окремих складових від нормального закону розподілу випадкових величин;

$K_{T1} = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує деяке зменшення граничного значення похибки базування;

$\varepsilon_6 = 25$  – похибка базування заготовки в пристрої (вимірювальна і технологічна бази не співпадають);

$\varepsilon_3 = 0$  – похибка закріплення, виникає в результаті зсуву оброблюваних поверхонь заготовок від дії затискної сили (не збігається напрям сили закріплення до допуску розміру, що вимірюється).

$\varepsilon_y = 0,005$  мкм – похибка установа пристрою на верстаті:

$$\frac{S \cdot l}{L} = \frac{0,018 \times 15}{490} = 0,005,$$

де,  $l = 10$  мм (ширина оброблюваного пазу);

$L = 490$  мм (відстань між шпонками);

$S = 0,018$  мм (сума допусків шпонки на пристрою та шпонкового паза на столі верстата).

$\varepsilon_{II} = 0$  – похибка перекосу інструмента (втулки не використовуються).

$\varepsilon_{II}$  – похибка, що виникає внаслідок зношування встановлювальних елементів пристрою. Визначається за формулою:

$$\varepsilon_{II} = N \cdot \beta, \tag{2.81}$$

де,  $\beta = 0,001$  – постійний коефіцієнт, що залежить від виду встановлювальних елементів і умов контакту поверхонь [4, табл. 3.6 с.41];

$N = 1300$  шт – кількість контактів заготовки з опорою в рік;

$$\varepsilon_{II} = 1300 \cdot 0,001 = 1,3 \text{ мкм}$$

$K_{T2} = 0,6$  – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки обробки.

$\omega = 180$  мкм – середня економічна точність обробки (допуск по 14 квалітету на розмір 40).

$\varepsilon_{\text{поз}} = 0$  – похибка позиціонування.

Підставляємо значення:

$$\varepsilon_{np} = 430 - 1,2\sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0^2 + 0,005^2 + 0^2 + 9^2 + (0,6 \cdot 180)^2 + 0^2} = 430 - 130 = 300_{\text{мкм}} \text{ З}$$

урахуванням стандартного ряду беремо допуск паралельності, [1, с.109]:

$$\varepsilon_{np} = 300_{\text{мкм}}$$

Пристрій в зборі повинен задовольняти технічним вимогам креслення загального виду й забезпечувати практичну обробку заготовки по заданим розмірам.

Всі деталі й вузли пристрою піддати візуальному контролю, а виявлені дефекти усунути:

Складання пристрою:

- 1) до підставки 2 кріпляться шпонки 17 за допомогою гвинтів 7;
- 2) до корпусу 4 кріпиться пневмокамера 1 гвинтами 10;
- 3) до корпусу 4 кріпиться оправка 3 гвинтами 8;
- 4) у шток пневмокамери вкручується шток-вставка

Експлуатація пристрою:

- 1) Установити на столі верстата й підключити до пневмомернежі.
- 2) Підготувати базові поверхні до устанавлення заготовки.
- 3) Установити заготовку на оправку.
- 4) Пересуванням рукоятки зафіксувати деталь швидкоз'ємною шайбою на оправці пристрою.
- 5) Після обробки отворів зробити розтиск деталі переміщенням рукоятки в інше положення.
- 6) Пристрій зберігати на дерев'яній підставці. Вплив атмосферних опадів й агресивних середовищ неприпустимо.

## РОЗДІЛ 3

### Способи вимірювання температури різання в зоні контакту під час обробки деталі.

#### 3.1 Теплота різання

Один з найголовніших факторів, що визначають процес різання, - теплота, що утворюється в результаті різання. Закони теплоутворення пояснюють низку явищ, пов'язаних із навантаженням різця, його стійкістю, якістю обробленої поверхні. Щоб правильно використовувати різальний інструмент, необхідно знати ці закони.

Теплота  $Q$  у процесі різання утворюється в результаті:

- 1) внутрішнього тертя між частинками оброблюваного металу в процесі деформації  $Q_{\text{деф}}$ ;
- 2) зовнішнього тертя стружки про передню поверхню різця  $Q_{\text{п.т}}$ .
- 3) зовнішнього тертя поверхні різання та обробленої поверхні про задні поверхні різця  $Q_{\text{з.тр}}$ ;
- 4) відриву стружки, диспергування  $Q_{\text{дисп}}$  (утворення нових поверхонь)

$$Q = Q_{\text{деф}} + Q_{\text{п.т}} + Q_{\text{з.тр}} + Q_{\text{дисп}} \quad (3.1)$$

Припускаючи, що механічна робота різання повністю переходить у теплоту, отримаємо

$$Q = \frac{R}{E} = \frac{P_z v}{E} = \frac{P_z v}{427} \text{ ккал/хв}, \quad (3.2)$$

де  $Q$ -кількість теплоти в ккал/хв;  $R$  — робота різання кгс м/хв ( $R = P \cdot z \cdot v$ );  $E$ -механічний еквівалент теплоти ( $E = 427$  кгс м/ккал).

Насправді в теплоту звертається не вся робота різання: невелика частина її переходить у потенційну енергію спотворених кристалічних ґрат. Тому більш правильно висловити формулу так:

$$Q = \frac{P_z v}{427} \alpha_0$$

де  $\alpha_0$  - коефіцієнт, що враховує зазначені втрати, незначні за величиною. У звичайних розрахунках цієї втратою нехтують.

Для успішного впливу на процес різання важливо знати не тільки кількість теплоти, а й розподіл її, тобто ступінь концентрації теплоти в різних ділянках виробу, стружки та різця.

Якби вся теплота, що утворюється, швидко і рівномірно розподілялася по всьому обсягу виробу та інструменту, вона швидко відводилася б у простір, не завдаючи їм шкоди. В дійсності процес протікає інакше: велика кількість теплоти концентрується в певних зонах, сильно підвищуючи їх температуру. Тут неминучі втрата різцем твердості і затуплення його і навіть можлива зміна структури найтоншого шару обробленої поверхні, якщо не буде вжито відповідних заходів.

Деякі дослідники (А. Я. Малкін) вважають, що регулювання потоку теплоти можна впливати на процес різання в сприятливий бік і тим полегшити роботу інструменту та підвищити якість обробленої поверхні.

На основі теоретичного та експериментального досліджень процесу теплоутворення можна виявити закони зміни температури різання (на поверхні контакту стружки з передньою гранню різця), а також температури ріжучого інструменту та оброблюваної деталі залежно від різних факторів.

### 3.2 Температури різання.

Слід гадати, що у процесі утворення зливної стружки, теплота концентрується у трьох основних зонах (рис.1): в зоні зняття стружки АМ, де відбувається пластична деформація; на площі контакту стружки по передній поверхні інструменту АТ; на площі контакту задньої грані інструменту деталі, що обробляється.

Роботою диспергування зазвичай нехтують.

Кожне джерело теплоти має власну сферу безпосередньої дії (рис.3.1)

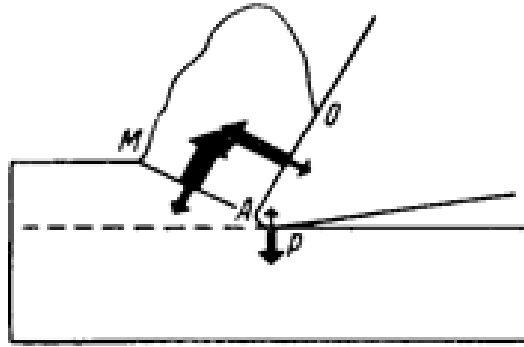


Рис 3.1. Зони Впливу теплоти в зоні контакту

Отже, найвища температура (температура різання) повинна спостерігатися в стружці в зоні контакту її з передньою поверхнею інструменту, тому що тут концентрується найбільша кількість теплоти, що утворюється в результаті деформації стружки і тертя її по передній поверхні різця.

Наприклад, найбільша кількість теплоти, що утворюється внаслідок деформації (на поверхні АМ), залишається в стружці і частково поглинається оброблюваною деталлю. Тепло тертя стружки (на поверхні АТ) залишається в основному в стружці і частково (3-5%) прямує в інструмент. Тепло тертя по заднім граням інструменту (поверхня АР) спрямовується в деталь та різець. При обробці металів з низькою теплопровідністю, наприклад жароміцних і титанових сплавів, різець відводиться до 20-40% всієї теплоти.

Втрати теплоти від конвекції та радіації у процесі різання мізерно малі; невелика кількість теплоти, що йде в деталь, так як стружка дуже швидко формується в зоні

різання і так само швидко проходить зону контакту з різцем. Однак тепло, що поглинається виробом з жароміцних сталей і сплавів, різко зростає і при малих швидкостях може досягти 35-45% всієї теплоти різання.

Нехтуючи роботою тертя по задніх гранях інструменту (яка мала при досить гострій ріжучій кромці і великому задньому куті), можна вважати, що переважна кількість

теплоти має зосереджуватися у стружці. Досліди Н.Н. Савіна, Я. Г. Усачова, С.С. Можаяєва та ін, що визначали кількість теплоти в стружці калориметричним методом, показали,

що в залежності від швидкості різання, глибини різання та подачі при обробці конструкційної сталі в стружці містилося 60-80% всієї теплоти різання, а при швидкісних режимах різання понад 90%.

На рис. 2 а показана схема сил, що діють в зоні різання.

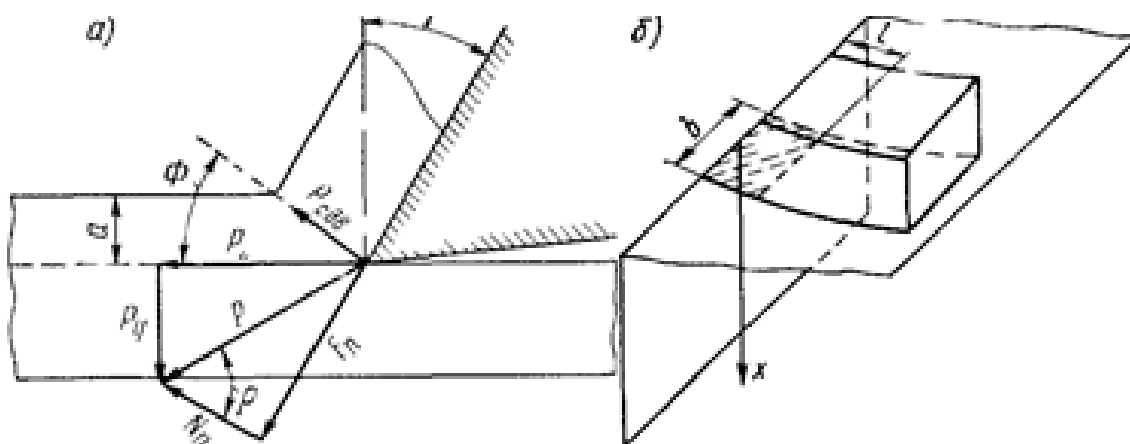


Рис 3.2 Схема сил, діючих в процесі різання (а), и схема контакту стружки та різця (б)

На Рис 3. зображені графіки зміни складових температури різання в залежності від швидкості різання для мінералокерамічного (рис.3.3,а) та для твёрдосплавного різця (рис. 3.3,б).

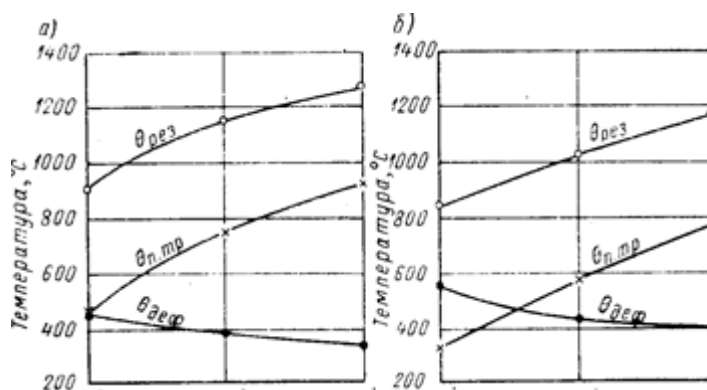




Рис. 3.3 Зміна складових температур різання при обробці сталі: а – для мінералокерамічного різця; б - для твердосплавного різця; сталь ОХН4М;  $t = 2$  мм;  $s = 0,14$  мм/об;  $\alpha = 10^\circ$

Як бачимо, зі збільшенням швидкості різання зменшується температура деформації, але зростає температура тертя. В результаті температура різання підвищується, але в значно меншому ступені, ніж сама швидкість.

Разом з тим за тих самих умов температура різання виходить більш високою при роботі мінералокерамічним різцем (рис. 3.3, а) порівняно з твердосплавним (рис. 3.3, б),

що підтверджується практикою.

Треба очікувати, що температура різання насправді повинна бути вищою, ніж це виходить розрахунком за теоретичною формулою, оскільки тут не враховано теплоту тертя задньої поверхні різця. Остання все більше проявлятиметься зі збільшенням швидкості різання в міру затуплення різця; при цьому особливо помітно буде підвищуватися температура оброблюваної деталі.

Оброблювана деталь нагрівається в основному теплотою деформації.

Очевидно, температура деталі повинна зменшуватися зі збільшенням швидкості різання, оскільки при цьому зменшується середня температура стружки (рис. 3). Подібний висновок підтверджується на практиці припрацюванні гострим різцем у нормальних умовах. Однак у міру затуплення різця та значного зменшення заднього кута і кута в плані положення змінюється. У цьому випадку зі збільшенням сили тертя помітно зростають робота та теплота тертя по задній поверхні різця, і тому температура деталі підвищується зі збільшенням швидкості різання  $v$ . На рис. 3.4 показано зміну температури деталі при фрезеруванні різьблення різцем, що обертається.

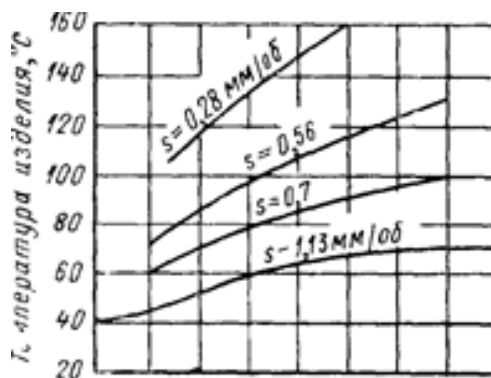


Рис 3.4. Температура оброблюваної деталі в залежності від подачі та зносу ріжучого інструменту.

Помічаємо постійне підвищення температури деталі в міру затуплення різця. Водночас температура оброблюваної деталі зменшується зі збільшенням подачі  $s$ . Це цілком закономірно, так як зі збільшенням  $s$  сила тертя на задній поверхні різця залишається майже незмінною, але за певної довжини деталі скорочується відносний шлях різця (час обробки) і, отже, зменшується робота сили різання.

Складніше ситуація з температурним полем різця. Можна було б припускати, що найбільша температура повинна бути поблизу ріжучої кромки, тому що тут розташовані основні джерела теплоти. На Рис. 3.5 схематично представлено температурне поле стружки та різця, складене Н. І. Резніковим за досвідченими даними інших дослідників.

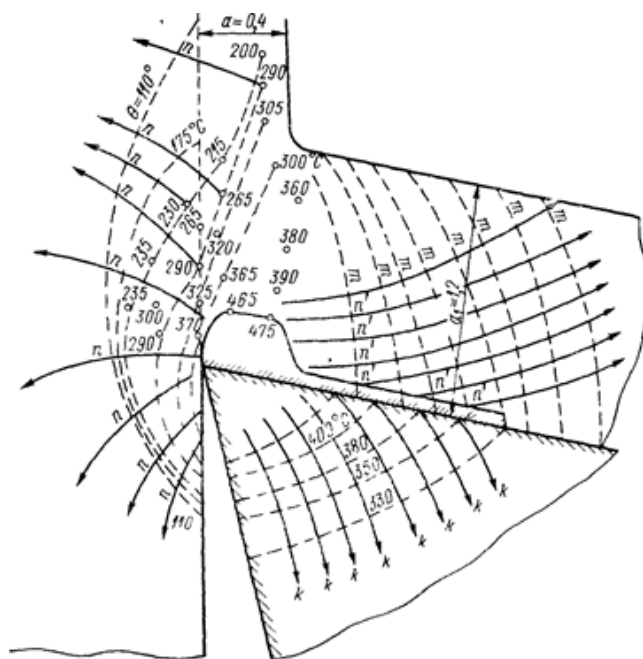


Рис 3.5. Температурне поле в зоні різання.

Лінії постійних температур  $m...m$  (ізотерми) у стружці розташовані паралельно поверхні зсуву (орієнтовно), а у різця майже концентрично навколо ріжучої кромки. У цьому випадку відповідно до теорії теплопровідності теплові потоки повинні бути спрямовані нормально ізотерм; у схемі вони показані відповідними кривими зі стрілками:  $p$  - докладно;  $p'$  - у стружку;  $k$  - у різець.

Найбільш високі температури спостерігаються поблизу ріжучої кромки і в зоні наросту. Насправді положення більш складне, так як температура різання залежить і від довжини контакту поверхні різання та стружки по задній та передній поверхнях інструменту. Чим менше довжина контакту задньої поверхні, тим нижче середнє значення температури різання і тим ближче до ріжучої кромки розташовується її максимум. Зі зменшенням довжини контакту стружки з передньою поверхнею середня температура також знижується, но максимум температури віддаляється від ріжучої кромки. При швидкісній обробці температура в зоні різання доходить до  $800^{\circ}\text{C}$ , а на поверхні тертя по передній грані досягає навіть  $1200^{\circ}\text{C}$  і вище.

Цікаво, що нагрівання державки з мало теплопровідною ріжучою пластиною з твердого сплаву і особливо мінералокераміки відбувається не лише за допомогою контактної передачі тепла від пластини до державки, але й значною мірою через випромінювання від стружки і поверхні різання, що переміщуються повз різець і передають йому частину теплоти. Це має істотне значення для стійкості ріжучого інструменту і точності обробки деталі, яка залежить від температурної деформації різця.

На рис. 6 показані криві температурного подовження мінералокерамічного різця, при обробці сталі ОХН4М. Можна помітити значне зменшення деформації різця з видаленням ріжучої кромки від державки різця або при ізоляції задньої поверхні різця.

Ефект випромінювання великою мірою залежить від здатності тіла поглинати теплові промені. Наприклад, абсолютно чорне тіло поглинає все тепло, що падає на нього (умовний коефіцієнт  $\varepsilon = 1$ )

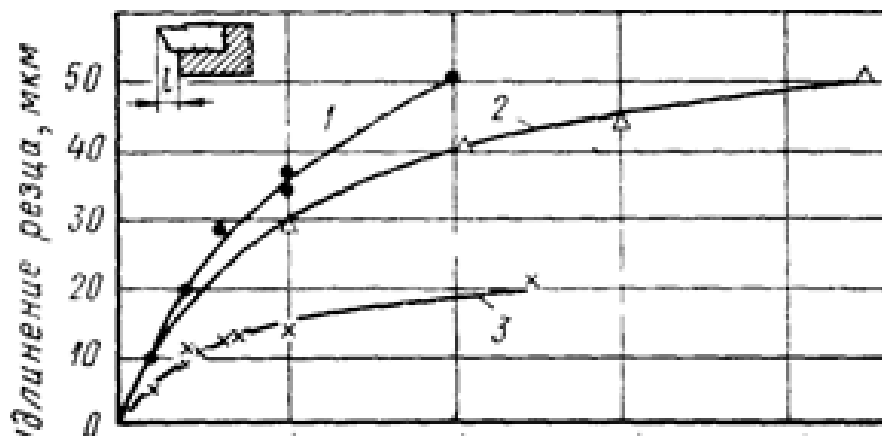


Рис 3.6. Криві температурного подовження мінералокерамічного різця.  
(1L=1.5mm, 2L=3mm, 3 – стружка відводилася від різця, або задні грані державки ізолювалися)

Значення  $\epsilon$  для різних тіл

Чавун шороховатий, сильно окислений – 0.94

Залізо матове окислене – 0.96

Залізо поліроване – 0.29

Мідь полірована – 0.13-0.17

Мідь прокатана – 0.64

Мідь шороховата – 0.76

Срібло – 0.03

Сажа, вугілля – 0.95

Ці дані становлять значний інтерес, тому що показують велику роль блискуче оброблених граней, ріжучого інструменту щодо його стійкості та якості обробленої поверхні.

При дуже низькій температурі всього виробу і великих швидкостях різання тонкий шар його обробленої поверхні може мати досить високу температуру, здатну змінити структуру цього шару. Тому, призначаючи режим різання, необхідно враховувати подальшу чистову обробку, на якій буде видалено пошкоджений шар деталі.

Теоретичний розрахунок температури різання зустрічає значні труднощі, тому що у відповідних розрахункових формулах незалежні змінні є насправді взаємозалежними параметрами. Так, теплоємність збільшується, а теплопровідність

зменшується зі зростанням температури. Довжина контакту стружки та різця зменшується зі збільшенням швидкості різання, але помітно зростає по мірі зносу різця та утворення лунки на передній поверхні різця.

Значення постійних коефіцієнтів також змінюються залежно від різних факторів. До цього треба додати, що температура різання залежить від виду процесу різання: при невільному різанні різець нагрівається більше, ніж при вільному різанні. Тому для розрахунку температури різання частіше користуються емпіричними формулами, що показують закономірності зміни температури різання в залежності від різних факторів і справедливими у певних межах та умовах.

### **Вплив різних факторів на температуру різання за експериментальними даними**

Як зазначалося, температура різання зростає менш інтенсивно, ніж швидкість. У міру нагрівання різця різниця температур стружки і різця падає, а тому інтенсивність передачі теплоти від стружки різцю зменшується. Отже, зі збільшенням швидкості різання  $v$  температура різця значно піднімається, але меншою мірою, ніж швидкість. Сучасні експериментальні дослідження процесу різання високоміцних сталей з ультрависокими швидкостями (до 72 000 м/хв), коли процес відбувався адіабатично (без теплообміну), показали температуру в зоні різання на рівні 30-65 °С, цілком допустимому стійкістю швидкорізального різця<sup>1</sup>. Треба вважати, що криві  $\theta-v$  з підвищенням швидкості різання будуть наближатися до рівня температури плавлення оброблюваного матеріалу, а потім знижуватися з подальшим підвищенням швидкості (Рис. 3.7).

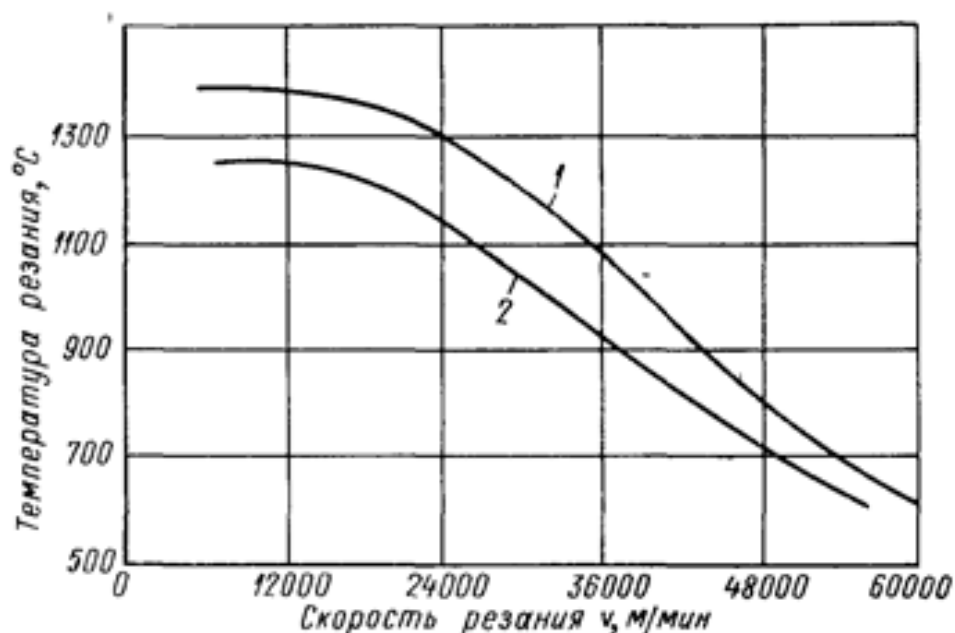


Рис 3.7. Вплив швидкості різання на температуру різання Ст 3.  
(1- $a=0.5$ mm, 2- $a=0.2$ mm)

Останні графіки отримані за досвідченими даними Д. Х. Касрадзе при різанні Ст.3  $v = 1000-60000$  м/хв. Подібне явище супроводжується різким зниженням сил різання та значним окришенням металу в зоні різання. Цей процес сприяє швидкому відриву стружки за повної відсутності пластичної деформації (усадки) стружки. Від'ємна усадка (подовження стружки), що спостерігається, могла бути викликана відцентровими силами при дуже великих швидкостях.

### **Вплив глибини різання та подачі.**

Не важко передбачити залежність між глибиною різання  $t$ , подачею  $s$  та температурою, якщо розглянути зміну приросту та відведення теплоти на різці зі зміною  $t$  та  $s$ . Зі збільшенням подачі зростає тиск стружки на різець, а разом з ним і робота деформації. Але при цьому, як відомо, усадка стружки зменшується і, отже, робота деформації, що припадає на 1 мм<sup>3</sup> стружки, також зменшується. До того ж, тертя на задній поверхні інструменту зі збільшенням подачі мало змінюється. Тому кількість теплоти, що утворюється в стружці, буде збільшуватися меншою мірою порівняно зі збільшенням подачі. У той самий час із потовщенням стружки

відведення теплоти поліпшується, т.к. площа контакту стружки з різцем розширюється. В результаті температура різання підвищується зі збільшенням подачі, але меншою мірою, ніж при підвищенні швидкості.

Ще менше впливає температуру різання глибина різання, тому що навантаження на одиницю довжини ріжучої кромки не змінюється: зі збільшенням глибини різання при постійному куті в плані, пропорційно збільшується довжина працюючої та ріжучої кромки, майже так само посилюється тепловідведення від неї, отже, на одиницю довжини ріжучої кромки збільшення припливу теплоти буде дуже незначним, в результаті температура мало зміниться зі збільшенням глибини різання.

### **Вплив матеріалу різця та оброблюваного матеріалу на температуру різання.**

Природно очікувати, що з різанні крихких металів, наприклад чавуну, коли робота пластичної деформації дуже мала і питомі сили різання незначні, температура різання помітно нижче, ніж під час обробки сталі. Тиск чавунної стружки зосереджується безпосередньо на ріжучій кромці або поблизу неї, але це дуже несприятлива обставина впливає більше на абразивно-механічне зношування ріжучої кромки, ніж на температуру різання.

Само собою зрозуміло, що нагрівання інструменту залежить від теплоємності і особливо теплопровідності матеріалу виробу і самого інструменту. Наприклад, при обробці кольорових металів температура різання повинна бути порівняно низькою не тільки через мале навантаження, але і внаслідок великої теплопровідності кольорових металів. І, навпаки, при різанні жароміцних сталей і сплавів, що мають низьку теплопровідність, значно підвищується температура різання (у два– три рази) порівняно з конструкційними сталями. Те саме можна сказати щодо інструменту: що нижча теплопровідність, то вище температура його ріжучої кромки.

З цієї причини температура різання під час роботи твердосплавними різцями виходить нижчою порівняно з мінералокерамічними (рис. 3.3). Те ж саме можна сказати і про вплив різця на температуру різання. Остання зменшується зі збільшенням площі поперечного перерізу різця.

Більше того, можна працювати різцями з кольорових металів, оскільки при  $v = 27000-36000$  м / хв сили різання різко знижувалися. (Термічні явлення при надшвидкісному різання металів ГСХ, XIV, Сухумі, 1970)

### **Вплив геометрії різця на температуру різання.**

Як відомо, зі збільшенням кута різання збільшується сила різання, отже, повинні підвищуватися кількість теплоти, що утворюється, і температура різання. Відведення тепла в даному випадку також посилюватиметься зі збільшенням кута клина (кута загострення), але меншою мірою, ніж теплоутворення, і в результаті температура буде зростати.

Величина кута у плані також впливає на температуру різання. Зі зменшенням кута дещо збільшується навантаження на різець і, здавалося б, нагрівання його має посилюватися. Проте

насправді виходить зворотнє: зі зменшенням кута подовжується ріжуча кромка, збільшується кут при вершині і як наслідок значно покращується тепловідведення.

На закінчення треба відзначити помітний вплив на температуру різання змащувано-охолоджуючих рідин. При цьому падіння температури викликане як охолодним ефектом, так і зменшенням тертя в процесі різання.

Шляхом математичної обробки дослідних графіків А. М. Данієлян вивів загальну формулу залежності температури різання від різних факторів при нормальній обробці сталі швидкорізальним різцем.

$$\theta = \frac{C_s v^{0.4} s^{0.24} t^{0.105} (\sin \varphi)^{0.25}}{k^{0.086} r^{0.11} F^{0.056}} \quad (3.3)$$

Де –  $k=t/s$ ;  $F$  - площа поперечного перерізу різця,  $C$  - постійна, яка залежить від оброблюваного матеріалу та інструменту, або у спрощеному вигляді для сталі ( $\sigma_B = 77$  кгс/мм<sup>2</sup>,  $\delta = 22\%$ )

$$\theta = 166,5 v^{0.4} t^{0.105} s^{0.2}$$



I для чавуну

$$\theta = 138v^{0.36}t^{0.09}S^{0.133}$$

### 3.3 Методи вимірювання температури різання.

Серед численних методів вимірювання температури різання можна назвати дві групи.

До першої групи належать методи, за допомогою яких вимірюється середня температура стружки, а також певних ділянок виробу або різця: калориметричний метод, метод квітів втечі, метод термофарб.

До другої групи належать методи, якими вимірюються температура вузько обмежених ділянок зони різання або різця, наприклад: метод термопар; оптичний та радіаційний методи.

Калориметричний метод, вперше застосований в лабораторії ЛПІ, іноді використовується і в даний час. У цьому випадку температура стружки розраховувалася за формулою

$$\theta_{стр} = \theta_{см} + \frac{g_{в}(\theta_{см} - \theta_{в})}{g_{стр}c_{стр}} \quad (3.4)$$

Де -  $\theta_{стр}$  – температура стружки,  $q_{в}$  – вага води,  $q_{стр}$  – вага стружки,  $\theta_{в}$  – початкова температура води,  $\theta_{см}$  температура суміші (стружка та вода)  $C_{стр}$  – теплоємність стружки.

Цей метод може дати тільки середню температуру стружки, отже, непридатний для дослідження температури на різних ділянках стружки та інструменту. Ним іноді користувалися для підрахунку сили різання; при цьому кількість теплоти ділилося на механічний еквівалент теплоти та визначалася робота.

Простий метод визначення температури за кольорами втечі не вимагає будь-яких пристосувань. Кольори втечі з'являються в результаті утворення найтонших плівок оксидів на нагрітій стружці; їх кольори залежать від ступеня нагрівання стружки.

Кольори втечі та відповідні їм температури (в °C):

Трохи жовтий – 200, Світло-жовтий – 220, Темно-жовтий – 240, Пурпуровий – 270, Темно-синій – 290, Світло синій – 320, Синьо-сірий – 350, Світло сірий, переходить у білий – 400.

Вважають, що за наявності деякого досвіду за кольорами втечі стружки нелегованої сталі можна визначити температуру з точністю  $\pm 5^\circ$ , тобто близько 2%. Однак насправді цей метод дає значно більшу похибку, що сягає іноді, як показали досліди Б. Т. Прушкова, навіть до 20-30% в залежності від товщини зрізу, часу роботи та ін. стружки, що визначає товщину плівки окису, а тим самим і її колір. Колір втечі змінюється залежно як від температури, а й від тривалості дії тепла. При охолодженні стружки змащувально-охолоджувальними рідинами кольору втечі

можуть зовсім зникнути, тим часом як стружка зберігає на поверхні контакту з різцем високу температуру.

Неточним є і метод термофарб, коли для виявлення температури користуються властивістю спеціальних фарб змінювати колір при певних температурах. Наприклад, при  $155^\circ\text{C}$  колір з пурпурного переходить у блакитний, при  $190^\circ\text{C}$  Сіз білого - в зелено-коричневий, при  $255^\circ\text{C}$  з зеленого - в темно-коричневий, при  $305^\circ\text{C}$  з жовтого - в червоно-коричневий, при  $440^\circ\text{C}$  з фіолетового - у білий.

При користуванні цим методом фарба поєднується з алкоголями і наноситься рівним шаром на межі досліджуваних різців. Деяка похибка в даному випадку полягає в тому, що

відтінок фарб, що переходять, змінюється в залежності від тривалості дії тепла.

Один з найбільш точних і водночас відносно простий спосіб - вимірювання температури різця за допомогою термопари, вперше застосованої Я. Г. Усачовим. Як відомо, при нагріванні місця спаю дротів із двох різнорідних металів, наприклад залізо – константан, мідь – константан, платина – іридій тощо, у ньому утворюються заряди протилежних знаків. Якщо вільні кінці дротів з'єднати, то в ланцюзі виникає термострум, електрорушійна сила якого пропорційна різниці температур місця спаю і холодних кінців дротів.

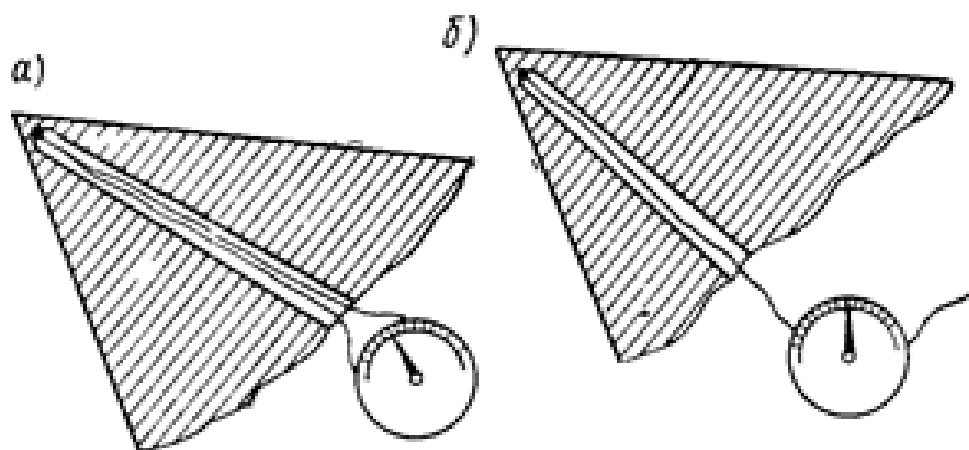


Рис 3.8. Термопара.

Величину електрорушійної сили або напруги можна вимірювати за допомогою гальванометра або мілівольтметра. Для переведення величини електрорушійної сили в градуси термопару

необхідно тарувати. На рис. 8, а показана термопара Я. Г. Усачова. Тут спай двох різних металевих дротів, ізольованих слюдою або скляною трубкою, вставивши канал, просвердлений у різці знизу. Дно цього каналу розташовують можливо ближче до передньої грані і ріжучої кромки різця, щоб виміряти температуру можливо ближче до джерел теплоти. Недоліки цього способу: віддаленість спаю термопарної ділянки максимальної температури та необхідність підтримувати постійним тиск між спаєм та дном отвору.

Більш вдалою виявилася інша термопара (рис. 8 б), в якій дріт, наприклад константанова, також ізольована від стінок каналу, розклепується на задній грані різця можливо ближче до ріжучої кромки. Тут термопарою є дріт і матеріал самого різця. За допомогою такої термопарії Г. Усачов провів низку температурних досліджень із достатньою точністю. Нею скористався ряд наших дослідників при визначенні температурного поля різця. Для цього в головці різця просвердлювалося вздовж головної та допоміжної ріжучих кромки певну кількість отворів, куди вставлялися термопари.

До голівки різця зверху прикріплювалася тонка пластина (товщиною приблизно 2 мм), що служила передньою поверхнею різця. На рис. 3.9 показано

температурне поле передньої поверхні, отримане А. М. Даніеляном при обробці сталі зі швидкістю  $v = 38$  м/хв,  $t = 2$  мм;  $s = 0,54$  мм/об.

Цей спосіб виміру має свої недоліки; вимірюється температура на одному обмеженому ділянці і, до того ж дещо віддаленому від основних джерел теплоутворення; необхідно мати спеціальні різці; недовговічність різців, оскільки після однієї-двох перетікань термопара руйнується.

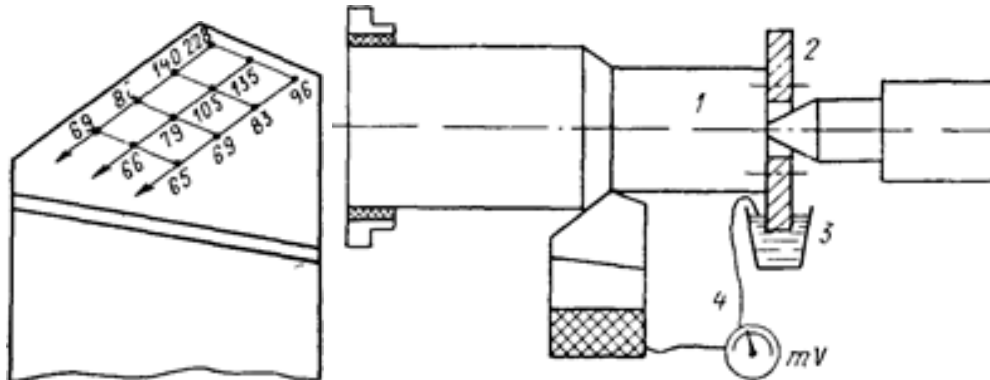


Рис 3.9. Температурне поле на передній поверхні різця.

Рис 3.10. Схема термопари

В даний час температурні дослідження проводяться за допомогою так званої природної термопари, що складається з самого виробу і ріжучого інструменту (рис. 10). У процесі різання у місці контакту різнорідних матеріалів виробу і різця внаслідок нагрівання виникає електрорушійна сила. Термострум у цьому випадку направляється по оброблюваній деталі 1 через мідне кільце 2, а потім через ртуть у ванні 3, що служить для контакту кільця, що обертається 2 з дротом 4. При цьому мілівольтметр покаже напругу термоструму, по якому можна судити про температуру різання. Оброблений виріб ізолюваний від патрона і заднього центру, а різець від супорта - за допомогою прокладок.

У практиці цей метод вимірювання був значно спрощеним, що відмовилися від ізолювання оброблюваного виробу від станку. Контактівання через кільце та ртуть, як показано на рис. 10, а також ізолювання заднього центру від виробу були продиктовані бажанням звільнитися від другої додаткової термопари, що виходить у місці контакту заднього центру та виробу; здавалося б, при цьому додатковий термострум повинен порушити правильність показань основної термопари. Нової

дійсності роль другої термопари виявилася нікчемною внаслідок слабого розігрівання заднього центру в порівнянні з різцем, і тому практично стало цілком можливим працювати без ізоляції заднього центру (рис. 3.11). Це значно спростило весь пристрій, звільнивши його від додаткових пристроїв, оскільки тепер другий провід приєднувався до будь-якої точки верстата.

У цьому виді метод природної термопари був би цілком придатний для застосування, якби не складність тарування подібного пристрою, що полягає в тому, що для кожного оброблюваного матеріалу і різця необхідно будувати свою криву таріровку залежності між температурою і показаннями мілівольтметра. Для цього застосовують різні методи тарування.

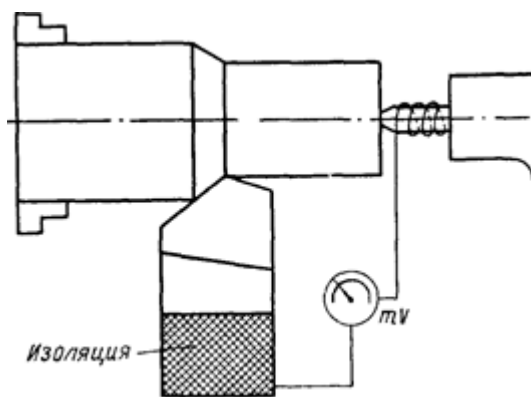


Рис 3.11. Спрощена схема термопари

Найбільш простий з них полягає в наступному: у ванну з розплавленим оловом (або алюмінієм для тарування вище  $600^{\circ}\text{C}$ ) занурюються зливна стружка, знята з оброблюваної деталі, і різець. Стружка та різець з'єднуються дротом із гальванометром. При нагріванні ванни (наприклад, в електропечі) температура її реєструється контрольною термопарою і одночасно записуються показання гальванометра. Надалі виявилось, що з тарування замість стружки можна використовувати брусок оброблюваного матеріалу.

Насправді умови нагрівання в процесі різання відрізняються від умов тарування, оскільки в обох випадках не забезпечуються однакові площі контакту металу, що обробляється, з різцем. До того ж при таруванні вимірюється постійна температура контакту зразка та інструменту, тим часом як на площі контакту стружки і передньої поверхні інструменту в процесі різання розвивається температура різної

напруженості в різних точках контакту і природна термопара вимірює певну усереднену температуру.

На Рис. 3.12 показана схема напівприродної термопари, застосованої в ЛПІ для вимірювання температури різання при тонкому точінні мінералокерамічним різцем.

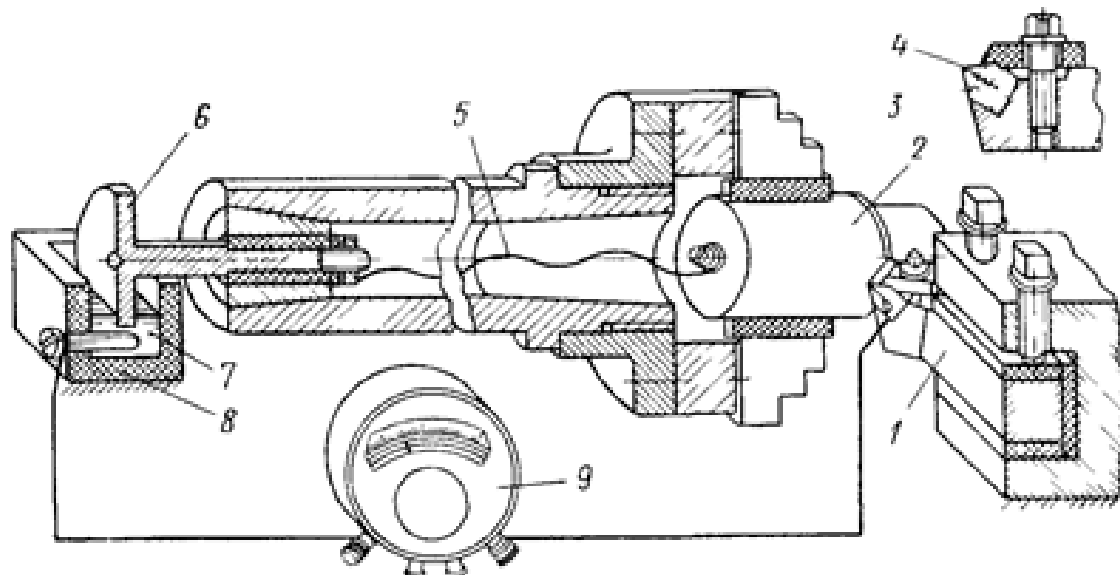


Рис 3.12. Термопара для виміру температури різання мінералокерамічним різцем.

(1\_ різець, 2 — деталь, що обробляється, 3 — мінералокерамічна пластина, 4 — елемент термопари (алюмель), 5 — дріт, 6 — диск, 7 — ртуть, 8 — ванна, 9 — гальванометр)

Оптичний та радіаційний методи. Оптичні пірометри для вимірювання температури різання застосовуються при швидкісній обробці металу, коли стружка та різець нагрівалися дуже аж до світлого гартування. Однак досвід використання цього методу недостатній, щоб можна було зробити певні висновки.

Радіаційний метод вимірювання температури, запропонований Ф. Швердом, заснований на вимірюванні теплоти випромінювання (Рис. 3.13).

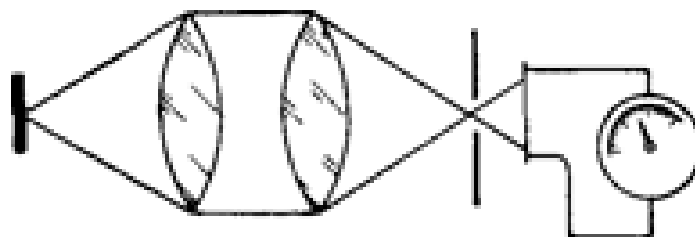


Рис 3.13. Радіаційний метод виміру температури.

Він дає можливість вимірювати температуру різання на будь-якій ділянці стружки та різця. Необхідно лише ізолювати інші промені, що відображаються не з точок, що фіксуються. Схема влаштування цього приладу проста. Тепловий промінь, спрямований від ділянки, що спостерігається, проходить через дві лінзи, отвір на екрані і падає на фотоелемент. Високочутливий гальванометр, відповідно проградуєований, показує температуру ділянки, що спостерігається. Цей метод дозволяє детальніше досліджувати температуру стружки та інструменту, але він не набув широкого поширення через такі недоліки.

1. Поява тонких оксидів на поверхні стружки спотворює правильність показань приладу.

2. Значні труднощі є таруванням приладу, оскільки теплота випромінювання залежить не тільки від температури нагрітої ділянки, але ще від кольору і стану його поверхні; шорстка поверхня стружки випромінює більше теплоти, ніж гладка поверхня, що тарується.

3. Кріплення приладу на різці незручно, а при встановленні його поза різцем коливання останнього в процесі різання заважають вимірювання температури певної точки.

4. Прилад порівняно складний.

Оригінальний спосіб вимірювання температури в процесі різання шляхом аналізу мікроструктури найтоншого шару обробленої поверхні, що зазнає помітних змін досить великому нагріванні, застосував Б. І. Костецький. Але і цей метод поки не набув поширення, так як його можна використовувати тільки при високих режимах різання, коли поверхня різання або оброблена поверхня нагрівається вище за критичні точки.

Необхідно відзначити, що ступінь зміни температури різання в процесі роботи є певною мірою критерієм оброблюваності металу та якості ріжучого інструменту. Однак не завжди є закономірний зв'язок між температурою різання та інтенсивністю затуплення ріжучого інструменту, так як затуплення значною мірою залежить від мікроструктури матеріалу, що обробляється.

## **Висновки**

При виконанні кваліфікаційної роботи, було досліджено технологічний процес обробки для однієї з операцій виготовлення деталі “Вал Н19.31.30.01”.

При вивченні базового технологічного процесу було покращено способи обробки деталі, удосконаливши технологічний процес, та технологічне оснащення. Спосіб отримання заготовки запропоновано змінити з прокату на поковку так як вона є найбільш економічно і технологічно вигідним способом. Було обрано нове сучасне обладнання та інструмент для обробки деталі, вище вказані моделі верстатів дозволяють ефективніше і більш точно виконувати обробку деталі, зменшуючи при цьому час обробки деталі. Обґрунтовані схеми базування для шліфувальної, токарної чорнової та чистової операції. Також враховані режими різання, верстатне оснащення, вибрано вимірювальний та ріжучий інструмент які задовільняють умови якості отримання деталі.

Крім того, в роботі запропоновано верстатний пристрій для фрезерної операції, який дозволяє підвищити продуктивність праці.

Науково-дослідницька частина містить в собі розбір та опис поняття температура при обробці деталей, звідки з’являється, на що вона впливає, та яким саме чином, також опис способів вимірювання та контролю температури різання в точці контакту ріжучої кромки з заготовкою.

В додатку Б маємо роботу на тему Техніки безпеки, а саме першої медичної допомоги при ураженні людини електричним струмом.



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. **Егоров, М. Е.** Технология машиностроения : учебник [Текст] / М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев ; Под ред. М.Е. Егорова. — 2-е изд., доп. — М. : Высшая школа, 1976. — 534 с.
2. **Панов, А. А.** Обработка металлов резанием: справочник / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм и др.; под ред. А. А. Панова. — М. : Машиностроение, 1988. — 736 с.
3. **Корсаков, В. С.** Основы конструирования приспособлений: учебник для вузов / В. С. Корсаков. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1983. — 277 с.
4. **Косилова, А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т.1 [Текст] / А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1986. — 656 с.
5. **Косилова, А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т.2 [Текст] / А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1986. — 496 с.
6. **Руденко, П. А.** Проектирование технологических процессов в машиностроении : учебник для вузов / П. А. Руденко. — Киев: Вища школа, 1985. — 255 с.
7. **ДСТУ ГОСТ 26645-85.** Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. — К.: ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2003. — 55 с.
8. **Горбачевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пос. [Текст] / А. Ф. Горбачевич, В. А. Шкред. — 4-е изд., перераб. и доп. — Минск : Высшая школа, 1983. — 256 с.
9. Методические указания к практическим работам «Автоматизированное проектирование карты операционных эскизов в интегрированной системе «Компас» по курсу «САПР технологических процессов»/ сост. Е. П. Квасов, А. Н. Онищенко. — Сумы : СумГУ, 1997. — 25 с.

10. Методические указания к практической работе «Автоматизированное проектирование карты наладки в интегрированной системе «Компас» по курсу «САПР технологических процессов» / сост. Е. П. Квасов, А. Н. Онищенко. – Сумы : СумГУ, 1999. – 21 с.

11. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – Ч. 1. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, долбежные и фрезерные станки. – М. : Машиностроение, 1974. – 416 с.

12. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – Ч. 3. Протяжные, шлифовальные и доводочные станки. – 3-е изд. – М. : НИИ труда, 1978. – 360 с.

13. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Технологія машинобудування» / укладач О. У. Захаркін. – Суми : Вид-во СумДУ, 2009. – 41 с.

14. Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проектів з технології машинобудування : у 2 ч. – Ч. 1. Загальні відомості / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 55 с.

15. Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проектів з технології машинобудування: у 2 ч. – Ч. 2. Приклади оформлення технологічної документації / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 59 с.

16. ГОСТ 3.1702-79 ЕСТД. Правила записи операций и переходов. Обработка резанием. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 32 с.