

**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 (проекту)

другий (магістерський)
(освітньо-науковий рівень)

на тему

**«Удосконалення технологічного процесу
виготовлення втулки п'яти 5М-02-07 шляхом
застосування високопродуктивних інструментів та оснастки»**

Виконав: студент ІІ курсу, групи ТМ.м-91
спеціальності: 131 – прикладна
механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми: технології
машинобудування

(назва освітньої програми)

Остапенко Б. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Кушніров П. В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Суми – 2020 року

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Інститут, факультет	Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра	Технологія машинобудування, верстати та інструменти
Освітньо-науковий 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

«___» _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ

Остапенко Богдан Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) **«Удосконалення технологічного процесу виготовлення втулки п'яти 5М-02-07 шляхом застосування високопродуктивних інструментів та оснастки»**

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «___» _____ 2020 року за № _____

2. Строк подання студентом роботи (проекту) «16» грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи (проекту) _____

- креслення деталі «Втулка п'яти 5М-02-07»,

- річний обсяг випуску деталей – 4000 шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Актуальність досліджень, визначення завдань досліджень.

2. Дослідити базовий технологічний процес виготовлення деталі «Втулка п'яти».

3. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі «Втулка п'яти».

4. Наукові дослідження.

5. Розрахунок припусків на обробку.

6. Визначення режимів різання, технічне нормування операцій.

7. Проектування верстатного пристрою.

8. Креслення заготовки, маршруту обробки, налагодження.

9. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Консультанти розділів роботи (проекту)

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

6. Дата видачі завдання «10» вересня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи (проекту)	Строк виконання етапів роботи (проекту)	Примітка
1	Аналіз базового процесу обробки втулки п'яти	01.10.2020	
2	Удосконалення технологічного процесу обробки втулки п'яти	15.10.2020	
3	Проектування верстатного пристрою	28.10.2020	
4	Наукові дослідження	09.11.2020	
5	Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	17.11.2020	
6	Формулювання загальних висновків	24.11.2020	
7	Оформлення роботи	28.11.2020	
8	Підготовка презентації	11.12.2020	
9	Підготовка доповіді	15.12.2020	

Студент

_____ (підпис)

Богдан ОСТАПЕНКО

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи (проекту)

_____ (підпис)

Павло КУШНІРОВ

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідуючий кафедрою

_____ Віталій ІВАНОВ

«___» грудня 2020 р.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ
ВТУЛКИ П'ЯТИ 5М-02-07 ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ
ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ТА ОСНАСТКИ**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра
Спеціальність 131 – прикладна механіка

Студент

Б. А. Остапенко

Керівник

П. В. Кушніров

Консультант з розділу охорони праці
та безпеки в надзвичайних ситуаціях

В. В. Фалько

Нормоконтроль

О. В. Івченко

Суми – 2020

РЕФЕРАТ

Записка: 129 с., 38 рис., 26 табл., 4 додатків, 46 посилань.

Об'єкт розробки – деталь «Втулка п'яти 5М-02-07», що входить до складу насосу типу ЦНС.

В даному дипломному проекті за освітнім рівнем магістра проаналізували службове призначення виробу – насосу типу ЦНС, вузла та деталі «Втулка п'яти», крім того технічні вимоги та показники технологічності конструкції деталі. Було обгрунтовано вибір методу отримання заготовки штамповкою, розраховані припуски на діаметральний розмір.

Також для операцій 015, 040 та 055 було проведено аналіз з обгрунтуванням схем базування деталі; обгрунтовано вибір металорізального устаткування, верстатного пристрою, різальних та вимірювальних інструментів; було проведено розрахунки режимів різання та нормування розглянутих операцій.

Спроектовано спеціальний верстатний пристрій для свердлильної з ЧПК операції. Досліджено умови обробки тонкостінних деталей та їх деформацій. Проведено комп'ютерне моделювання деформацій, переміщень і напружень деталі «втулка п'яти».

Оформлено карти технологічного процесу обробки деталі «Втулка п'яти 5М-02-07».

ВТУЛКА, АНАЛІЗ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ,
ЗАГОТОВКА, ТИП ВИРОБНИЦТВА, ІНСТРУМЕНТ, ПРИСТРІЙ,
ДЕФОРМАЦІЇ, МОДЕЛЮВАННЯ

ABSTRACT

Report: 129 pages, 26 tables, 38 pictures, 4 additions, 46 sources.

The object of researching is part «Sleeve 5M-02-07», which is part of the centrifugal type pump.

In the given diploma project on the educational and qualification level of the master, the official purpose of the product- centrifugal type pump and part «Sleeve 5M-02-07», as well as technical requirements and technological indicators of the part design are analyzed. The choice of the method of obtaining the initial blank by stamping was justified, machining allowances for diametral dimension were calculated.

For operations 015, 040 and 055 an analysis and justification of the workpiece basing scheme were carried out; the choice of metal-cutting machines, tools, cutting and measuring tools is justified; the cutting conditions were calculated and operations were normalized.

A special fixture for CNC drilling operation has been designed. The conditions of processing of thin-walled details and their deformations are investigated. Computer simulation of deformations, displacements and stresses of the part «Sleeve 5M-02-07» has been carried out.

The cards of the manufacturing process of the «Sleeve 5M-02-07» are issued.

SLEEVE, ANALYSIS, TECHNOLOGICAL PROCESS, PROCESSABILITY, BILLET, TYPE OF PRODUCTION, TOOL, DEVICE, DEFORMATION, MODELING

Зміст

	с.
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1.....	7
АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	7
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації.....	7
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі та визначення технологічних завдань щодо її виготовлення.....	13
1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації.....	16
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	18
1.5 Аналіз технологічної операції існуючого або типового технологічного процесу.....	22
1.6 Висновок.....	26
РОЗДІЛ 2.....	29
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	29
2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі.....	29
2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки.....	30
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання.....	35
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки.....	37
2.5 Обґрунтування вибору металорізального верстата.....	44
2.6 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів.....	48
2.7 Розрахунок режимів різання.....	50
2.8 Технічне нормування операцій.....	59
2.9 Проектування верстатного пристрою.....	65
2.10 Проектування контрольно-вимірювального приладу.....	74
2.11 Висновок.....	94
РОЗДІЛ 3.....	95
ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ УМОВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ ТА МАТЕМАТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЇХ ДЕФОРМАЦІЙ.....	95
ВИСНОВКИ.....	110

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....111

Додаток А

Креслення деталі

Додаток Б

Розрахунок припусків на діаметральні розміри

Додаток В

Специфікація (верстатний пристрій)

Додаток Г

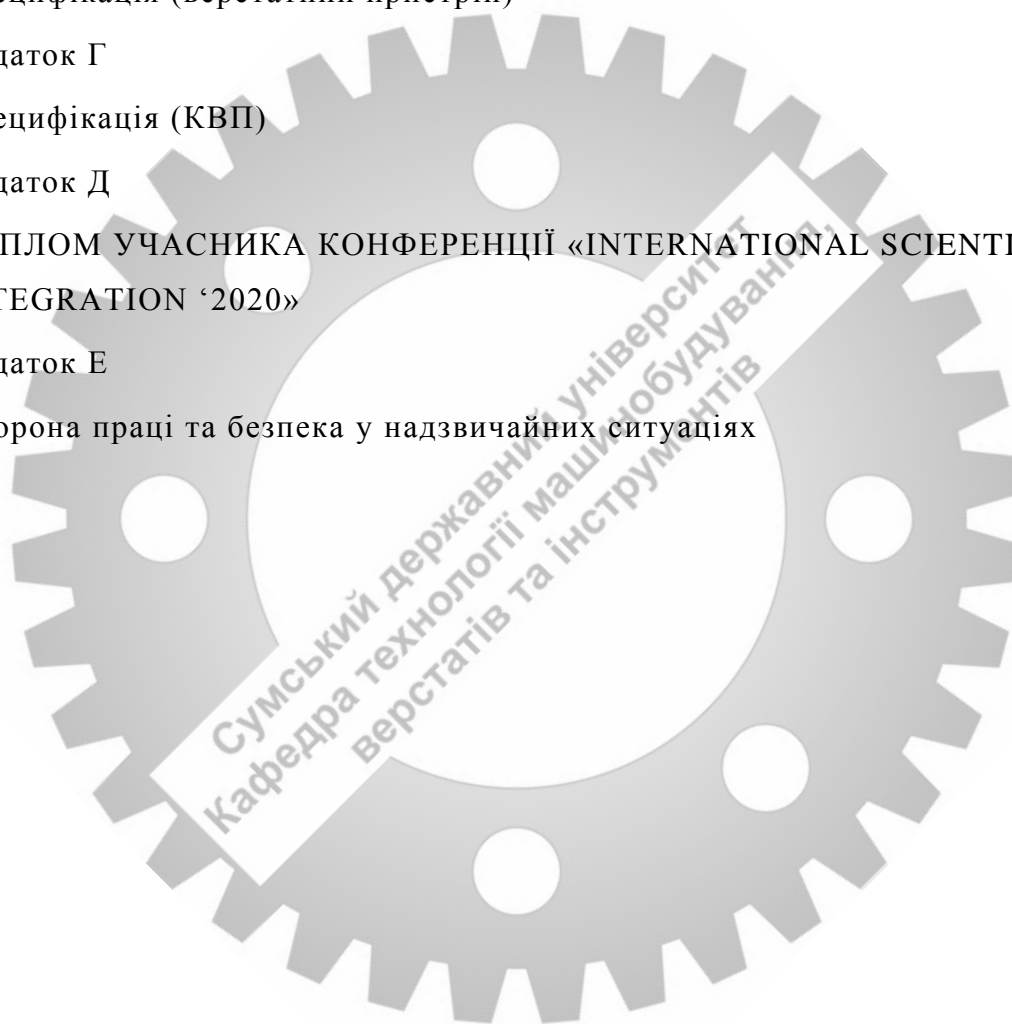
Специфікація (КВП)

Додаток Д

ДИПЛОМ УЧАСНИКА КОНФЕРЕНЦІЇ «INTERNATIONAL SCIENTIFIC
INTEGRATION '2020»

Додаток Е

Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях



ВСТУП

Актуальність теми. Насоси типу ЦНС призначені для перекачування чистої води. Їх використовують для водозабезпечення об'єктів промисловості, житлово-комунального господарства, для подачі води в нафтоносні пласти, для водовідливу кам'яновугільних шахт. Від цих насосів може залежати функціонування інфраструктури цілого міста, тому якість їх виготовлення є дуже важливим питанням. З огляду на це модернізацію та удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Втулка п'яти», що є елементом вузла у насосі типу ЦНС, цілком можна вважати актуальною темою. Удосконалення технологічного процесу дозволяє зменшити витрати ресурсів на виготовлення виробу, що у кінцевому підсумку дозволить зменшити собівартість продукту. А модернізація дозволить використовувати сучасні технологічні рішення під час виробництва, що безперечно позитивно вплине на високу якість деталей.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема роботи пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» СумДУ щодо підвищення ефективності процесів механічної обробки (тема держбюджетної НДР «Підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення деталей та складання машин шляхом вдосконалення методів механічної обробки конструкційних матеріалів, технологічного устаткування та оснащення, систем якості організації та методів викладання технічних дисциплін» (0116U000933)).

Мета дослідження. Метою дослідження є удосконалення технологічного процесу виготовлення втулки п'яти 5М-02-07 шляхом застосування високопродуктивних інструментів та оснастки.

Задачі дослідження:

1. Виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі.
2. Розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі.

3. Спроекувати спеціальну конструкцію верстатного пристрою для установки заготовки на операції свердлильна з ЧПК.
4. Спроекувати спеціальну конструкцію контрольно-вимірювального пристрою для контролю радіального биття поверхні деталі.
5. Виконати дослідження умов механічної обробки тонкостінних деталей. Сформулювати рекомендації щодо вдосконалення технологічної підготовки виробництва у заданих умовах.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення «втулки п'яти 5М-02-07».

Предмет дослідження – оптимізація режимів різання на операції токарна з ЧПК.

Методи дослідження. Результати роботи отримані на основі математичних прогнозувань у програмних комплексах ANSYS Workbench та Solidworks Simulation. Твердотільну модель деталі розроблено у пакеті Solidworks.

Наукова новизна:

- визначено, що запропонована концепція визначення раціональних умов бездеформаційної обробки тонкостінних деталей може бути реалізована методами математичного прогнозування їх деформації в заданих умовах обробки;
- визначено, що одним з перспективних інструментів для оперативного визначення очікуваної поведінки тонкостінних деталей є обчислювальні програмні системи типу ANSYS Workbench та SolidWorks Simulation;
- визначено, що удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Втулка п'яти 5М-02-07» може бути реалізовано проектуванням спеціальних верстатного та контрольно-вимірювального пристроїв, а також оптимізацією режимів обробки на операціях.

Практичне значення. Отримані в роботі результати створюють певні передумови для подальшого вивчення проблеми, створення її теоретичної бази і формування на їх основі методичних рекомендацій та інженерних інструментів, що забезпечують застосування обговорюваної методології в виробничих умовах.

Апробація роботи. Матеріали магістерської випускної роботи апробовані на науковій інтернет-конференції «INTERNATIONAL SCIENTIFIC INTEGRATION '2020», що відбулася 9-10 листопада 2020 р. у місті Seattle, USA (США).

Публікації. Матеріали конференції:

Ostapenko, B.A. Modular Mills for Processing of Box Joints / P.V. Kushnirov, B.A. Stupin, B.A. Ostapenko // INTERNATIONAL SCIENTIFIC INTEGRATION '2020 (November 9-10): Sworld-Us conference proceedings. – Seattle, Washington, USA: «ISE&E» & SWorld in conjunction with KindleDP, 2020. No 4 on November 10.– pp. 47-50.

ISSN 2709-2267. ISBN 979-8-5776002-6-6.

DOI: 10.30888/2709-2267.2020-4.

CID: US04-068.

Особистий внесок автора. Автором виявлені недоліки базового технологічного процесу виготовлення деталі. Запропоновані нововведення, спрямовані на вдосконалення існуючої технології. Спроектвані конструкції верстатного та контрольно-вимірювальних пристроїв. Виконано дослідження режимів різання на операції токарна з ЧПК. Запропоновано метод математичного прогнозування деформацій тонкостінних деталей. Сформульовані висновки та рекомендації.

Структура та обсяг роботи. Робота складається із вступу, трьох розділів, списку джерел посилань і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 129 сторінок, у тому числі 38 рисунків, 26 таблиць, бібліографії із 46 джерел, чотирьох додатків на 18 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Призначення виробу

Насоси ЦНС - це багатоступінчасті секційні відцентрові насоси, які мають горизонтальну конструкцію і призначені для перекачування чистої холодної і гарячої води, а також інших невибухонебезпечних рідин, схожих з водою по в'язкості і хімічній активності. Температура води, що перекачується насосами ЦНС до $+45^{\circ}\text{C}$.

Насоси ЦНС застосовуються для водопостачання об'єктів промисловості, житлово-комунального господарства, для подачі води в нафтоносні пласти, для водовідливу кам'яновугільних шахт.

Матеріали

- кришок і секцій – поковки з вуглецевої сталі з корозієстійкими наплавками по ущільнюючим поверхням;
- деталей проточної частини – відливки і поковки з хромованих сталей 20X13 та 30X13;
- деталей шпаринних ущільень – корозієстійкі сплави;
- вала – сортовий прокат із конструкційної легованої сталі 40X.

Принцип роботи виробу

Принцип дії багатоступеневих відцентрових насосів типу ЦНС полягає в створенні надлишкового тиску в нагнітальному трубопроводі за рахунок передачі руху від лопастей обертового робочого колеса рідини.

Лопасті робочого колеса при обертанні взаємодіють з рідиною, що знаходиться всередині секції, надаючи їй відцентрове прискорення. При цьому на периферії секції виникає зона надлишкового тиску, а по осі

обертання робочого колеса - зона розрядження. Рідина з всмоктувального трубопроводу надходить в першу робочу секцію обладнання.

Будова виробу

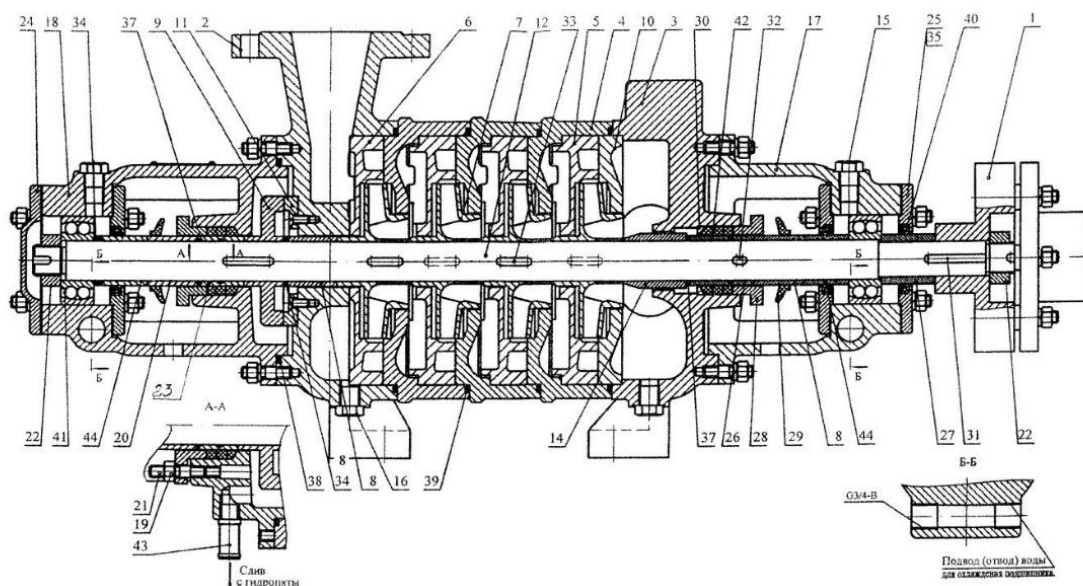
Секції з'єднані між собою напрямними апаратами, що з'єднують нагнітальний вихід попередньої секції з входом наступної секції. Рідина, що отримала додатковий натиск від робочого колеса першої секції надходить через направляючий апарат до другої секції, де також піддається впливу лопастей обертового робочого колеса. Таким чином тиск рідини в кожній наступній секції збільшується. Пройшовши всі секції багатоступінчастого насоса, рідина надходить через кришку нагнітання в нагнітальний трубопровід.

Такий вид обладнання для перекачки рідини, в залежності від потреб, може бути скомплектований з різної кількості секцій, що дозволяє отримати на виході необхідний напір рідини, не змінюючи її витрати. При цьому габарити обладнання змінюються незначно.

Опис деталі

Деталь «Втулка п'яти» використовується в насосі типу ЦНС як елемент вузла розвантаження. Вузол представляє собою гідравлічну п'яту, що складається із втулки, диска гідравлічної п'яти та кільця гідравлічної п'яти.

В процесі роботи, за рахунок впливу рідини на поверхню лопастей робочих коліс, виникає сила, що впливає на ротор і спрямована в бік всмоктуючого патрубку. Для нейтралізації цього тиску в конструкції обладнання передбачена гідравлічна п'ята.



- | | | | |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| 1-муфта; | 12-вал; | 24-крышка глухая; | 34-кольца регулировочные; |
| 2-крышка нагнетания; | 14-втулка; | 25-крышка; | 35-прокладка; |
| 3-крышка всасывания; | 15-пробка; | 26-втулка; | 37,38,39-кольца резиновые; |
| 4-корпус; | 6-пробка; | 27-втулка специальная; | 40-манжета; |
| 5-аппарат направляющий; | 17-кронштейн передний; | 28-втулка сальника; | 41-подшипник; |
| 6-аппарат направляющий на выдаче; | 18-кронштейн задний; | 29-кольцо (отбойник); | 42-сальниковая набивка; |
| 7-колесо рабочее; | 19-гайка; | 30-кольцо; | 43-штуцер |
| 8-втулка; | 20,23-втулка; | 31-шпонка; | (в комплект поставки |
| 9-диск гидравлической пяты; | 21-шпилька; | 32, 33 -шпонка; | не входит); |
| 10-кольцо; | 22-гайка; | | 44-втулка. |
| 11-кольцо гидравлической пяты; | | | |

Рисунок 1.1 – Будова насосу типу ЦНС

Отвір у нагнітаючій кришці і втулка утворюють між собою кільцевий зазор, через який проходить рідина і чинить тиск на поверхню диска гідравлічної п'яти. Величина тиску автоматично вирівнюється із зусиллям, яке впливає на робоче колесо, але у напрямку протилежна - діє в бік нагнітання. За рахунок такого пристрою, ротор повністю урівноважений.

Втулка має 2 різьбових отвори, через які вона кріпиться до кільця гідравлічної п'яти та 8 скрізних отворів, через які проходять болти, що скріплюють диск, втулку та кільце гідравлічної п'яти разом.

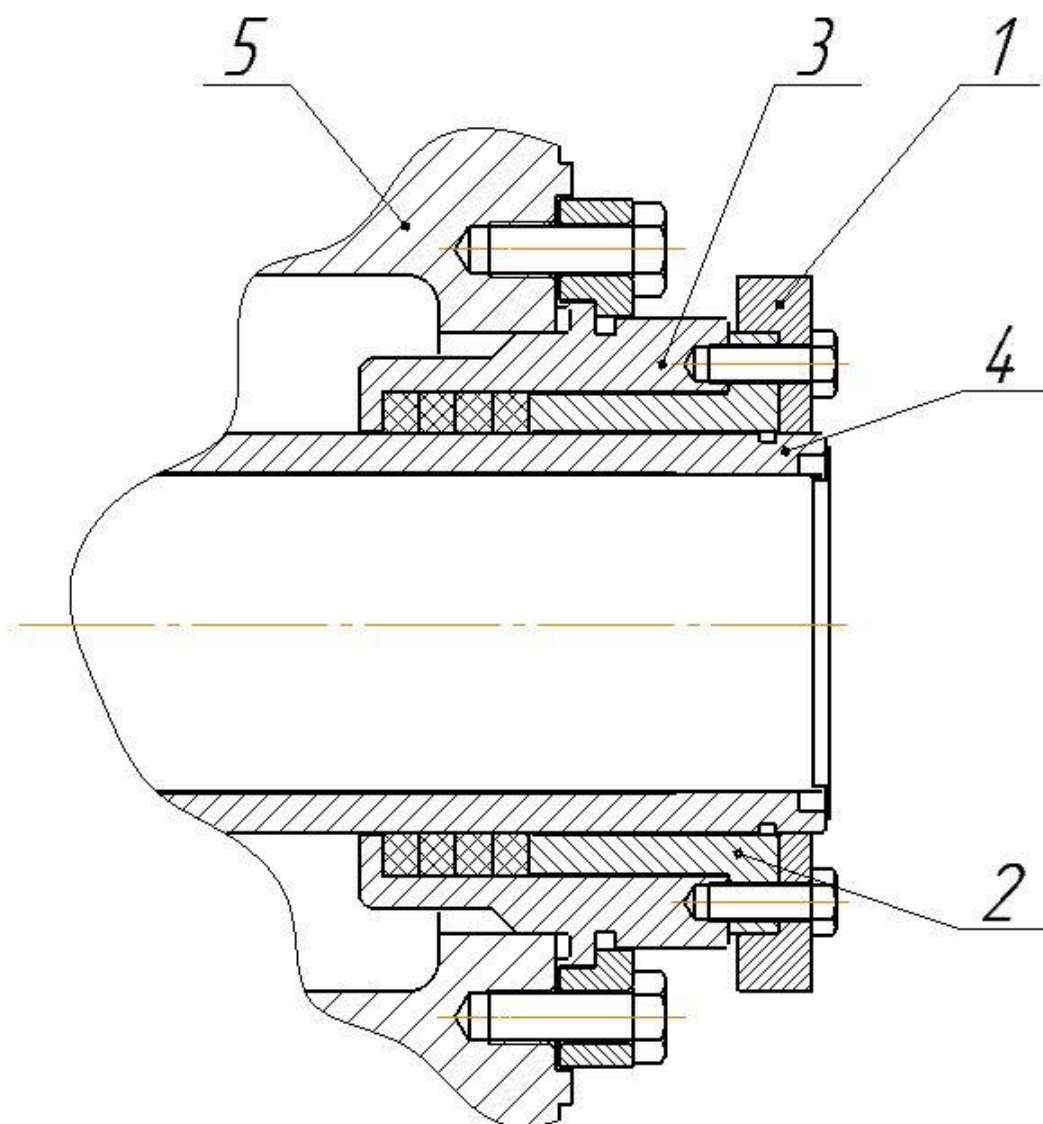


Рисунок 1.2 – Гідропа́ята (1 – кільце гідропа́яти; 2 – втулка гідропа́яти;
3 – диск гідропа́яти; 4 – втулка; 5 – корпус)

Базування

Схема базування у вузлі: подвійна опорна, установча та опорна бази

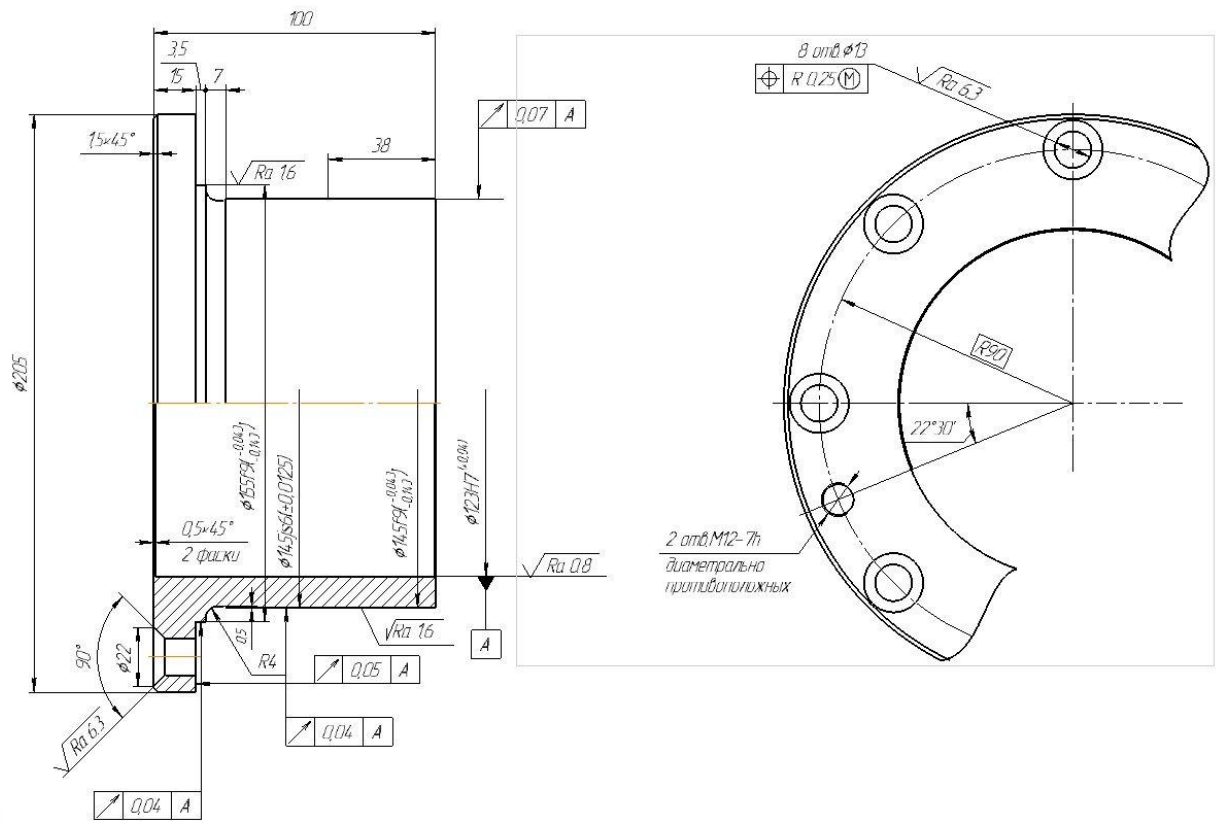


Рисунок 1.3 – Креслення деталі «Втулка п'яти»

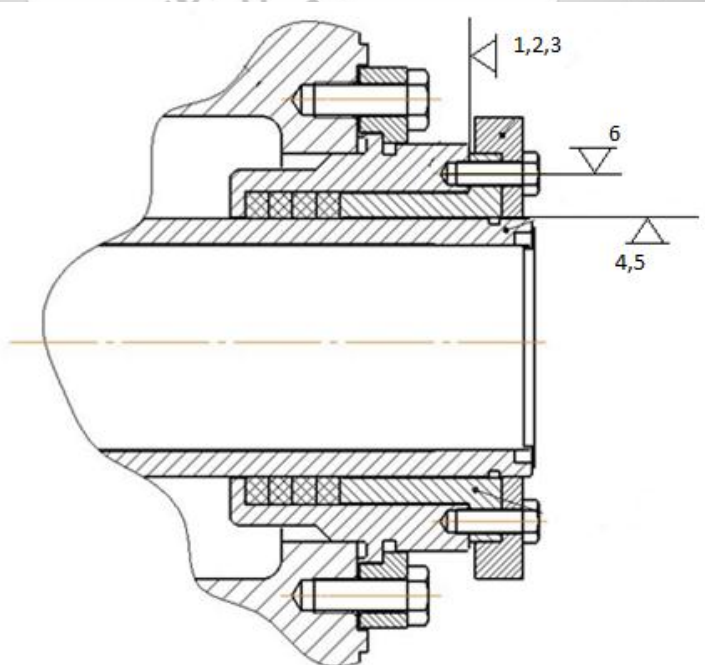


Рисунок 1.4 – Схема базування деталі у вузлі

Таблиця 1.1 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Степені свободи	Найменування бази
1, 2, 3,	I, V, VI	УБ
4,5	II, III	ПОБ
6	IV	ОБ

Таблиця 1.2 – Матриця зв'язків

	x	y	z	Найменування бази
L	1	0	0	УБ
α	0	1	1	
L	0	1	1	ПОБ
α	0	0	0	
L	0	0	0	ОБ
α	1	0	0	

Схема базування при обробці: установочна та подвійна опорна бази.

Деталь являє собою тіло обертання, тому для її обробки на токарному верстаті можна використовувати 3-кулачковий самоцентрувальний патрон. При обробці деталі на свердлильному верстаті, для її закріплення на столі можна використовувати універсально-складальні пристрої або спеціальний пристрій.

Аналіз конструкторських баз

Основні конструкторські бази: циліндрична поверхня 8, торець 14 та отвір 11. Ці поверхні визначають положення деталі у вузлі.

Допоміжні конструкторські бази: торець 7 та циліндрична поверхня 1. Ці поверхні визначають положення інших деталей, а саме кільця гідроп'яти, відносно основних баз даної деталі.

Поверхні 6, 9, 10, 12 призначені для підвищення технологічності деталі.

Отвір 13 необхідний для базування втулки та кільця гідроп'яти при складанні вузла. У подальшій роботі деталі ця поверхня не використовується.

Фасонна поверхня 3 є технологічним елементом для виводу шліфувального круга при обробці деталі.

Поверхні 2, 4, 5 є вільними поверхнями.

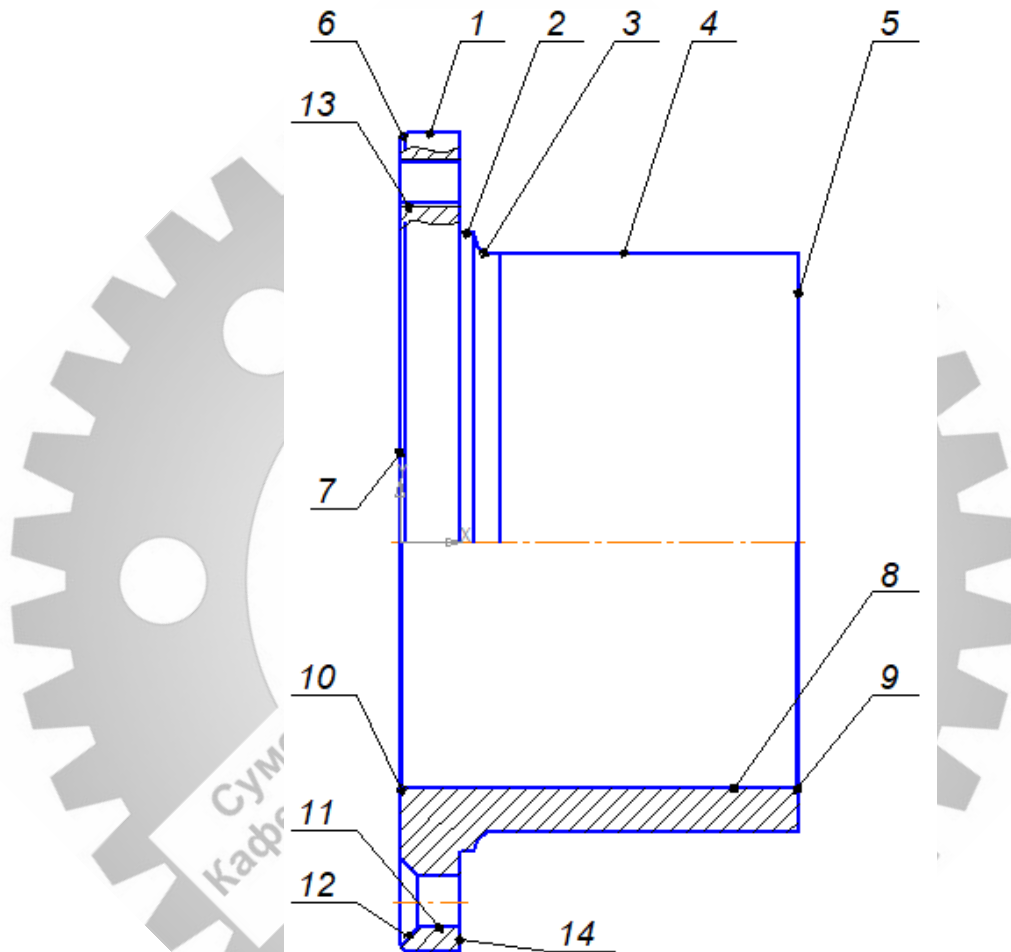


Рисунок 1.5 – Конструктивні поверхні деталі

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі та визначення технологічних завдань щодо її виготовлення

Деталь являє собою тіло обертання, її габаритні розміри становлять:

$$l=100 \text{ мм}$$

$$d=205 \text{ мм}$$

Відношення довжини до діаметра складає:

$$l/d = 100/205 = 0,488. \quad (1.1)$$

Деталь відноситься до типу Півмуфти

Найбільш точною поверхнею деталі є $\varnothing 145 \text{ Js6 } (\pm 0,0125)$

Найбільш жорсткі вимоги щодо якості поверхонь надані у внутрішній циліндричній поверхні $\varnothing 123\text{H7} - \sqrt{Ra} 0,8$

Матеріал деталі – Сталь 30X13

Замінники – 40X13

Призначення – ріжучий, вимірювальний інструмент, штоки поршневих компресорів, пружини, карбюраторні голки, деталі внутрішніх пристроїв апаратів та інші різні деталі, що працюють на знос в слабоагресивних середовищах до 450°C .

C	Cr	Fe	Mn	Si	Ni	S	P	Ti	Cu
0,26÷0,35	12-14	~83	0,8	0,8	0,6	0,025	0,03	0,2	0,3

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сталі 30X13 у відсотках

Термообробка сталі: відпуск $740^{\circ} - 800^{\circ} \text{C}$;

Твердість: 235-277 HB;

Оброблюваність різанням: в загартованому та у відпущеному стані при HB241 і $\sigma_B = 730 \text{ МПа}$;

Зварюваність: не використовується для зварних конструкцій;

Жаростійкість: стійка до температури $600^{\circ} - 650^{\circ} \text{C}$;

Методи одержання заготовки: відливка, прокат, ковка, штамповка.

Простановка розмірів

Простановка розмірів виконана грамотно, відповідно до ГОСТу, що забезпечує легке читання креслення, вільне виконання і контроль розмірів в процесі механічної обробки.

Зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 145$ Js6 ($\pm 0,0125$) можна вимірювати за допомогою калібр-скоби або мікрометра. Внутрішню циліндричну поверхню $\varnothing 123$ H7 ($\pm 0,04$) вимірювати за допомогою калібр пробки. Вимірювання інших поверхонь не викликати складнощів при проведенні технічного контролю. Вимірювання можна проводити за допомогою ШЦ-3.

Деталь має 2 не технологічні елементи:

- канавка R4. При її виготовленні буде використовуватися фасонний інструмент, на встановлення якого витратиться додатковий час. Нетехнологічність цього елемента можна зняти, якщо деталь буде оброблятися на верстаті з системою ЧПК.
- конус 90° . При виготовленні конусу буде додатково застосовуватися конусний інструмент - зінковка. На встановлення цього інструменту витратиться додатковий час. Нетехнологічність можна зняти використовуючи комбінований інструмент свердло-зінковку.

Допуски форми та взаємного розташування

- Радіальне биття поверхонь відносно бази А не більше ніж 0,04 мм;
- Радіальне биття поверхонь відносно бази А не більше ніж 0,07 мм;
- Торцеве биття поверхонь відносно бази А не більше ніж 0,05 мм;
- Позиційний допуск розташування 8 отворів $\varnothing 13$ R=0,25 мм, що залежить від міжосьової відстані R90.

Аналіз технічних вимог

До деталі пред'явлені 3 технічні вимоги:

- HB=300...330 – після термообробки твердість деталі повинна складати 300-330 одиниць за шкалою Брінеля.

- Гострі кромки заокруглити R 0,5 – на слюсарній операції всі гострі кромки повинні бути скруглені до R=0,5 мм.
- H14, h14, ±IT14/2 – поверхні з невказаною точністю слід обробляти за 14 квалітетом.

Вимоги представлені в повному обсязі, об'єктивно та досить зрозуміло. Дуже важливими є 1-й та 3-й пункти. У випадку їх недотримання поверхні деталі можуть бути виготовлені незадовільної якості.

Таблиця 1.4 - Характеристика поверхонь.

Найменування поверхні	Кількість поверхонь	Параметр шорхності Ra, мкм	Квалітет точності	Функція
Зовнішні:				
∅ 205	1	3,2	14	ДКБ
∅ 155	1	1,6	9	Вільна
∅ 145	1	1,6	6	Вільна
∅ 145	1	3,2	9	Вільна
Лінійні:				
l 100	2	3,2	14	ДКБ, Вільна
l 15	1	3,2	14	ОКБ
Інші:				
Галтель R4	1	3,2	14	Технологічна функція
Отвори:				
M12-7h	2	3,2	7	Технолог. функція
Отвори фасонні	8	6,3	14	ОКБ
Фаски:				
1x45°	1	3,2	14	Технологічна функція
0,5x45°	2	3,2	14	

1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації

Тип виробництва і відповідна йому форма організації робіт визначають характер технологічного процесу і його структуру.

Тип виробництва визначаємо табличним методом. Для цього використовують річний обсяг випуску і масу деталі. Для річної програми випуску $N = 4000$ шт. і маси деталі 6,4 кг [11, с. 27] характерним є дрібносерійний тип виробництва.

Коротка характеристика обраного типу виробництва [5].

У машинобудуванні дрібносерійне виробництво - перехідна форма від одиничного виробництва до випуску продукції дрібними серіями. Робочі місця на таких підприємствах спеціалізовані, а обробка деталей ведеться партіями

До дрібносерійного можна віднести виробництво деяких видів прокату і сплавів спеціального призначення, невеликих партій виробів, машин, призначених для експериментування в різних умовах, тощо.

Останнім часом на ринку спостерігаються тенденції до індивідуалізації попиту, саме тому масштаби дрібносерійного виробництва матимуть, в перспективі, тенденції до розширення

Для дрібносерійного виробництва характерні такі ознаки:

- періодичне переналагодження обладнання для переходу з обробки заготовок деталей однієї партії на обробку заготовок деталей іншої партії;
- більш висока кваліфікація робітників, ніж при крупносерійному та масовому виробництві;
- застосування, в основному, устаткування загального призначення, а складних спеціальних пристроїв та інструментів - в меншій мірі, ніж в крупносерійному виробництві;
- верстати застосовуються універсальні, спеціалізовані, спеціальні, верстати з ЧПК.

- наявність міжопераційних складів;
- довші вантажопотоки, ніж в масовому виробництві;
- більш тривалий виробничий цикл, ніж в масовому виробництві, внаслідок пролежування партії деталей в проміжках між виконанням операцій;
- заготовки - гарячий і холодний прокат, лиття в землю і під тиском, точне лиття, кування і точне штампування.
- кваліфікація робітників вища, ніж у масовому виробництві, але нижча, ніж, в одиничному.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску розраховуємо спрощеним методом за формулою [3]:

$$n = \frac{N \cdot a}{259}, \quad (1.2)$$

де $a = 24$ – періодичність запуску в днях [3];

$$n = \frac{4000 \cdot 24}{259} = 370,65.$$

Приймаємо кількість деталей у партії – 370 шт.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Деталь «Втулка п'яти» використовується в насосі типу ЦНС як елемент вузла розвантаження. Вузол представляє собою гідравлічну п'яту, що складається із втулки, диска гідравлічної п'яти та кільця гідравлічної п'яти.

Деталь відноситься до деталей типу «Півмуфти». Конфігурація, габарити втулки ($\varnothing 205 \times 100$ мм) говорять про достатню жорсткість конструкції деталі.

Матеріал деталі – сталь 30X13 ГОСТ 5949-75 є відносно недорогим матеріалом, що має замітники, але через, свою в'язкість, має не досить добру оброблюваність різанням.

Заготовка – поковка III-ї групи НВ 300–330 за ГОСТ 8479–70 є нетехнологічним фактором, оскільки данна група поковок передбачає виконання ряду вартісних контрольних випробовувань: визначення твердості, випробування на розтяг. При цьому кількість поковок у партії, що підлягають випробуванню рівна 100%.

Деталь має 2 не технологічні елементи:

- канавка R4. При її виготовленні буде використовуватися фасонний інструмент, на встановлення якого витратиться додатковий час. Нетехнологічність цього елемента можна зняти, якщо деталь буде оброблятися на верстаті з системою ЧПК.
- конус 90°. При виготовленні конусу буде додатково застосовуватися конусний інструмент - зінковка. На встановлення цього інструменту витратиться додатковий час. Нетехнологічність можна зняти використовуючи комбінований інструмент свердло-зінковку.

Конфігурація деталі достатньо проста та відкрита, що можна вважати технологічним фактором. У той же час деталь має досить велику кількість точних поверхонь та допусків форми і взаємного розташування, що не можна вважати технологічним фактором:

- вимоги до точності поверхонь (6-, 7-, 9-й квалітети розмірної точності);
- поверхні з низькою шорсткістю (0,8...1,6 мкм по критерію Ra);
- допуски форми та взаємного розташування (0,4-0,7 мм)
- позиційний допуск розташування 8 отворів $\varnothing 13$ R=0,25 мм, що залежить від міжосьової відстані R90.

Усі перелічені елементи є нетехнологічними, оскільки потребують наявності нестандартного обладнання, пристосувань та інструменту. Таким чином конструкція деталі є нетехнологічною, проте наявність усіх

перелічених елементів зумовлено функціональним призначенням деталі та не може бути скориговано.

Кількісний аналіз технологічності деталі.

Визначення коефіцієнта використання матеріалу:

$$K_{BM} = \frac{M}{M_3} > 0,7, \quad (1.3)$$

де M – маса готової деталі, $M = 6,4$ кг;

M_3 – маса заготовки, $M_3 = 29,2$ кг.

$$K_{BM} = \frac{6,4}{29,2} = 0,22 < 0,7.$$

Розрахункове значення коефіцієнту використання матеріалу менше за необхідне, за цим параметром – деталь нетехнологічна.

Коефіцієнт точності обробки визначається за формулою:

$$K_T = 1 - (1/A_{cp}) > 0,8, \quad (1.4)$$

де $A_{cp} = (14*16+9*2+6+7*3)/22 = 12,2$ приймаю 12 – середнє арифметичне значення квалітету точності всіх поверхонь деталі (таблиця 1.4).

$K = 1 - (1/12) = 0,91 > 0,8$ – умова виконується, отже за цим параметром деталь є технологічною.

Коефіцієнт шорсткості деталі визначається за формулою:

$$K_{ш} = 1/B_{cp} > 0,32, \quad (1.5)$$

де $B_{cp} = (3,2*11+1,6*2+0,8+6,3*8)/22 = 4,07$ приймаю 4 – середнє арифметичне значення шорсткості всіх поверхонь деталі (таблиця 1.2)

$K_{ш} = 1/4 = 0,25 < 0,32$ – умова не виконується, отже по даному критерію деталь вважається не технологічною.



1.5 Аналіз технологічної операції існуючого або типового технологічного процесу

Аналіз будемо проводити на підставі базового технологічного процесу. У цьому технологічному процесі послідовність механічної обробки відповідає загальноприйнятим етапам побудови технологічного процесу.

Заводський технологічний процес наведено в таблиці 6.1

Таблиця 1.5 – Заводський технологічний процес

№ операції	Назва операції	Обладнання
005	Відрізна	СЛП-8530
010	Технічний контроль	Стіл ВТК
015	Токарно-гвинторізна	ДИП 300
020	Технічний контроль	Стіл ВТК
025	Термічна	СНО 6.12.4/10
030	Токарно-гвинторізна	ТВ-200
035	Технічний контроль	Стіл ВТК
040	Розміточна	Розміточна плита
045	Радіально-свердлильна	2А55
050	Технічний контроль	Стіл ВТК
055	Слюсарна	Слюсарний стіл
060	Круглошліфувальна	3А130
065	Технічний контроль	Стіл ВТК
070	Маркувальна	Слюсарний стіл

005 Заготівельна

Заготовка виготовляється методом прокату. Цей спосіб одержання заготовки підходить і для обраного нами середньосерійного типу виробництва.

010 Технічний контроль

Заготовка має фому круга, контролюються розміри 211 мм, L=110мм. Для вимірювання використовується ШЦ-П 250-0,1.

015 Токарна чорнова

Свердли, точити, разточити заготовку з припуском 5 мм на розмір.

Деталь оброблюється за 2 установи згідно ескізам (рис. 1.7, 1.8). На установі А:

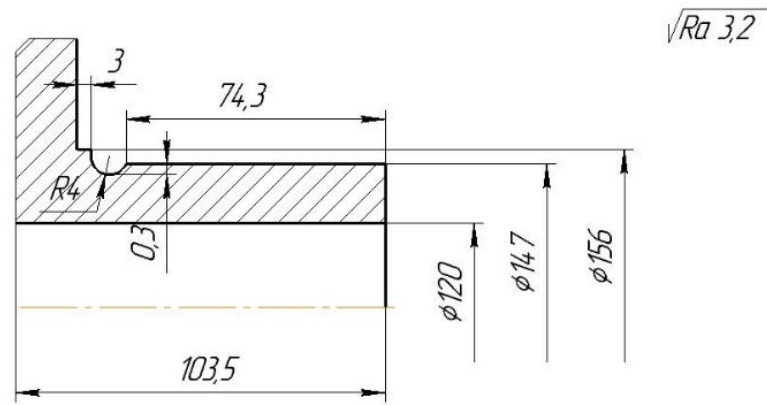
- підрізається торець 1102;
- свердлиється і розточується отвір $\varnothing 120$;
- точиться поверхня $\varnothing 147$ і канавка R4.
- точиться поверхня $\varnothing 155$ і відповідно торець 13.

Підрізання торця 1 103,5 проводиться підрізним різцем.

Для обробки отвору $\varnothing 120$ застосовується свердло $\varnothing 50$ і розточний різець.

Поверхня $\varnothing 147$ точиться прохідним різцем. Канавка точиться фасонним різцем відповідного радіусу.

Для виготовлення поверхні $\varnothing 156$ та торця 13 використовується прохідний та підрізний різці.



1. H14, h14, IT14/2

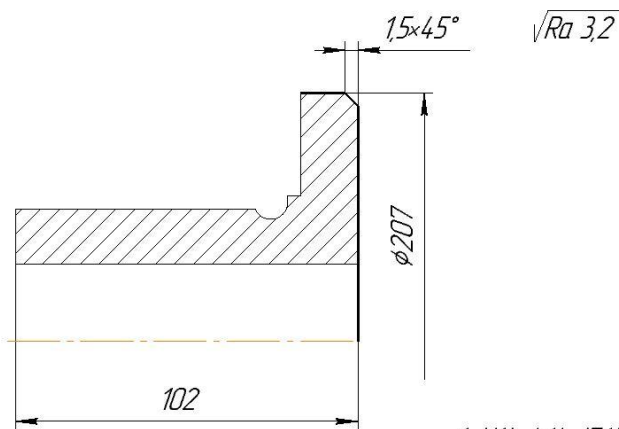
Рисунок 1.6 – Операційний ескіз на операцію 015 (Установ А)

На установі Б:

- підрізається торець 1102;
- точиться фаска 1,5x45°
- точиться поверхня Ø207;

Для підрізання торця 1102 використовується підрізний різець.

Поверхня Ø207 і фаска 1,5x45° точаться прохідним різцем.



1. H14, h14, IT14/2

Рисунок 1.8 – Операційний ескіз на операцію 015 (Установ Б)

020 Технічний контроль

Контроль розмірів деталі, отриманих на попередній операції за допомогою ШЦ-П-250-0.1.

025 Термічна

Проводиться гартування та відпуск деталі.

Деталь кладеться в піч та нагрівається до $t^{\circ} 1000^{\circ}\dots 1050^{\circ}\text{C}$, витримується 20 хв. Потім проводиться відпуск при $t^{\circ} 650^{\circ}\dots 700^{\circ}\text{C}$, витримується 40хв. та охолоджується на повітрі.

030 Токарна чистова

Так, як і на чорновій стадії деталь оброблюється за 2 установи. Попередньо, встановлюючи деталь в патрон, витримати допуски биття 0,07 та 0,05 мм. При обробці витримати шорхність поверхонь Ra 3.2. Замість розміру 145 Js(0,0125) під шліфування, точити 145,5 мм.

035 Технічний контроль

Контроль розмірів одержаних на попередній операції за допомогою ШЦ-П-250-0.1, мікрометра 125-150 та нутрометра НІ 100-125.

040 Розміточна

Розмітити 8 отв. $\text{Ø}13$ та 2 отв. під М12-Н7

Розміточний інструмент.

045 Свердлувальна

Свердли 8 отворів $\text{Ø}13$ (свердло 13 СТП33-331-77) та 2 отвори $\text{Ø}10$ під різьбу М12 (свердло 10 СТП33-331-77)

На отворах $\text{Ø}13$ зробити зінковку $22\times 90^{\circ}$ (Зінковка $22\times 90^{\circ}$)

На отворах $\text{Ø}10$ нарізати різьбу М12-7Н

050 Технічний контроль

Контролювати отвори згідно креслення.

Штангенциркуль ШЦ-III-125-0,1 ГОСТ 166-80

055 Слюсарна

Заокруглити гострі кромки.

Використовується слюсарний інструмент.

060 Кругло-шліфувальна

Шліфувати поверхню $\varnothing 123$ H7(+0.04), витримуючи шорсткість Ra 0,8

Шліфувати поверхню $\varnothing 145$ js6 (+0.0125), витримуючи шорсткість Ra

1,6

Верстат 3A130.

065 Технічний контроль

Контролювати розмір $\varnothing 123$ H7(+0.04)

Калібр пробка;

080 Маркувальна

Маркувати на бірці згідно з технічними вимогам.

1.6 Висновок

Аналіз вихідних даних деталі «Корпус верхній» показав, що за більшістю показників, таких як використаний матеріал, коефіцієнти шорсткості та точності обробки, деталь є технологічною.

Нетехнологічними є деякі конструкційні елементи деталі, які обґрунтовані її функціональним призначенням та не можуть бути змінені.

Крім того, деталь є нетехнологічною за коефіцієнтом використання матеріалу. Тому доцільно розглянути інші методи виготовлення заготовки.

Аналіз базового технологічного процесу показав ряд недоліків, таких як: використання застарілого обладнання та інструменту, відсутність механізованих приводів верстатних пристосувань, проведення трудомістких розмічальних операцій, диференціація операцій, які доцільніше провести за один установа.

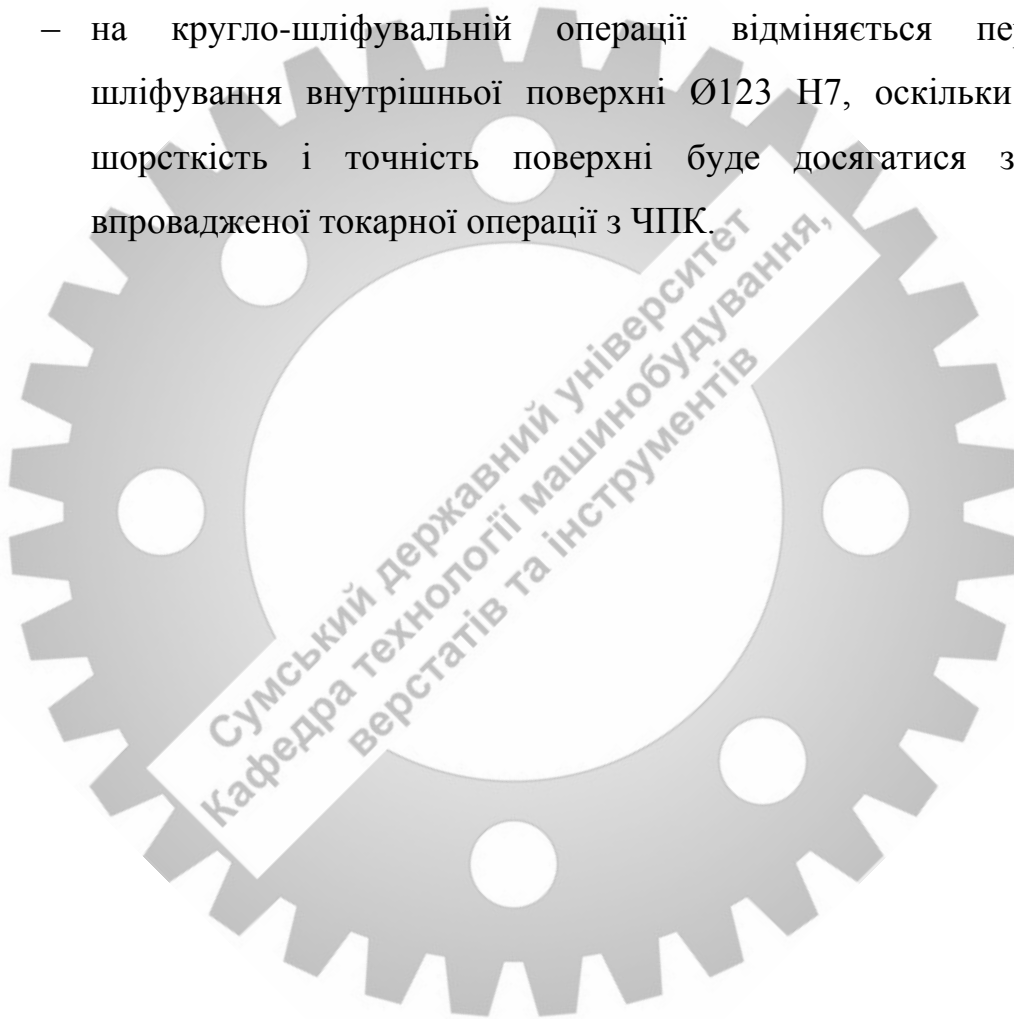
Технологічний процес виготовлення деталі "Втулка п'яти" у заводському варіанті виконаний як маршрутний, що відповідає дрібносерійному типу виробництва. Він містить 14 операцій, з яких 4 операції механічної обробки, решта - контрольні, слюсарні, розміточні, термічні, маркувальні.

Вживане обладнання, ріжучий інструмент та засоби технологічного оснащення не відповідають сучасному рівню розвитку ТМБ. Більш доцільно застосовувати верстати з ЧПК, спеціальні пристрої, інструмент з механічним кріпленням пластин і т.д.

Враховуючи результати аналізу заводського процесу, пропоную нововведення:

- з метою збільшення коефіцієнта використання заготовки, замість методу прокату, пропоную виготовлення заготовки на КГШП.
- операцію 045 (радіально-свердлильна) замінити на свердлильну з ЧПК. Завдяки використанню верстату з ЧПК скоротиться час на обробку деталі, а також зникне необхідність у розміточній операції. А в якості пристосування для базування деталі на верстаті пропоную використання циліндричної оправки та пневмокамери 1-сторонньої дії. Дане нововведення забезпечить скорочення часу на установку і зняття деталі.

- операцію 030 (токарно-гвинторізна) замінити на токарну з ЧПК. Завдяки використанню верстату з ЧПК скоротиться час на обробку деталі, а також нівелюється нетехнологічність канавки $R=4$ мм.
- через те, що ключові механічні операції переведені на верстати з ЧПК, пропоную використовувати сучасні твердосплавні металорізальні інструменти, що дозволить суттєво підвищити продуктивність та якість виготовлення деталі.
- на кругло-шліфувальній операції відміняється перехід для шліфування внутрішньої поверхні $\varnothing 123$ H7, оскільки необхідна шорсткість і точність поверхні буде досягатися за рахунок впровадженої токарної операції з ЧПК.



РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі

Загальний вигляд пропонованого технологічного процесу наведений у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Пропонований технологічний процес

№ операції	Назва операції	Обладнання
005	Обробка тиском	КГШП
010	Технічний контроль	Стіл ВТК
015	Токарно-гвинторізна	16K20
020	Технічний контроль	Стіл ВТК
025	Термічна	СНО 6.12.4/10
030	Токарна з ЧПК	SMEC PL 1600
035	Технічний контроль	Стіл ВТК
040	Свердлильна з ЧПК	BAOFENG серії T
045	Технічний контроль	Стіл ВТК
050	Слюсарна	Слюсарний стіл
055	Круглошліфувальна	3A130
060	Технічний контроль	Стіл ВТК
065	Маркувальна	Слюсарний стіл

Обґрунтування вибору металорізного верстату на операції 015 (токарно-гвинторізна), 040 (свердлильна з ЧПК) та 055 (круглошліфувальна) наведено в пункті 2.5.

2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

Розрахунки, представлені у даному пункті виконані за загально прийнятою методикою [3], [6].

У базовому варіанті технологічного процесу заготовка одержується методом прокату. При цьому заготовка має форму круга, а її маса складає 29,2 кг (рис.2.1).

Коефіцієнт використання такої заготовки складає (формула 1.3):

$$K_3 = 6,4/29,2 = 0,22.$$

Для порівняння та вибору оптимального способу одержання заготовки пропоную штамповку на кривошипно-гарячештамповочному пресі.

Найбільш широко КГШП застосовуються у серійному виробництві для штампування деталей, що мають переважно форму тіл обертання, ускладнених бічними відростками, наскрізними отворами і т.п. На КГШП можна штампувати поковки масою від 0,1 до 100 кг.

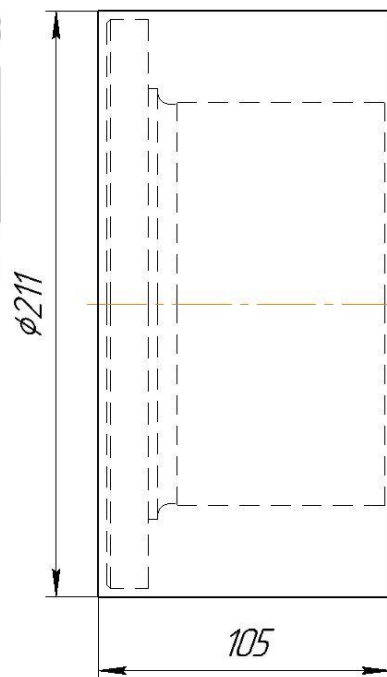


Рисунок 2.1 – Заготовка при базовому технологічному процесі

Проектування заготовки

Поверхні деталі для розрахунку припусків

- d 205
- d 145
- D 123
- l 100
- l 18,5

Користуючись ГОСТом 7505-89, визначаємо необхідні дані для розрахунку розмірів заготовки та припусків на механічну обробку.

Ступінь складності визначається в залежності від чисельного значення відношення [6]:

$$M_{\Pi}/M_{\Phi}, \quad (2.1)$$

де M_{Π} – розрахункова маса поковки;

M_{Φ} – маса описуючої фігури.

Маса поковки розраховується за формулою [8]:

$$M_{\Pi} = M_{\text{д}} * K_{\text{р}}, \quad (2.2)$$

де $M_{\text{д}}$ – маса деталі, $M_{\text{д}} = 6,4$ кг

$K_{\text{р}}$ – розрахунковий коефіцієнт, $K_{\text{р}} = 1,6$

$$M_{\Pi} = 6,4 * 1,6 = 10,4 \text{ кг.}$$

Маса описуючої фігури обчислюється за формулою [6]:

$$M_{\Phi} = \frac{\pi * d^2}{4} * l * \rho, \quad (2.3)$$

де d – діаметр (205 мм)
 l – довжина (100 мм)
 ρ – щільність сталі (7,6 г/см³)

$$M_{\Phi} = \frac{3,14 * 205^2}{4} * 100 * 7,6 = 25072 \text{ г} = 25,07 \text{ кг.}$$

Відношення $M_{\Pi}/M_{\Phi} = 10,4/25,07 = 0,41$ – тому ступінь складності – С2.

Отже:

Клас точності – Т4

Група сталі – М1

Середня масова частка вуглецю в сталі 30Х13 С – 0,3%.

Сумарна масова частка легуючих елементів: Сг – 13%, Ні – 0,6%,
 Мп – 0,8%, Si – 0,8%.

Вхідний індекс – 13

Ступінь складності – С2

Припуски на механічну обробку

- 205 - 2,3 мм, $\sqrt{Ra} 3,2$;
- 145 - 2,0 мм, $\sqrt{Ra} 1,6$;
- 123 - 2,5 мм, $\sqrt{Ra} 0,8$;
- l 100 - 2,0 мм, $\sqrt{Ra} 3,2$;
- l 18,5 - 1,7 мм, $\sqrt{Ra} 3,2$.

Додаткові припуски:

- зміщення по поверхні роз'єму штампа - 0,3 мм;
- вигнутість і відхилення від плоскостності та лінійності - 0,5.

Визначаємо розміри заготовки:

- $\varnothing 205 + (2,3 + 0,5) \cdot 2 = 210,6 \sim 211$ (мм)
- $\varnothing 145 + (2 + 0,5) \cdot 2 = 150$ (мм)
- $\varnothing 123 - (2,5 + 0,5) \cdot 2 = 117$ (мм)
- $L100 + (2 + 0,3) \cdot 2 = 104,5 \sim 105$ (мм)
- $L18,5 + (1,7 + 0,3) + 2 + 0,3 + 0,5 = 23,3 \sim 23$ (мм)

Коефіцієнт використання заготовки $K_3 = 6,4/10,4 = 0,62$ (див. формулу 1.3)

Розраховані розміри заготовки зведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Розрахунок розмірів заготовки

Розмір деталі, мм	Чистота поверхні, Ra	Основний припуск, мм	Розрахунковий розмір заготовки, мм	Прийнятий розмір заготовки, мм	Припуск фактичний, мм
$\varnothing 205$	3,2	2,3	210,60	211,00	3,0
$\varnothing 145$	1,6	2,0	150,00	150,00	2,5
$\varnothing 123$	0,8	2,2	119,80	120,00	1,5
L100	3,2	2,0	104,50	105,00	2,5
L18,5	3,2	1,7	23,30	23,00	2,25

Проводимо розрахунки собівартості заготовок:

Собівартість заготовки визначається за формулою [3]:

$$S_{\text{заг}} = S_i / 1000 \cdot Q - (Q - q) S_{\text{відх}} / 1000, \quad (2.4)$$

де $S_i = 30000$ грн – вартість тони прокату зі сталі 30X13;

$S_i = 52000$ грн – вартість тони поковки зі сталі 30X13;

$Q_{\text{пр}} = 29,2$ кг – маса заготовки з прокату;

$Q_{\text{пок}} = 10,4$ кг – маса поковки штампованої;

$q = 6,4$ кг – маса готової деталі;

$S_{\text{відх}} = 8000$ грн – ціна 1 тони відходів;

$$S_{\text{пр}} = (30000/1000 \cdot 29,2) - (29,2 - 6,4) \cdot 8000/1000 = 993,60 \text{ грн.}$$

$$S_{\text{пок}} = (52000/1000 \cdot 10,4) - (10,4 - 6,4) \cdot 8000/1000 = 508,80 \text{ грн.}$$

Після приведених вище розрахунків доцільно порівняти річну економію одного способу виготовлення заготовки порівняно з другим. Розрахунок ведеться за формулою, [3]:

$$E_3 = (S_{\text{пр}} - S_{\text{пок}}) N_{\text{річн}} \quad (2.5)$$

$$E_3 = (993,6 - 508,8) \cdot 4000 = 1\,939\,200 \text{ (грн).}$$

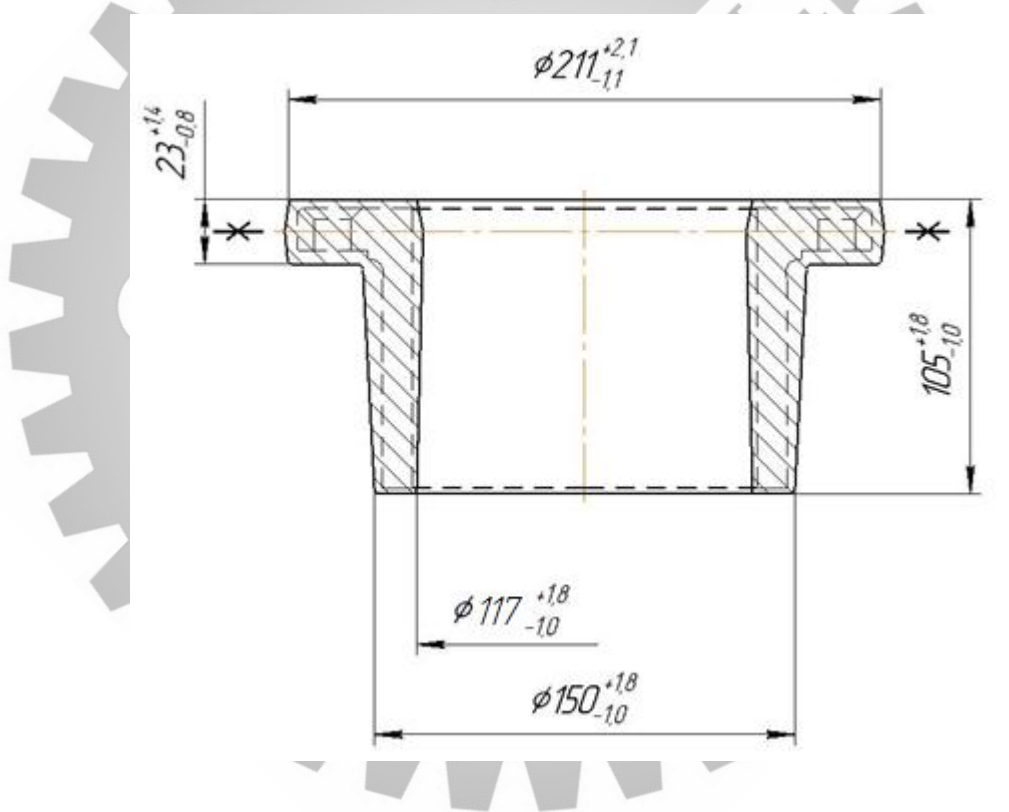


Рисунок 2.2 – Форма заготовки при штампуванні на КГШП

Висновок: аналізуючи дані, приведені вище розрахунків, бачимо, що штамповка на КГШП є більш вигідним способом одержання заготовки, з точки зору економіки. Незважаючи на більш високу вартість штампованої поковки, за рахунок того, що у відході піде менший відсоток матеріалу,

підсумкова собівартість штамповки буде значно дешевшою, ніж прокату, а річна економія становитиме майже 2 млн. грн.

2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Величина припуску впливає на собівартість виготовлення деталі. При збільшеному припуску підвищуються витрати праці, витрата матеріалу та інші виробничі витрати, а при зменшеному доводиться підвищувати точність заготовки, що також збільшує собівартість виготовлення деталі.

Щоб отримати деталі більш високої якості необхідно при кожному технологічному переході механічної обробки заготовки передбачати виробничі похибки, що характеризують відхилення розмірів, геометричні відхилення форми поверхні, мікронерівності, відхилення розташування поверхонь. Всі ці відхилення повинні знаходитися в межах поля допуску на розмір поверхні заготовки.

Існує 2 методи визначення припусків на обробку поверхонь:

1) Табличний – передбачає після встановлення методу одержання визначення припусків основних та додаткових, призначення допусків та розмірів заготовки. Даний метод не передбачає визначення міжстадійних припусків, що використовуються в умовах одиничного виробництва;

2) Аналітичний – призначений для детального вивчення чинників, що впливають на величину мінімального припуску.

Визначення міжстадійних розмірів поверхні:

Розрахунок припусків виконуємо аналітичним методом професора В. М. Кована за допомогою ПЕОМ для внутрішньої поверхні тіла обертання $\emptyset 123H7$, результати якого наведені у додатку Б.

Маршрут обробки:

- 1) Заготовка Н14 $\begin{matrix} +1,0 \\ -1,8 \end{matrix}$
- 2) Чорнове розточування Н12 $\begin{matrix} +0,4 \\ 0 \end{matrix}$
- 3) Напівчистове розточування Н9 $\begin{matrix} +0,1 \\ 0 \end{matrix}$
- 4) Чистове розточування Н7 $\begin{matrix} +0,04 \\ 0 \end{matrix}$

Проведемо розрахунок просторових відхилень [7]:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{зг}}^2 + \rho_{\text{см}}^2} \quad (2.6)$$

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{1000^2 + 800^2} = 1280 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{\text{розт. чорн.}} = \rho_{\text{заг}} * 0,05 = 64 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{\text{розт. напівчист.}} = \rho_{\text{заг}} * 0,04 = 51,2 \text{ мкм.}$$

Розрахунок припусків виконуємо за допомогою ПЕОМ, результати якого наведені у додатку Б. Схема припусків зображена на рисунку 2.3.

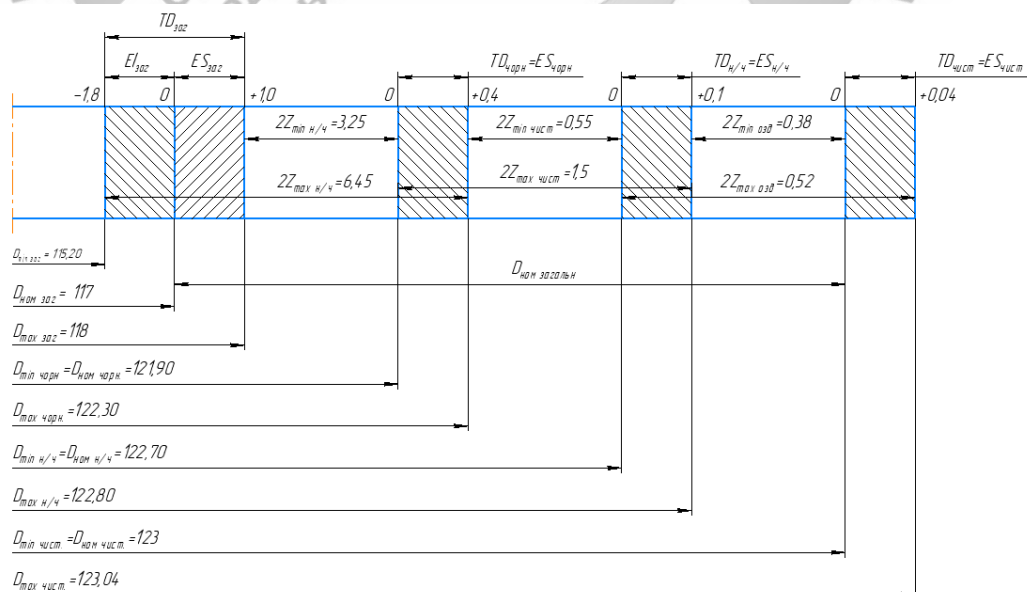


Рисунок 2.3 – Схема розташування припусків та допусків

2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Для подальшого розгляду обираємо 2 операції:

- 015 (токарно-гвинторізна). На цій операції проводиться чорнове підрізання торця $\varnothing 205/L100$ та точіння зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 205$ мм
- 040 (свердлильна з ЧПК). На цій операції проводиться свердлування та зінковка отворів $\varnothing 13$, а також свердлування отворів $\varnothing 10$ та подальше нарізання різі на них.
- 055 (круглошліфувальна). На цій операції проводиться шліфування поверхні $\varnothing 145_{js6}$.

Базування на операції 015 (токарно-гвинторізна)

На запропонованій схемі базування (рисунок 2.4) заготовка базується у трьохкулачковому патроні, позбавляється 5-ти ступенів вільності. Чорновими базами будуть виступати торець $\varnothing 145/L100$ та зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 145$. Установчою базою є торець, заготовка позбавляється 3-х ступенів вільності; подвійною опорною базою є зовнішня циліндрична поверхня, деталь позбавляється 2-х ступенів вільності. Степені вільності та найменування баз заносимо до таблиць 2.3, 2.4.

Таблиця 2.3 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Степені вільності	Найменування бази
1, 2, 3	I, V, VI	ВБ
4,5	II, III	ПОБ

Таблиця 2.4 – Матриця зв'язків

	x	Y	z	Найменування бази
L	1	0	0	ВБ
α	0	1	1	
L	0	1	1	ПОБ
α	0	0	0	

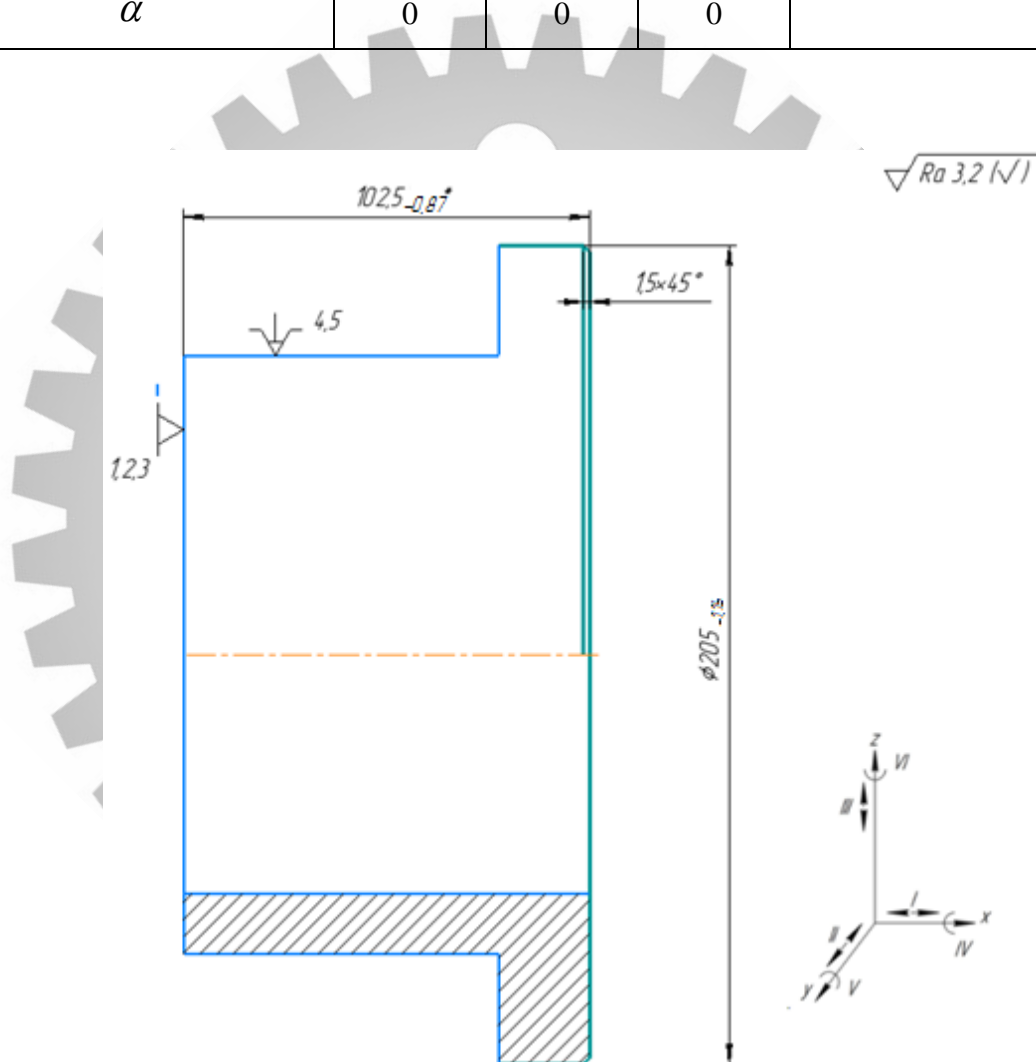


Рисунок 2.4 – Ескіз операції 015

Теоретично при закріпленні в трикулачковому патроні похибка базування у радіальному напрямі відсутня. Однак з огляду на те, що самоцентруючі патрони будь-якої конструкції представляють собою складні

пристрої, що містять велику кількість рухомих деталей, стиків і зазорів, їх використання веде до виникнення деякої похибки встановлення.

Розрахунок похибки встановлення у трикулачковому патроні наведений у формулі 2.8 и дорівнює 0,024 мм. З огляду на те, що допуски на оброблені поверхні помітно більші (0,87 та 1,15 мм), дана схема базування є прийнятною.

Базування на операції 040 (свердильна з ЧПК)

Для порівняння розглянемо 2 способи базування деталі на верстаті BAOFENG серії T:

- на короткій оправці
- в 3-х кулачковому самоцентруючому патроні

Відповідно до першого варіанту заготовка встановлюється на короткій оправці ($\varnothing 123$ H7/g6) та кріпиться за допомогою прижиму на верхньому торці. Схемою базування заготовки, при такому встановленні, виступають подвійна опорна та установочна бази (рис. 2.5).

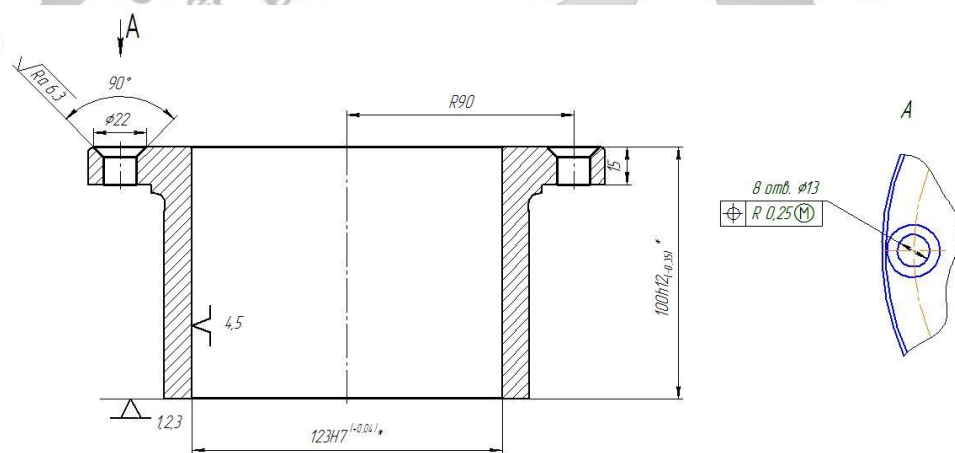


Рисунок 2.5 – Схема базування деталі на оправці на операції 040 (свердильна з ЧПК)

Таблиця 2.5 – Зв'язки, забезпечувані базами

База	Точки	Ступені волі
УБ	1,2,3	I; V;VI
ПОБ	4,5	II; III

Таблиця 2.6 - Матриця зв'язків

	x	y	z	Найменування бази
L	0	0	1	УБ
α	1	1	0	
L	1	1	0	ПОБ
α	0	0	0	

Розглянемо можливість забезпечення точності операційних розмірів для прийнятої схеми базування:

- При обробці скрізних отворів $\varnothing 13$ мм та $\varnothing 10$ мм точність їх розмірів не залежить від схеми базування, а визначається точністю інструменту – свердла $\varnothing 13$, зінковки та свердла $\varnothing 10$.
- Для розміру $R90_{-0,22}^{h11}$, що визначає положення оброблюваних отворів, похибка базування визначається зазором в посадці «оправка – отвір» і обчислюється за формулою [10]:

$$\xi_6 = \delta_1 + \delta_2 + 2s_{\min} , \quad (2.7)$$

де δ_1 - допуск на розмір оправки ($\varnothing 123$ g6), $\delta_1=0,053$ мм;

δ_2 – допуск на розмір отвору ($\varnothing 123$ H7), $\delta_2=0,04$ мм;

$2s_{\min}$ – мінімальний зазор в посадці ($\varnothing 123$ H7/g6).

$$\xi_6 = 0,053 + 0,04 + 2 * 0,014 = 0,121 \text{ мм}$$

$$0,121 < 0,22 .$$

$$\xi_{\delta} < T_{R90} .$$

Похибка менше ніж допуск на розмір R90, тому схема базування є прийнятною.

Другий варіант закріплення – закріплення у 3-х кулачковому самоцентруючому патроні.

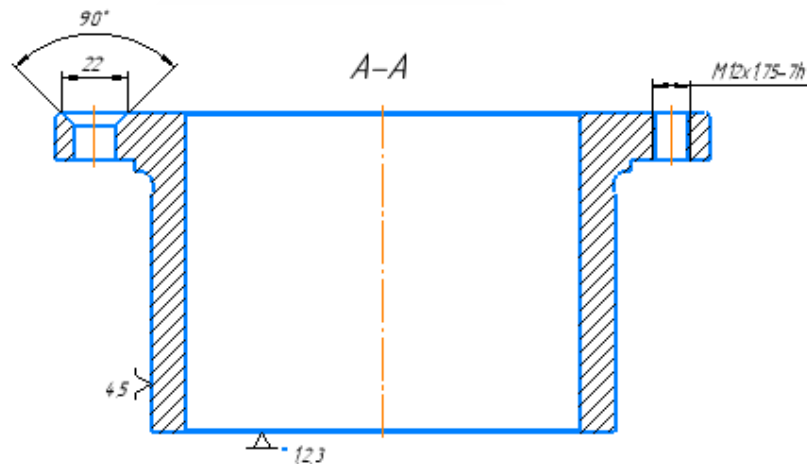


Рисунок 2.6 – Схема базування деталі у 3-х кулачковому патроні на операції 040

Похибку встановлення визначаємо за формулою [10]:

$$\xi_y = \delta_{\delta} + \delta_3, \quad (2.8)$$

де δ_{δ} - похибка базування, $\delta_{\delta}=0$;

δ_2 – похибка закріплення, $\delta_3=0,024$ мм, [1] с. 174.

$$\xi_y = 0 + 0,024 = 0,024 \text{ мм}$$

$$0,024 < 0,22 .$$

$$\xi_{\delta} < T_{R90} .$$

Похибка менше ніж допуск на розмір R90, тому схема базування є прийнятною.

Базування на операції 055 (круглошліфувальна)

Для порівняння розглянемо 2 способи базування деталі на верстаті 3А130:

- в 3-х кулачковому самоцентруючому патроні на розжим
- на розжимній гідропластовій оправці

Розглянемо варіант із закріпленням заготовки у 3-х кулачковому самоцентруючому патроні на розжим (рис. 2.7). Схема базування в такому випадку стандартна: лівий торець – установка база, центральний отвір – подвійна опорна база.

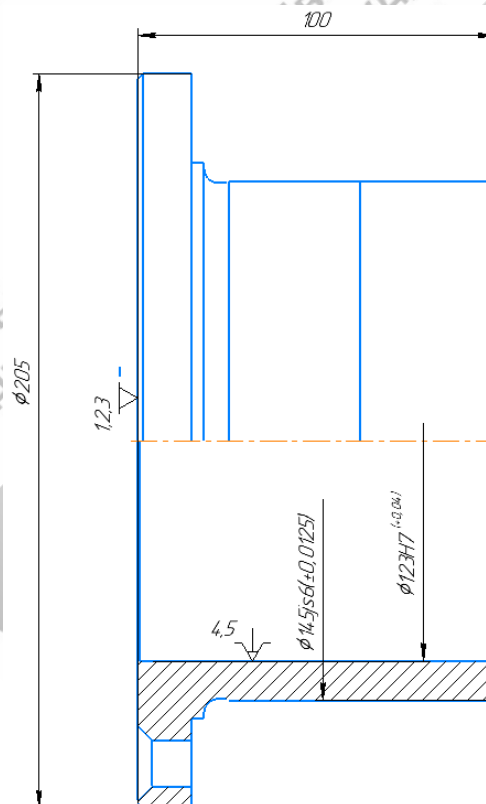


Рисунок 2.7 – Схема базування деталі у 3-х кулачковому патроні на операції 055

Розрахунок похибки встановлення у трикулачковому патроні наведений у формулі 2.8 и дорівнює 0,024 мм. Однак допуск на розмір оброблюваної

поверхні $\varnothing 145js6$ становить $0,0125$ мм і є меншим, ніж розрахована похибка встановлення. Виходячи з цього, даний спосіб закріплення заготовки на верстаті є неприйнятним.

У випадку базування заготовки на розжимній гідропластовій оправці центральний отвір виступатиме подвійною направляючою базою, а лівий торець – опорною (рис. 2.8).

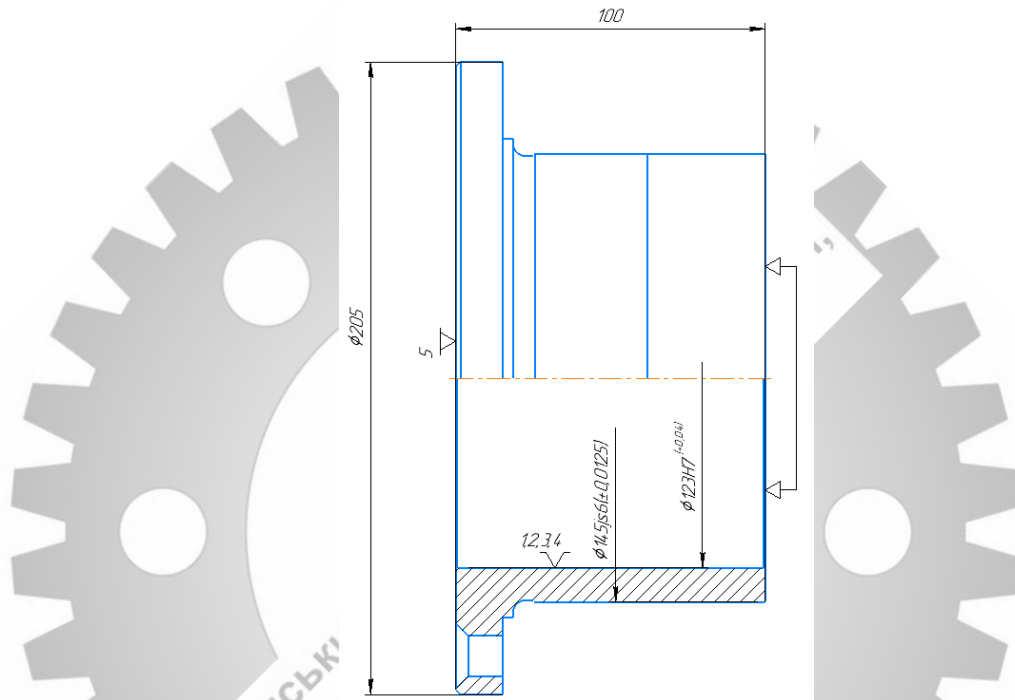


Рисунок 2.8 – Схема базування деталі у 3-х кулачковому патроні на операції 055

Згідно з табличними значеннями [10] при умові, що центральний отвір оброблений з точністю Н7-Н8 точність установки деталі на гідропластовій оправці становить $0,005-0,01$ мм. Дана умова виконується – центральний отвір виконано за квалітетом Н7. Тому таку схему базування можна вважати прийнятною, оскільки похибка установки не перевищує розмір допуску на розмір оброблюваної поверхні:

$$0,005 \dots 0,01 < 0,0125.$$

Висновок: виходячи з результатів розрахунків, для токарно-гвинторізної операції закріплення у 3-кулачковому патроні є оптимальним

варіантом, оскільки похибка базування менша, ніж допуски на оброблювані розміри.

Для операції свердлильна з ЧПК підходять обидва способи базування заготовки, але закріплення на короткій оправці дозволяє встановити заготовку швидше, тому обираємо саме цей спосіб.

На круглошліфувальній операції прийнятним є базування заготовки на гідропластовій оправці, оскільки похибка установки менша, ніж допуск на оброблюваний розмір.

2.5 Обґрунтування вибору металорізального верстата

Для операції 015 (токарно-гвинторізна) вибір верстату проводимо, порівнюючи ДІП-300 та 16К20.

Технічні характеристики верстатів наведені в таблицях 2.6 та 2.7.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики верстату ДІП-300

Назва параметру	Значення
1	2
Клас точності за ГОСТ 8-82	Н
Найбільший діаметр заготовки над станиною, мм	615
Найбільший діаметр заготовки над суппортом, мм	345
Висота центрів, мм	300
Найбільша довжина заготовки, мм	1500, 3000
Найбільші розміри різця, мм	30 x 30
Діаметр скрізного отвору в шпинделі, мм	70
Число ступенів частот прямого обертання шпинделя	18
Частота прямого обертання шпинделя, об/мин	14..750
Число ступенів частот зворотнього обертання шпинделя	18
Частота зворотнього обертання шпинделя, об/мин	22..945
Розмір внутрішнього конуса в шпинделі, М	Морзе 5
Число ступенів поздовжніх подач	26
Межі робочих подач поздовжніх, мм/об	0,15..2,65
Число ступенів поперечних подач	26
Границі робочих подач поперечних, мм/об	0,05..0,9

Конус задньої бабки	Морзе 5
Найбільше переміщення пінолі задньої бабки, мм	205
Потужність електродвигуна головного привода, кВт	10

Продовження таблиці 2.6

1	2
Габарити верстату (довжина ширина висота), мм	3610 x 1690 x 1275
Маса верстату, кг	3920

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики верстату 16K20

Назва параметру	Значення
Клас точності за ГОСТ 8-82	Н
Найбільший діаметр заготовки над станиною, мм	400
Найбільший діаметр заготовки над суппортом, мм	220
Висота центрів, мм	215
Найбільша довжина заготовки, мм	710, 1000, 1400, 2000
Найбільші розміри різця, мм	25 x 25
Діаметр скрізного отвору в шпинделі, мм	52
Число ступенів частот прямого обертання шпинделя	22
Частота прямого обертання шпинделя, об/мин	12,5..1600
Число ступенів частот зворотнього обертання шпинделя	11
Частота зворотнього обертання шпинделя, об/мин	19..1900
Розмір внутрішнього конуса в шпинделі, М	Морзе 6
Число ступенів продольних подач	42
Межі робочих подач поздовжніх, мм/об	0,05..2,8
Число ступенів поперечних подач	42
Границі робочих подач поперечних, мм/об	0,025..1,4
Конус задньої бабки	Морзе 5
Найбільше переміщення пінолі задньої бабки, мм	150
Потужність електродвигуна головного привода, кВт	11
Габарити верстату (довжина ширина висота), мм	2795 × 1190 × 1500
Маса верстату, кг	3010

Для операції 040 (свердлильна з ЧПК) обираємо верстат, що дозволяє проводити свердлильні та різенарізні роботи та відповідає габаритам

заготовки та спеціального пристрою. Для порівняння візьмемо 2 верстата з ЧПК: 2P135Ф2 та BAOFENG серії T.

Основні характеристики верстатів приведені в табл. 2.8 і табл. 2.9

Таблиця 2.8– Характеристики верстату 2P135Ф2

Назва параметру	Значення
Клас точності верстату	H
Найбільший умовний діаметр свердління в сталі 45, мм	35
Найбільший діаметр нарізаної різі в сталі 45, мм	M24
1	2
Поздовжнє переміщення стола (Вісь X), мм	630
Поперечне переміщення стола (Вісь Y), мм	360
Найбільше переміщення шпindelної бабки за програмою (Вісь Z), мм	560
Частота обертів шпindelя, об/хв	45..2000
	31..1400
Подачі суппорта, мм	10..500
Конус шпindelя	Морзе 4
Розміри робочої поверхні стола, мм	400 x 710
Габарити верстата (довжина, ширина, висота), мм	1800 x 2170 x 2700
Маса верстату, кг	5390
Потужність, кВт	3,7

Таблиця 2.9 – Характеристики верстату BAOFENG серії T

Назва параметру	Значення
Клас точності верстату	B
Розміри робочої поверхні стола, мм	700 x 420
Поздовжнє переміщення стола (Вісь X), мм	600
Поперечне переміщення стола (Вісь Y), мм	400
Поперечне переміщення стола (Вісь Z), мм	300
Максимальна швидкість подачі, м/хв	48
Конус шпindelя	BT50
Частота обертів шпindelя, об/хв	25..10000
Потужність основного електродвигуна, кВт	7,5
Габарити верстата (довжина, ширина, висота), мм	2000x2400x2500
Маса верстату, кг	3700

Для операції 055 (круглошліфувальна) вибір верстату проводимо, порівнюючи ЗУ144 та ЗА130.

Технічні характеристики верстатів наведені в таблицях 2.10 та 2.11.

Таблиця 2.10 – Характеристики верстату ЗУ144

Назва параметру	Значення
Найбільший діаметр оброблюваного виробу, мм	400
Найбільша довжина оброблюваного виробу, мм	2000
Найбільша маса виробу, кг	200
Діаметр шліфувального круга - найбільший / найменший, мм	600/450
Діаметр шліфувального круга - посадочний, мм	305
Кількість електродвигунів на верстаті, шт	11
Потужність основного електродвигуна, кВт	7,5
Габаритні розміри верстату, мм	6450 x 2585 x 1982
Маса верстату, кг	10000

Таблиця 2.11 – Характеристики верстату ЗА130

Назва параметру	Значення
Найбільший діаметр оброблюваного виробу, мм	280
Найбільша довжина оброблюваного виробу, мм	700
Найбільша маса виробу, кг	80
Діаметр шліфувального круга - найбільший / найменший, мм	260/350
Діаметр шліфувального круга - посадочний, мм	127
Кількість електродвигунів на верстаті, шт	6
Потужність основного електродвигуна, кВт	4
Габаритні розміри верстату, мм	3060 x 2000 x 1650
Маса верстату, кг	3780

Висновок: вимоги до обробки деталі на операції 015 (токарно-гвинторізна) задовольняють обидва верстати. З огляду на те, що верстат 16K20 є більш сучасним, його використання буде доцільнішим.

Для обробки деталі на операції 040 (свердлильна з ЧПК), я вважаю, буде більш доцільно обрати верстат BAOFENG серії T, оскільки він є сучаснішим та більш жорсткішим, що дозволить використовувати для обробки деталі «Втулка п'яти» сучасну оснастку і твердосплавні осьові інструменти.

Для шліфування деталі на операції 055 оптимальним варіантом буде використання верстату 3A130, оскільки верстат 3У144 є занадто великим і потужним, що потягне за собою невиправдано великі витрати на електроенергію та його обслуговування, у той час як верстат 3A130 володіє слабшими, але достатніми характеристиками для виготовлення деталі «Втулка п'яти».

2.6 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів

В одиничному і дрібносерійному виробництвах широко застосовують універсальні пристрої. Вибір пристроїв повинен базуватися на аналізі затрат на реалізацію технологічного процесу у встановлений проміжок часу при заданій кількості виробів. При виборі оптимального варіанта пристрою повинні враховуватись: технічні вимоги на виготовлення деталі – кількість деталей та строки їх виготовлення; вимоги техніки безпеки та промислової санітарії; затрати на виготовлення пристрою.

При виборі типу і конструкції різального інструменту необхідно враховувати характер виробництва, метод обробки, тип верстата, розмір, конфігурацію та матеріал оброблюваної заготовки, необхідну якість поверхні, точність обробки.

При виборі пристроїв для базування і закріплення заготовки на верстатах скористаємося прийнятими схемами базування (рис. 2.4, рис. 2.5) .

Для операції 015 (токарно-гвинторізна) обираємо наступний ріжучий інструмент та оснастку [13], [14]:

- патрон 3-х кулачковий 7100-0050 ГОСТ 2675-80;
- різець 2103-1111 Т5К10 ГОСТ 18879-73.

Для операції 040 (свердлильна з ЧПК) обираємо такі верстатні пристрої [15]:

- оправка коротка спеціальна $\varnothing 123$ H7/g6;
- свердлильний патрон BT50 JIS B 6339 – 505.15.16 (KEMMLER);
- мітчиковий патрон BT50 JIS B 6339 – 505.16.12.1 (KEMMLER);
- мітчиковий адаптер – 16.01.97 (KEMMLER).

Для виконання технологічних переходів на операції 040 необхідний наступний ріжучий інструмент [13], [14]:

- свердло центрувальне $\varnothing 2$ – SD22-2.00-4.00-3R1 (SECO Tools);
- свердло спіральне $\varnothing 13$ – SD1103-1300-043-14R1 (SECO Tools);
- свердло спіральне $\varnothing 10,2$ – SD1103-1020-040-12R1 (SECO Tools);
- зінковка $\varnothing 20 \times 90^\circ$ (Kennametal);
- мітчик M12x1,75 – MTH-M12X1.75ISO6G-TB-V006 (SECO Tools).

Для операції 055 (круглошліфувальна) обираємо наступний ріжучий інструмент та оснастку:

- оправка гідропластова спеціальна;
- круг шліфувальний - 25A50C16KA3 350x40x127 ГОСТ 2424-83.

У дрібносерійному виробництві пріоритет слід віддавати універсальним вимірювальним засобам. При визначенні точності

інструментів потрібно враховувати, що ціна поділу повинна становити $0,3 \div 0,5$ допуску вимірювального параметра, тому в якості вимірювального інструменту для операцій 015 та 040 обираємо:

- штангенциркуль – ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89;
- калібр-пробка М12х1,75-7h ПР ГОСТ 17756-72;
- калібр-скоба 8113-0212 ГОСТ 18360-93.

2.7 Розрахунок режимів різання

Розрахунки режимів різання, представлені у даному пункті виконані за загальноприйнятою методикою [10].

На операції 015 режими різання для обточування поверхні $\varnothing 205$ розраховуємо аналітичним методом. Ескіз операції зображено на рисунку 2.4.

Вихідні дані:

- діаметр заготовки – 211 мм;
- довжина оброблюваної поверхні – 23 мм;
- матеріал заготовки – Сталь 30Х13, $\sigma_b=730$ МПа;
- заготовка – поковка штампована;
- верстат – 16К20 (Характеристики верстату зазначені в таблиці 2.7);
- різець 2103-1111 Т5К10 ГОСТ 18879-73.

Глибина різання $t=(D-d)/2=(211-205)/2=3$ мм.

Призначаємо період стійкості інструменту $T_c=30$ хв (чорнова обробка).

Призначаємо подачу для заготовки зі сталі 30Х13 діаметром 100-400 мм при глибині різання до 3 мм – $S_t=0,8\dots 1,3$ мм/об. Приймаємо $S_t=0,8$ мм/об.

Розраховуємо швидкість різання за формулою:

$$V_p = \frac{C_v}{T \cdot m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2.8)$$

де $C_v=340$; $x=0,15$; $y=0,45$; $m=0,2$.

Коефіцієнти K_v та K_{mv} розраховуємо за формулами (2.9) та (2.10) відповідно, де $K_r=1$; $n_v=1$; $K_{pv}=0,8$; $K_{iv}=1,0$; $K_{fv}=0,7$.

Враховуємо поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} \cdot K_{fv} \quad (2.9)$$

$$K_v = 1,03 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,58$$

Коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу:

$$K_{mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}, \quad (2.10)$$

$$K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{730} \right)^1 = 1,0.$$

$$V_p = \frac{340}{30^{0,2} \cdot 3 \cdot 1^{0,45}} \cdot 0,58 = 57,40.$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot d} = \frac{57400}{3,14 \cdot 205} = 89,17. \quad (2.11)$$

Коригуємо частоту обертання за паспортом верстату 16K20 - $n_\phi=100$ об/хв.

Розраховуємо фактичну швидкість різання за формулою:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 205 \cdot 100}{1000} = 64,37 \text{ м/хв.} \quad (2.12)$$

Розраховуємо силу різання та підставляємо відповідні коефіцієнти:

$$P_z = 10 C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot v^{n_{pz}} K_{pz} . \quad (2.13)$$

де $C_{pz}=300$; $x_{pz}=1,0$; $y_{pz}=0,75$; $n_{pz}=-0,15$.

Коефіцієнт K_{pz} розрахоуємо за формулою:

$$K_{pz} = K_{Mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\Gamma p} . \quad (2.14)$$

$$K_{pz} = 0,89 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,98 = 1,1.$$

Отже:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 3^{1,0} \cdot 1^{0,75} \cdot 64,37^{-0,15} \cdot 1,1 = 5445 \text{ кН}.$$

Розраховуємо потужність різання за формулою:

$$N_p = \frac{P_z \cdot V_{\phi}}{60 \cdot 1020} = \frac{5445 \cdot 64,37}{60 \cdot 1020} = 4,58. \quad (2.15)$$

Даний показник є прийнятним при потужності верстата 11 кВт.

Розраховуємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{l_p}{n_d \cdot S_d} \cdot i , \quad (2.16)$$

де l_p – довжина робочого ходу інструменту, мм

$$l_p = 13 + 3 + 4 = 20 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{20}{80 \cdot 0,8} \cdot 1 = 0,25 \text{ хв}.$$

Режими різання для інших переходів обираємо з каталогу [13] та заносимо до таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Режими різання на операцію 015

Перехід	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T _о , хв
Підрізати торець $\varnothing 205/1100$	2	1-1,5	0,2	106	-	103	0,85
Точити поверхню $\varnothing 205$	1	3	0,8	64,37	80	22	0,25
Точити фаску $1,5 \times 45^\circ$	1	1,5	0,26	103	160	6	0,15
Разом	-	-	-	-	-	-	1,25

Режими різання на операцію 040 для свердління отворів $\varnothing 13$ розраховуємо аналітичним методом [10]. Ескіз операції зображено на рисунку 2.9.

Вихідні дані:

- діаметр отвору – 13 мм;
- глибина – 15 мм;
- матеріал заготовки – Сталь 30X13, $\sigma_B=730$ МПа;
- заготовка – поковка штампована.
- Верстат – BAOFENG серії T (Характеристики верстату зазначені в таблиці 2.9).

Свердло спіральне з твердого сплаву та циліндричним хвостовиком діаметром 13 мм, загальною довжиною 107 мм, довжиною ріжучої частини 43 мм.

Геометричні параметри свердла: $2\varphi=140^\circ$, $2\varphi_0=70^\circ$, $\psi=55^\circ$, $\alpha=12^\circ$, $\omega=30^\circ$, $\alpha_1=6^\circ$, $f_v=0,4$ мм.

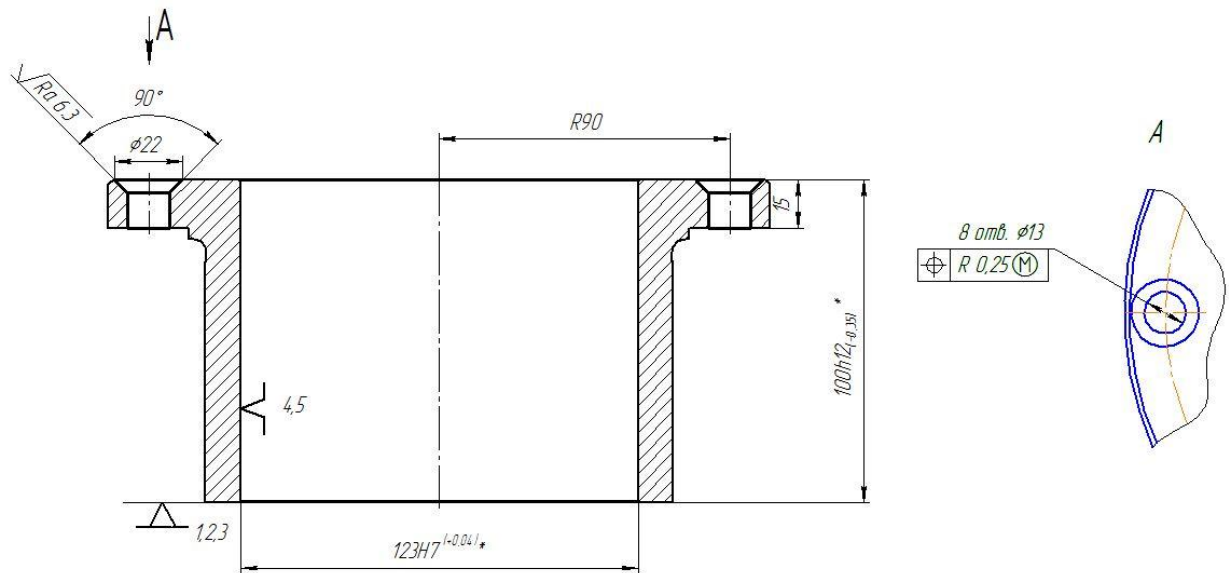


Рисунок 2.9 – Операційний ескіз на операцію 040

Розраховуємо глибину різання:

$$t = \frac{D}{2} = \frac{13}{2} = 6,5 \text{ мм.} \quad (2.17)$$

Для свердла діаметром до 20 мм з твердого сплаву період стійкості $T=45\text{хв.}$

Визначаємо подачу.

При свердлінні отворів глибиною $L < 3D$ з точністю H14 в умовах жорсткої технологічної системи та сталі 30X13 $\sigma_B=730 \text{ МПа}$ та $HB=300\dots330$ ГОСТ 1050-88 й діаметрі свердла 12...16 мм подача рекомендується в межах 0,17...0,20 мм/об. Приймаємо $S_{\text{табл}}=0,18 \text{ мм/об.}$

При $L < 5D$ приймаємо поправочний коефіцієнт $K_{1s}=0,9$, [10]. Тоді:

$$S=0,18 \cdot 0,9=0,162 \text{ мм/об.}$$

Оскільки верстат має безступінчастий діапазон подач, приймаємо $S_d=0,162 \text{ мм/об.}$

Перевіряємо прийняту подачу за міцністю свердла [10]:

$$S_{\text{мц.с}} = C_s \cdot D^{0,6} \cdot K_{ls}, \quad (2.18)$$

де $C_s = 0,064$;
 $K_{ls} = 0,9$;

$$S_{\text{мц.с}} = 0,064 \cdot 13^{0,6} \cdot 0,9 = 0,27 \text{ мм/об.}$$

Оскільки $S_d < S_{\text{мц.с}} \rightarrow 0,162 < 0,27$ (мм/об), то умова міцності свердла виконується.

Визначаємо швидкість різання, що допускається інструментом, м/хв:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot S^{y_v}} \cdot K_v, \quad (2.19)$$

де $C_v = 7,0$;
 $q_v = 0,40$;
 $y_v = 0,7$;
 $m = 0,20$.

Поправочний коефіцієнт на швидкість різання розраховуємо за формулою 2.9:

Коефіцієнт, що враховує властивості інструментального матеріалу – $K_{iv} = 1,0$.

Коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки – $K_{pv} = 0,8$.

Коефіцієнт, що враховує глибину різання – $K_{lv} = 1,0$.

Коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу розраховуємо за формулою 2.10:

$$K_{mv} = 1,2 \cdot \left(\frac{750}{730} \right)^{1,05} = 1,23.$$

Тоді:

$$V_p = \frac{7,0 \cdot 13^{0,4}}{45^{0,2} \cdot 0,162^{0,7}} \cdot 1,05 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 27,4 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя (формула 2.11):

$$n_p = \frac{1000 \cdot 27,4}{3,14 \cdot 13} = 672 \text{ об/хв.}$$

Оскільки верстат має безступінчатий діапазон частот обертання шпинделя, то приймаємо $n_p = n_d = 672 \text{ об/хв.}$ Тоді $V_p = V_d = 27,4 \text{ м/хв.}$

Визначаємо крутний момент та потужність, затрачену на різання.

Крутний момент:

$$M_{кр} = 10C_m \cdot D^{q_m} \cdot S^{y_m} \cdot K_p, \quad (2.20)$$

де $C_m = 0,0345$, $q_m = 2,0$, $y_m = 0,8$, $K_p = 0,81$.

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 13^2 \cdot 0,162^{0,8} \cdot 0,81 = 110,1 \text{ Н*м}$$

Потужність різання:

$$N_p = \frac{M_{кр} \cdot n_d}{9750} = \frac{110,1 \cdot 672}{9750} = 7,588 \text{ кВт.} \quad (2.21)$$

Даний показник є прийнятним при потужності верстата 9 кВт.

Визначаємо машинний час за формулою 2.16:

$$l_p = l + l'_1 + l''_1,$$

де $l'_1 = 0,4D = 0,4 \cdot 13 = 5,2 \text{ мм};$

$$l''_1 = 2 \text{ мм.}$$

Тоді для 8 отворів $l_p = 8 \cdot (15 + 5,2 + 2) = 177,6 \text{ мм.}$

$$T_o = \frac{177,6}{672 \cdot 0,162} = 1,63 \text{ хв.}$$

На інші переходи даної операції здійснюємо вибір режимів різання табличним методом за допомогою каталогів [13,14]. Ріжучий інструмент зазначений в пункті 2.7. Обрані режими заносимо до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Режими різання на операцію 040

Перехід	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/в	n, об/хв	L, мм	T _o ,хв
Центрування отворів Ø5мм	10	1,0	0,012	50	7958	82	0,85
Свердлування творів Ø13 мм	8	6,5	0,162	27,4	672	177,6	1,63
Свердлування отворів Ø10,2 мм	2	5,1	0,24	75	2341	44,4	0,5
Зінковка отворів Ø22x90° мм	8	11	0,15	60	3589	81,6	0,15
Нарізання різі M12x1.75 мм	2	0,9	1,75	36	955	44,4	0,07
Разом	-	-	-	-	-	-	3,2

Режими різання на операцію 055 для шліфування зовнішньої циліндричної поверхні Ø145 js6 розраховуємо аналітичним методом [10]. Ескіз операції зображено на рисунку 2.10.

Вихідні дані:

- діаметр поверхні – 145 мм;
- глибина – 0,5 мм;
- матеріал заготовки – Сталь 30X13, $\sigma_b=730$ МПа;
- заготовка – поковка штампована.
- верстат – 3A130 (Характеристики верстату зазначені в таблиці 2.11).

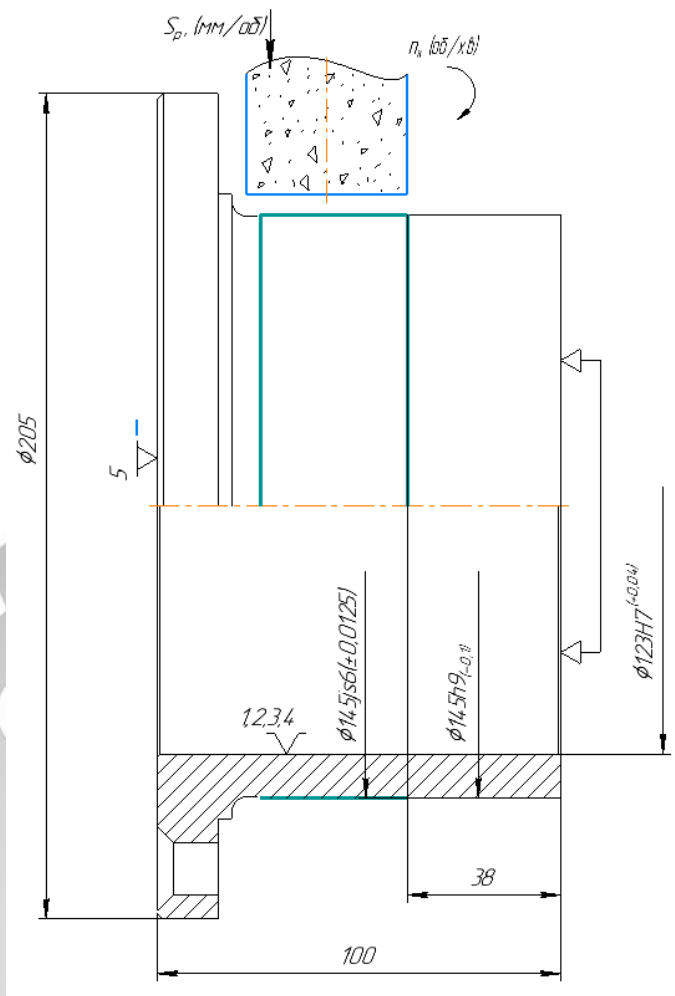


Рисунок 2.10 – Операційний ескіз на операцію 055

Основними параметрами різання при візному шліфуванні є:

- швидкість обертання шліфувального круга;
- радіальна подача;
- швидкість обертального руху заготовки.

У довіднику всі режими різання для шліфування зведені в таблиці 55 [10]. Тому користуючись вихідними даними обираємо за таблицею наступні режими:

- швидкість обертання шліфувального круга, $V_k = 35$ м/с (~ 1910 об/хв);
- радіальна подача, $S_p = 0,002$ мм/об;

- швидкість обертального руху заготовки, $V_3 = 30$ м/хв ($\sim 65,89$ об/хв).

Ефективна потужність при врізному шліфуванні периферією круга розраховується за формулою:

$$N = C_N \cdot V_3^r \cdot S_p^y \cdot d^q \cdot b^z, \quad (2.22)$$

де d – діаметр шліфування;

b – ширина шліфування;

Значення коефіцієнта C_N та показників степенів приведені в таблиці 56:

- $C_N = 0,14$;

- $r = 0,8$;

- $y = 0,8$;

- $q = 0,2$;

- $z = 1,0$.

Підставляємо в формулу отримані значення:

$$N = 0,14 \cdot 30^{0,8} \cdot 0,002^{0,8} \cdot 145^{0,2} \cdot 36,5^1 = 1,46 \text{ кВт.}$$

2.8 Технічне нормування операцій

Нормування операцій, представлене у даному пункті виконане за загально прийнятою методикою [2], [11].

Дані щодо режимів різання та основного часу на операції 015 (токарно-гвинторізна) обираємо з таблиці 2.12.

Основний час $T_0 = 1,25$ хв.

Для операції 015 визначаємо допоміжний час за формулою:

$$T_d = T_{вст} + T_{кв} + T_{вим}, \quad (2.23)$$

де $T_{\text{вст}} = 0,32$ хв – час на встановлення і зняття заготовки [2];
 $T_{\text{кв}} = 0,6$ – допоміжний час пов'язаний з керуванням верстата [2];
 $T_{\text{вим}} = 0,22$ хв – час на вимірювання [2].

$$T_{\text{д}} = 0,32 + 0,6 + 0,22 = 1,14 \text{ хв.}$$

Оперативний час розраховуємо за формулою:

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{o}} + T_{\text{д}}, \quad (2.24)$$

$$T_{\text{оп}} = 1,25 + 1,14 = 2,39 \text{ хв}$$

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

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 = 2,39 \cdot 0,08 = 0,19 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучний час:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}}, \quad (2.25)$$

$$T_{\text{шт}} = 2,39 + 0,19 = 2,58 \text{ хв}$$

Розраховуємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N}, \quad (2.26)$$

де $N = 370$ шт – кількість деталей у партії

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

- на отримання креслення і наряду, $T = 4$ хв;
- на ознайомлення з роботою та кресленням, $T = 2$ хв;
- інструктаж майстра, $T = 2$ хв;
- отримання інструменту, верстатного пристрою та заготовки, $T = 9$ хв.

$$T_{п-з} = 4 + 2 + 2 + 9 = 17 \text{ хв.}$$

$$T_{шт-к} = 2,58 + \frac{17}{370} = 2,63 \text{ хв.}$$

Результати приведених вище розрахунків заносимо до таблиці 2.14

Таблиця 2.14 – Технічні норми часу на операцію 015

Норма часу	Значення, хв
Основний час, T_o	1,25
Допоміжний час, T_d	1,14
Оперативний час, $T_{оп}$	2,39
Додатковий час, $T_{дод}$	0,19
Штучний час, $T_{шт}$	2,58
Підготовчо-заклучний час, $T_{п-з}$	17
Штучно-калькуляційний час, $T_{шт-к}$	2,63

Для операції 040 (свердлильна з ЧПК) визначаємо допоміжний час за формулою:

$$T_d = T_{вст} + T_{д.оп} + T_{вим}, \quad (2.27)$$

де $T_{вст} = 0,32$ хв – час на установку і зняття заготовки [11];

$T_{д.оп} = 0,5$ – допоміжний час пов'язаний з операцією [11];

$T_{вим} = 0,22$ хв – допоміжний час на вимірювання [11].

$$T_d = 0,32 + 0,6 + 0,22 = 1,13 \text{ хв.}$$

Час циклу автоматичної роботи верстату за програмою розраховуємо за формулою:

$$T_{ца} = T_o + T_{мв}, \quad (2.28)$$

де $T_{мв} = 1,8$ хв – машинно-допоміжний час [11].

$$T_{ца} = 3,2 + 1,8 = 5 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час розраховуємо за формулою:

$$T_{пз} = T_{пз1} + T_{пз2} + T_{пр.обр.}, \quad (2.29)$$

де $T_{пз1} = 8$ хв – норма часу на налагодження та налаштування верстата [11];

$T_{пз2} = 14,1$ хв – норма часу на налагодження верстата, пристрій, інструмента, програмних пристроїв [11];

$T_{пр.обр} = 7,4$ хв – норма часу на пробну обробку [11].

$$T_{пз} = 8 + 14,1 + 7,4 = 29,5 \text{ хв.}$$

Розраховуємо норму штучного часу:

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_{д} \cdot K_T) \cdot \left(1 + \frac{a_{тех} + a_{орг} + a_{ос}}{100}\right), \quad (2.30)$$

де $K_t = 1,0$ – поправочний коефіцієнт на час виконання ручної допоміжної роботи в залежності від партії деталей [11];

$a_{тех} + a_{орг} + a_{ос} = 8\%$ – час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця, на відпочинок та особисті [11].

$$T_{шт} = (5 + 1,13 \cdot 1) \cdot \left(1 + \frac{8}{100}\right) = 6,62.$$

Норма часу на виконання операції на верстаті з ЧПК [9]:

$$T_{час} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}, \quad (2.31)$$

де $n = 204$ шт. – кількість деталей у партії.

$$T_{час} = 6,62 + \frac{29,5}{204} = 6,76$$

Результати приведених вище розрахунків заносимо до таблиці 2.15

Таблиця 2.15 – Технічні норми часу на операцію 040

Норма часу	Значення, хв
Основний час, T_o	3,2
Допоміжний час, T_d	1,13
Час циклу автоматичної роботи верстату за програмою, $T_{ца}$	5
Підготовчо-заключний час, $T_{п-з}$	29,5
Штучний час, $T_{шт}$	6,62
Норма часу на виконання операції на верстаті з ЧПК, $T_{час}$	6,76

Нормування операції 055 (круглошліфувальна)

Розраховуємо основний технологічний час за формулою:

$$T_o = \frac{h \cdot k_T}{S_p \cdot n_3}, \quad (2.32)$$

де h – припуск на обробку, $h = 0,5$ мм;

k_T – коефіцієнт точності, для остаточного шліфування $k_T = 1,6$ [11];

S_p – радіальна подача, $S_p = 0,002$ мм/об.

n_3 – швидкість обертання заготовки, $n_3 = 65,89$ об/хв.

$$T_o = \frac{0,5 \cdot 1,6}{0,002 \cdot 65,89} = 6,07 \text{ хв.}$$

Допоміжний час розраховуємо за формулою 2.26:

$$T_d = 0,46 + 0,07 + 0,68 = 1,21 \text{ хв.}$$

Оперативний час розраховуємо за формулою 2.23:

$$T_{оп} = 6,07 + 1,21 = 7,28 \text{ хв.}$$

Додатковий час виражається у відсотках від оперативного часу і розраховується за формулою:

$$T_{\text{дод}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot (P_{\text{обс}} + P_{\text{відп}})}{100}, \quad (2.33)$$

де $P_{\text{обс}}$ – час на обслуговування робочого місця; приймається урахуванням групи верстатів, $P_{\text{обс}} = 9\%$;

$P_{\text{відп}}$ – час на відпочинок і особисті потреби працівника, $P_{\text{відп}} = 4\%$.

Підставляємо значення у формулу:

$$T_{\text{дод}} = \frac{7,28 \cdot (9 + 4)}{100} = 0,20 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучний час за формулою 2.24:

$$T_{\text{шт}} = 7,28 + 0,2 = 7,48 .$$

Підготовчо-заклучний час включає час на:

- налагодження верстата, інструменту та пристосувань при установці в центрах для 1 групи верстатів - 10 хв .;
- установку і зняття шліфувального круга - 6,0 хв .;
- правку шліфувального круга після його установки по циліндричній поверхні -1,0 хв., по одному торця -1,5 хв., по одному радіусу - 0,5 хв, загальний час - 3,0 хв .;
- отримання інструменту і пристосувань до початку і здає їх після закінчення роботи - 7 хв.

Сумарний підготовчо-заклучний час:

$$T_{\text{пз}} = 10 + 6 + 3 + 7 = 26 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час визначаємо за формулою 2.25:

$$T_{\text{шт-к}} = 7,48 + \frac{26}{370} = 7,55 \text{ хв.}$$

Результати приведених вище розрахунків заносимо до таблиці 2.16

Таблиця 2.16 – Технічні норми часу на операцію 055

Норма часу	Значення, хв
Основний час, T_o	6,07
Допоміжний час, T_d	1,21
Оперативний час, $T_{оп}$	7,28
Додатковий час, $T_{дод}$	0,20
Штучний час, $T_{шт}$	7,48
Підготовчо-заключний час, $T_{п-з}$	26,00
Штучно-калькуляційний час, $T_{шт-к}$	7,55

2.9 Проектування верстатного пристрою

Розрахунки, представлені у даному пункті виконані за загально прийнятою методикою [12]

У роботі розглядається операція Свердлильна з ЧПК. На операції відбувається свердлування та зінковка восьми отворів $\varnothing 13$, свердлування двох діаметрально протилежних отворів $\varnothing 10,2$ та подальше нарізання на них різі M12x1,75-7h.

Впровадження розроблюваного пристрою дає можливість встановлювати деталь на операції без попередньої вивірки за рахунок використання спеціальної оправки.

Завдяки використанню силового пневматичного приводу досягається швидкий затиск та розтиск деталі.

Точність розмірів деталі

Розглядаючи креслення деталі, можемо зробити висновок, що до оброблюваних поверхонь не пред'явлені жорсткі параметри, окрім різі M12x1,75-7h, де точність 7h буде досягатися інструментом - мітчиком.

До поверхонь, які на кресленні задані вільними, відповідно до технічних вимог до виготовлення деталі, допуски обираємо за 14 квалітетом точності згідно з ГОСТ 25347-82:

- значення допуску до отворів $\varnothing 13$ – $T_{13}=0,36$ мм, $ES=+0,43$ мм та $EI=0$.
- значення допуску до отворів $\varnothing 10,2$ – $T_{10,2}=0,43$ мм, $ES=+0,43$ мм та $EI=0$.
- значення допуску до фасок $13 \times 90^\circ$ – $T_{13}=0,20$ мм, $ES=+0,43$ мм та $EI=0$ мм, $90^\circ \pm 1^\circ$ (ГОСТ 8908-81).
- значення допуску до розміру $22^\circ 30' - \pm 14'$

Точність форми деталі

Конструктором не відзначена точність форми отриманих поверхонь, тому назначаємо її відповідно з нормальною відносною геометричною точністю – А, згідно з ГОСТ 24643-81 (60%, або 30% для допуску циліндричності, круглості та профілю повздовжнього січення, від допуску на розмір). Відповідно назначимо в відсотковій частині від допуску на розмір такі відхилення.

Допуск циліндричності та круглості, котрі складатимуть 30% від допуску для розміру:

- $\varnothing 13^{+0,43}$, $T_{\phi}=0,43 \cdot 0,3=0,129$ мм, приймаємо 120 мкм – 14 степінь точності згідно з ГОСТ 24643-81;
- $\varnothing 10,2^{+0,43}$, $T_{\phi}=0,43 \cdot 0,3=0,129$ мм, приймаємо 120 мкм – 14 степінь точності згідно з ГОСТ 24643-81.

Точність розташування отворів

На кресленні задане значення позиційного допуску розташування 8 отворів $\varnothing 13$, що залежить від радіального розміру R90.

Позиційний допуск за кресленням складає $T_{\text{п}}=0,25\text{мм}$. Допуск є стандартним та відповідає 12 степені точності згідно з ГОСТ 24643-81.

Шорсткість поверхонь деталі

Згідно з кресленням шорсткість 8 отворів $\text{Ø}13$ повинна становити 6,3 мкм по критерію R_a , що відповідає 12 квалітету точності. Оскільки отвори оброблюються за 14 квалітетом, то шорхність може бути досягнена шляхом зменшення подачі при обробці та використання високоякісного інструменту.

Інші оброблювані поверхні відповідають 14 квалітету точності, тому пред'явлені вимоги до шорсткості не є жорсткими.

Шорсткість усіх поверхонь складає $R_a=12,5$ мкм.

Аналіз схеми базування та характеристика верстата приводяться в пунктах 2.4 та 2.5 відповідно.

Для визначення взаємного впливу поля збурюючих сил і поля врівноважуючих сил побудуємо графічну модель збурюючих сил у взаємозв'язку з прийнятою схемою базування (рисунк 2.10).

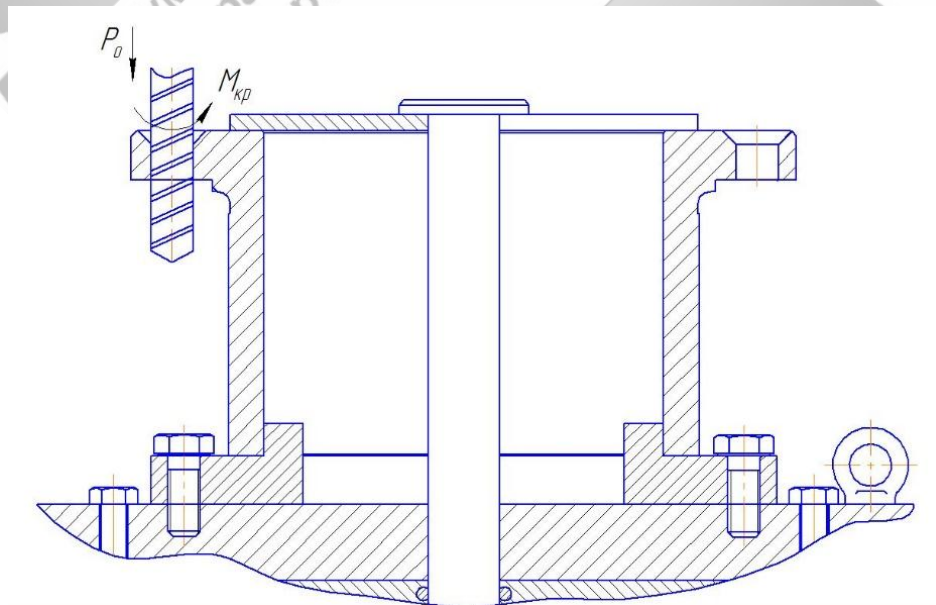


Рисунок 2.10 – Структура поля збурюючих сил

Побудуємо поле врівноважуючих сил, створених затискним механізмом пристрою (рисунок 2.11).

Розрахуємо величину сумарного зусилля закріплення за формулою [12]:

$$W = \frac{K \cdot M_{кр} \cdot n}{\frac{1}{3} f \left(\frac{D_1^3 - D^3}{D_1^2 - D^2} \right)} \quad (2.34)$$

де W – сила затиску деталі;

$M_{кр}$ – крутний момент на свердлі, кгс · мм;

n – число одночасно працюючих свердл;

f – коефіцієнт тертя на робочих поверхнях затискачів (для гладких поверхонь $f = 0,25$);

K – коефіцієнт запасу.

Визначаємо коефіцієнт запасу:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (2.35)$$

де $K_0 = 1,5$ – коефіцієнт гарантованого запасу;

$K_1 = 1,0$ – коефіцієнт випадкових нерівностей ;

$K_2 = 1,15$ – коефіцієнт затуПЛення ріжучого інструменту;

$K_3 = 1,0$ – коефіцієнт збільшення сил різання при врізанні;

$K_4 = 1,2$ – коефіцієнт постійності сили закріплення;

$K_5 = 1,0$ – коефіцієнт ергономіки;

$K_6 = 1,0$ – коефіцієнт моменту повороту заготовки.

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,07 .$$

Приймаємо $K = 2,5$.

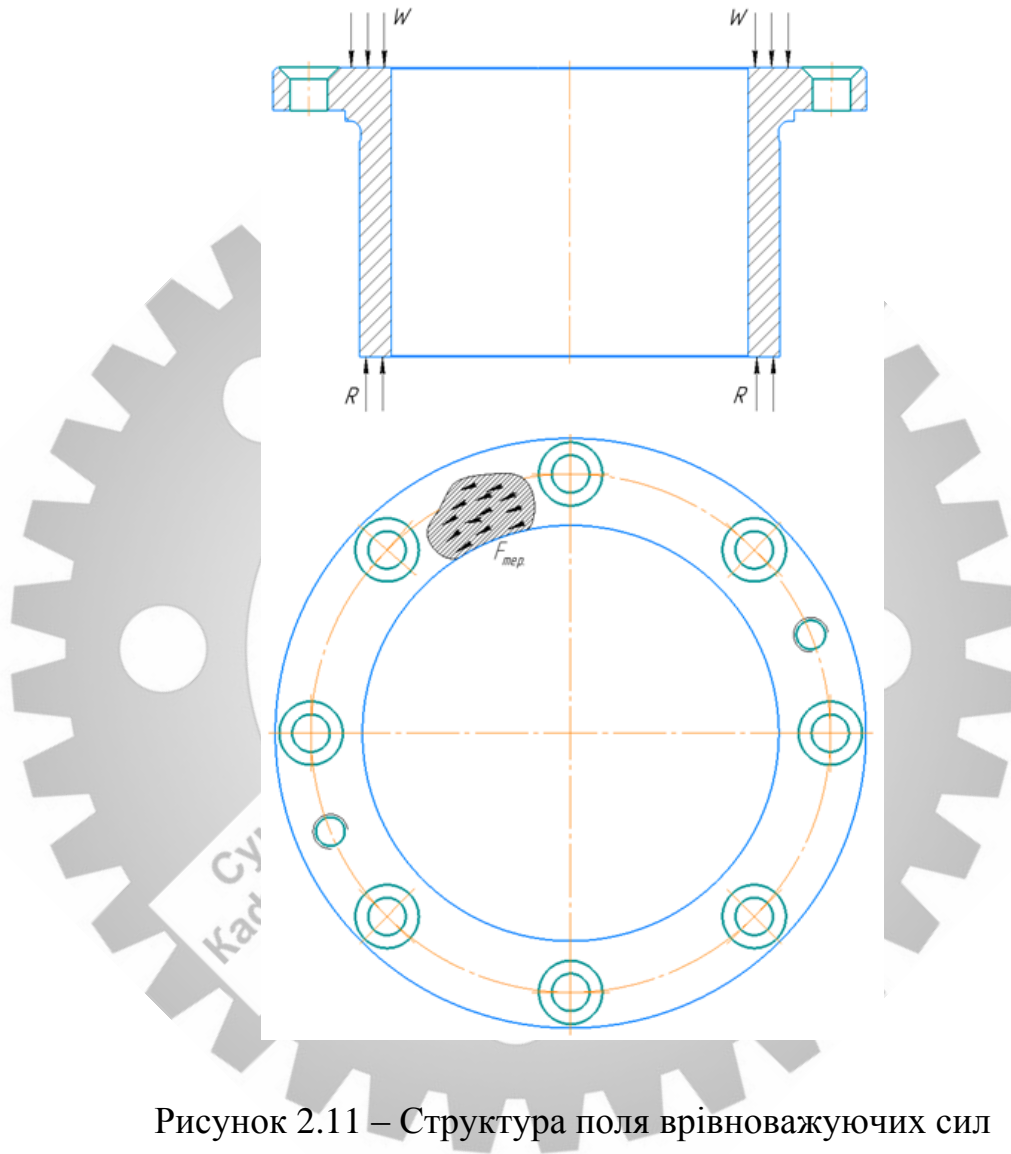


Рисунок 2.11 – Структура поля врівноважуючих сил

Значення крутного моменту розраховано у пункті 2.7 (формула 2.20) –
 $M_{кр} = 110,1 \text{ Н*м}$

Визначаємо осьову силу різання:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p , \quad (2.36)$$

де $C_p = 1,0$;

$D = 13 \text{ мм}$;

$s = 0,162 \text{ мм/об}$;

$q = 1,0$;

$y = 0,7$

$$P_0 = 10 \cdot 1 \cdot 13^1 \cdot 0,162^{0,7} \cdot 0,98 = 35,63 \text{ Н.}$$

Таким чином:

$$W = \frac{2,5 \cdot 110,1 \cdot 1}{\frac{1}{3} \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{0,046^3 - 0,025^3}{0,046^2 - 0,025^2} \right)} = 1395 \text{ Н.}$$

Обґрунтування вибору привода

Для розкріплення деталі достатньо 15-20 мм ходу штока. У зв'язку з цим раціонально примінити тарільчатую резино-тканинну пневмокамеру односторонньої дії.

Діаметр діафрагми визначаємо в залежності від розрахованого сумарного зусилля закріплення. Розрахункове зусилля закріплення $W = 1395 \text{ Н}$. За [12] приймаємо $W = 3500 \text{ Н}$, виходячи з цього отримуємо $\text{Ø}125$.

Визначаємо основні параметри пневмокамери:

$$W = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta}{4} - q \quad (2.37)$$

де D – діаметр пневмокамери, мм;

$q=200$ –опір пружини, Н

$\eta=0,85$ – ККД;

$p=0,4$ – тиск у пневмережі, МПа.

Розраховуємо фактичну силу, яка діє на прихват:

$$W = \frac{3,14 \cdot 125^2 \cdot 0,4 \cdot 0,85}{4} - 200 = 3970 \text{ Н.}$$

Довжину хода штоку:

$$L = (0,18 \dots 0,22) \cdot 125 = 25 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину мембрани – $t=3$ мм.

Розрахунок пристрою на точність

Розрахункову похибку пристрою розраховуємо за формулою 2.35. Більшість складових, що входять у дану формулу, являють собою поля розсіювання випадкових величин, тому їх підсумовують у загальному випадку за правилом геометричного додавання.

$$\varepsilon_{\text{пр}} = T - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{\text{п}}^2 + \varepsilon_{\text{зн}}^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{\text{поз}}^2}, \quad (2.38)$$

де $T = 0,25$ мм – найбільш жорсткий допуск розташування або розміру (з тих, які одержують на даній операції);

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

$K_{T1} = 0,85$ - коефіцієнт, що враховує деяке зменшення граничного значення похибки базування;

$\varepsilon_6 = 0,093$ - похибка базування заготовки;

$\varepsilon_3 = 0$ мм - похибка закріплення [12];

$\varepsilon_y = 0,089$ мм - похибка установки пристрою на верстаті [10];

$$\varepsilon_y = \frac{Sl}{L} = \frac{0,079 \cdot 180}{160} = 0,089$$

де S – максимальний зазор посадки H7/g6;

l – максимальний діаметр на якому ведеться обробка;

L – відстань між шпонками;

$\varepsilon_{\Pi} = 0,01$ - похибка перекосу інструмента (відсутні постійні або змінні напрямні втулки);

$\varepsilon_{зн} = 0,02$ – похибка зношування [12];

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

$\omega = 0,01$ мм – економічна точність обробки [12];

$\varepsilon_{noz} = 10$ мкм - похибка позиціювання (відповідно до паспорта верстата).

$$\varepsilon_{\text{пр}} = 0,25 - 1,2 \sqrt{(0,85 * 0,093)^2 + 0^2 + 0,089^2 + 0,01^2 + 0,02^2 + (0,6 \cdot 0,01)^2 + 0,01^2} \\ = 0,069(\text{мм}).$$

Розрахункова величина точності пристрою складає 0,069 мм. Округляємо це значення до найближчого меншого значення – 0,1 мм.

Вказуємо на складальному кресленні пристрою як технічну вимогу, що допуск зміщення вісі установчого пальця відносно загальної вісі шпонок в поперечному напрямі – не більше 0,1 мм.

Опис пристрою та принцип його роботи

Пристрій в зборці повинен задовольняти технічні вимоги креслення загального виду та забезпечувати якісну обробку заготовки по заданим розмірам.

Послідовність складання:

- 1) Закрутити рим-болт 16 до корпусу.
- 2) В корпус 1 встановити шпонку 6 та закріпити гвинтом 7.

- 3) Встановити ущільнювачі 12 в верхню частину пневмокамери 3 та болтами прикріпити до корпусу.
- 4) Оправку 13 прикрутити гвинтами 18 до корпусу.
- 5) Встановити шток 15 через корпус та з'єднати з мембраною гайкою 17 підклавши шайби 18 з обох сторін.
- 6) В нижню частину пневмокамери 5 вкласти пружину 11 та закріпити обидві частини пневмокамери гвинтами 9.

Експлуатація пристрою:

- 1) Встановити заготовку на оправку 13.
- 2) На шток пристосування 15 встановити розрізну шайбу 10.
- 3) Поворотом рукоятки розподільного крана призвести закріплення заготовки.
- 4) Обробити заготовку.
- 5) Поворотом рукоятки розподільного крана у зворотний бік відкріпити заготовку.
- 6) Зняти розрізну шайбу 10 з штока пристрою 15 .
- 7) Підготувати базові поверхні пристрою до установки наступної заготовки.
- 8) У процесі експлуатації пристосування виконувати пункти технічних вимог.
- 9) Пристрій зберігати на дерев'яній основі. Вплив атмосферних опадів і агресивних середовищ неприпустимо.

При повороті рукоятки пневморозподільвача, в безштокову порожнину пневмокамери надходить стиснуте повітря 0,4МПа. У зв'язку з чим тарільчата мембрана переміщується зі свого початкового положення у нижню порожнину пневмокамери. Відбувається переміщення штока, який у свою чергу тисне на затискач, котрий притискає заготовку.

При повороті рукоятки пневморозподільвача в іншу сторону, повітря з пневмокамери виходить. За допомогою зворотної пружини тарільчата мембрана повертається у вихідне положення – відбувається розкріплення заготовки.

2.10 Проектування контрольно-вимірювального приладу

На даний момент контроль радіального биття поверхні $\varnothing 145f9$ на робочому місці токаря не виконується. При обробці деталь базується, по поверхні $\varnothing 205h14$, але так як ця поверхня не є базовою для контролю радіального биття, то контроль не може бути виконаним. На зняття деталі з верстату і додатковий контроль токарем витрачатиметься досить багато часу, тому контроль необхідно проводити після остаточної обробки деталі у відділі технічного контролю.

В цілому контроль радіального биття поверхні $\varnothing 145f9$ відносно базової поверхні $\varnothing 123H7$ не викликає труднощів, оскільки допуск проставлений правильно, а базові поверхні достатньо розвинуті та точні. Шорсткість даної поверхні за критерієм $Ra=1,6$ мкм, що відповідає стандартному ряду. Допуск на розмір $\varnothing 145$ складає $0,1$ мм що відповідає $\varnothing 145f9$. Допустиме значення радіального биття зазначене на кресленні складає $0,07$ мм, що не відповідає жодній степені точності для даного номінального розміру $\varnothing 145$ мм за ГОСТ 24643-81. Виходячи з рекомендацій [2, с.138, табл. 50] допуск на радіальне биття приймаємо відповідно до 7-ї степені точності. Згідно з ГОСТ 24643-81 допуск на радіальне биття складає 50 мкм.

Вибір категорії контролю

Виробництво подібного технологічного класу деталей можна вважати давно освоєним. Тому беремо нормальний режим контролю ГОСТ 20736-75. Встановимо такі показники операції контролю: за об'ємом – суцільний контроль; за часом – періодичний; за структурою – одноразовий. З

урахуванням цього впродовж запланованого періоду випуску продукції потрібно провести 4500 контролів радіального биття поверхні $\varnothing 145f9$ відносно базової поверхні $\varnothing 123H7$.

Вибір контрольних точок об'єкта вимірювання

Контрольований параметр визначає величину радіального биття поверхні $\varnothing 145f9$ (рисунок 2.12).

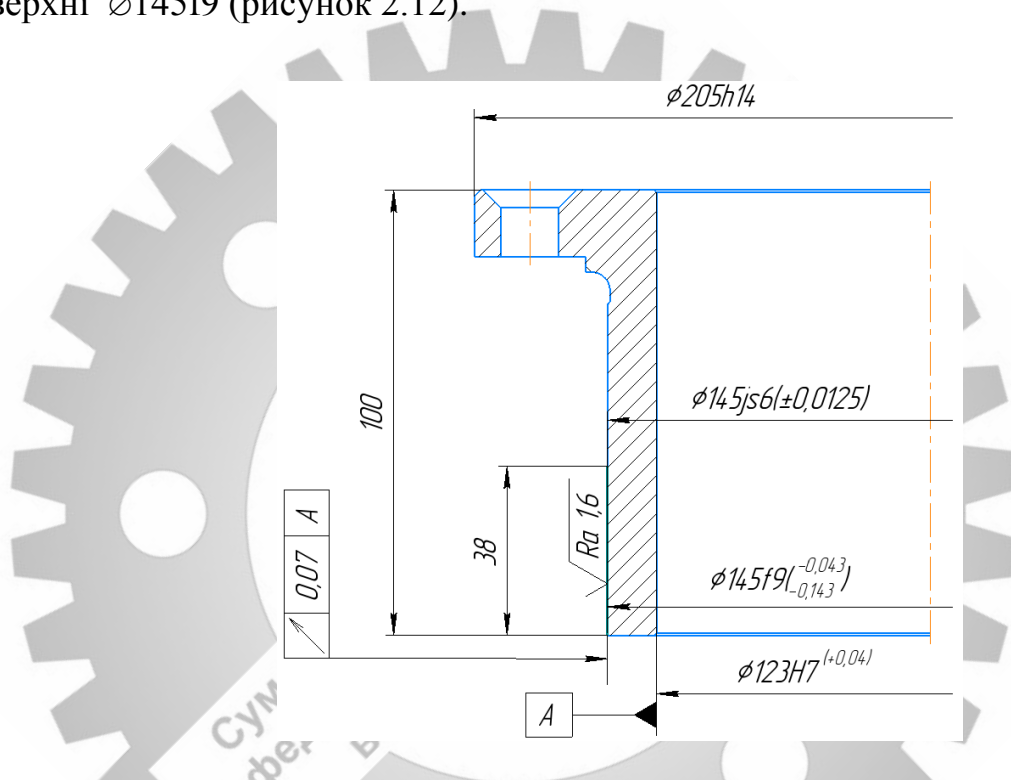


Рисунок 2.12 – Точки в яких знімається інформація про параметр

Уточнення і аналіз точності параметра контрольованої поверхні

На операції проводиться контроль радіального биття на поверхні $\varnothing 96d9$ мм. Визначимо параметри точності даної поверхні.

Точність розміру

Як вже встановлено, номінальний розмір контрольованої поверхні — 145 мм, що відповідає 9-му квалітету точності ($\varnothing 145f9$). Верхнє відхилення –

$es = -43$ мкм; нижнє відхилення $ei = -143$ мкм, допуск $IT = 100$ мкм згідно з ГОСТ 25347-2013.



Точність форми

Для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 145$ характерною похибкою форми є відхилення від циліндричності, допустима величина якого не регламентується кресленням деталі. Для нормальної геометричної точності А величину допуску циліндричності визначимо як 30% від допуску на діаметральний розмір контрольованої поверхні:

$$T/O/\varnothing_{145}=0,3 \cdot T\varnothing_{145}=0,3 \cdot 100=30 \text{ мкм.} \quad (2.39)$$

Дане значення відповідає 8-й степені точності за ГОСТ 24643-81.

Точність розташування поверхонь

Як зазначено вище, значення радіального биття, складає 50 мкм, що відповідає 7-й степені точності за ГОСТ 24643-81.

В даному випадку для нас має значення різниця найбільшої R_{\max} та найменшої R_{\min} відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової вісі в перерізі площиною, перпендикулярній до базової вісі (рисунок 2.13).

Степінь шорсткості

Шорсткість задана на кресленні й прийнята конструктором – $R_a=1,6$ мкм.

Визначення конструктивно-технологічних особливостей деталі

Радіальне биття контролюється після остаточної механічної обробки на столі у відділенні технічного контролю. Деталь за конструктивними особливостями відноситься до тіл обертання, за технічними – до класу короткий циліндр. Маса деталі після обробки 6,44 кг. Матеріал деталі – корозійно-стійка жаростійка сталь 30X13 (ГОСТ 5949-75) . Сталь має високу

міцність, твердість та в'язкість, твердість HB 235...277; щільність 7,7 т/м³; межа текучості 735 МПа

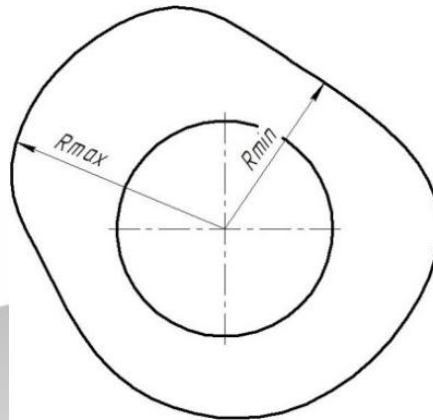


Рисунок 2.13 — Можливі відхилення розташування поверхонь реальної деталі

Вибір схеми контролю

З усіх поверхонь, що утворюють деталь, на роль базових претендують внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 123H7$ та торець $\varnothing 205h14$. За встановлювальну базу беремо торець на $\varnothing 205H14$, оскільки даний вибір обґрунтований можливістю суміщення конструкторської та технологічної баз. Проведемо уточнення і аналіз точності параметрів цих поверхонь.

Уточнення і аналіз точності параметрів базових поверхонь

Точність розмірів

Діаметр внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 123$ мм. Квалітет точності IT7. Нижнє відхилення – $e_i = 0$ мкм, верхнє $e_s = +0,04$. Величина допуску IT=40 мкм згідно ГОСТ 25347-82.

Точність форми

Розглянемо можливі відхилення форми базової циліндричної поверхні, котрі можуть вплинути на точність розміщення деталі при контролі. Перш за все до них відносяться відхилення від круглості.

Відхилення форми поздовжнього перерізу виражається відхиленням від площинності, до якого відносять: конусоподібність, бочкоподібність, сідлоподібність.

Для внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 123H7$ характерною похибкою форми є відхилення від циліндричності, допустима величина якого не регламентується кресленням деталі. Для нормальної геометричної точності А величину допуску циліндричності визначимо як 30% від допуску на діаметральний розмір даної поверхні:

$$T/O/\varnothing_{123} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 123} = 0,3 \cdot 40 = 12 \text{ мкм.}$$

Дане значення відповідає 6-й степені точності за ГОСТ 24643-81.

Для торця на $\varnothing 205h14$ характерною похибкою форми є відхилення від площинності, допустима величина якого не регламентується кресленням деталі. Величину визначимо як 30% від допуску на довжину даної поверхні:

$$T_{1205} = 0,3 \cdot T_{p-p} = 0,3 \cdot 1150 = 345 \text{ мкм.}$$

Найближче значення допуску зі стандартного ряду рівне 300 мкм, що відповідає 13-й степені точності за ГОСТ 24643-81

Точність розташування

У зв'язку з тим, що на кресленні немає обмежень на відхилення розташування базової циліндричної поверхні $\varnothing 123H7$, призначаємо допуск

радіального биття, який складає 30% від допуску на діаметральний розмір даної поверхні:

$$T/O_{\varnothing 123} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 123} = 0,3 \cdot 40 = 12 \text{ мкм.}$$

Дане значення відповідає 4-й степені точності за ГОСТ 24643-81.

Для торця на $\varnothing 205h14$ призначаємо допуск торцевого биття, який складає 30% від допуску на довжину даної поверхні:

$$T_{1205} = 0,3 \cdot T_{p-p} = 0,3 \cdot 1150 = 345 \text{ мкм.}$$

Найближче значення допуску зі стандартного ряду рівне 300 мкм, що відповідає 12-й степені точності за ГОСТ 24643-81

Степінь шорсткості

На кресленні зазначена шорсткість внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 123H7 - Ra=0,8$ мкм, торця на $\varnothing 123h14 - Ra=3,2$ мкм.

Вибір та обґрунтування схеми базування

Складемо таблицю параметрів точності базових і контрольованих поверхонь. Оцінюючи дані параметри (табл.2.17) приходимо до висновку, що якість базових поверхонь забезпечує задану точність положення деталі під час контролю.

На рисунку 2.14 показана схема базування та закріплення. Попередньо для встановлення деталі обираємо мембранний патрон. Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 123H7$ розтискається у проточених кулачках, при цьому реалізується подвійна опорна база, що позбавляє деталь двох ступенів вільності. Торець на $\varnothing 205h14$ являється установлювальною базою та позбавляє деталь трьох ступенів вільності.

Таблиця 2.17 – Показники точності поверхонь

Параметри точності	Контрольована поверхня $\varnothing 145f9$	Базові поверхні	
		Циліндрична поверхня $\varnothing 123H7$	Торець на $\varnothing 205h14$
Точність розміру (квалітет)	9	7	14
Точність форми (ступінь точності)	8	7	13
Точність розташування (ступінь точності)	7	4	12
Шорсткість поверхні, R_a (мкм)	1,6	0,8	3,2

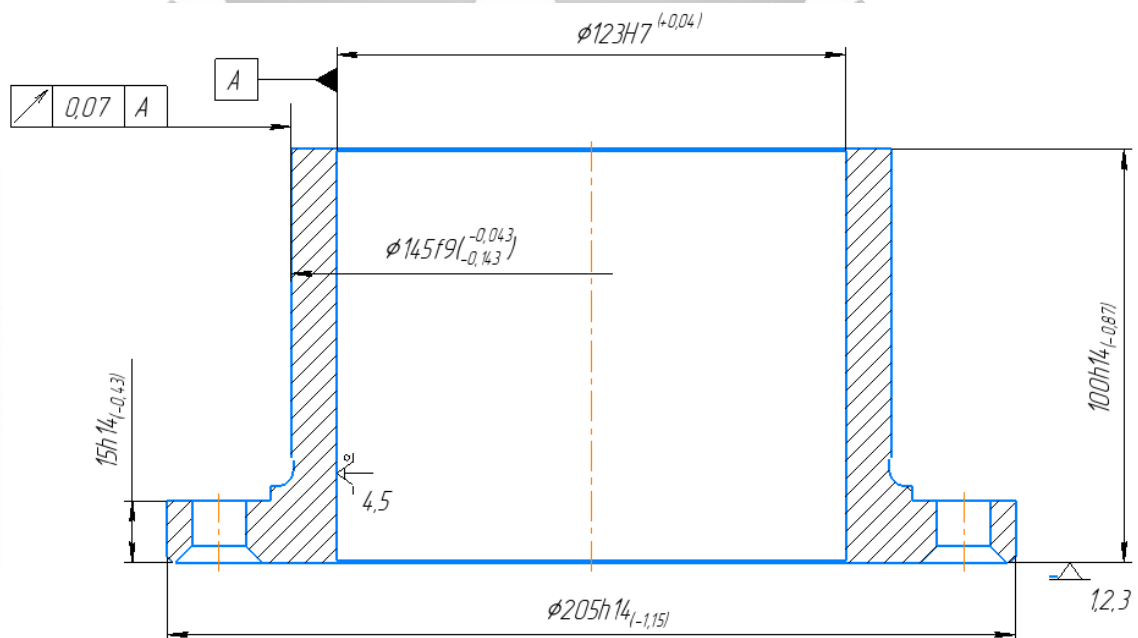


Рисунок 2.14 – Схема базування та закріплення деталі на операції контролю

Аналізуємо односторонні координатні зв'язки КВП, для чого будуємо схему координат, зображену на рисунку 2.6.

Зі схеми бачимо, що деталь позбавлена 9-и односторонніх зв'язків ($x, x', y, y', z', \omega_x, \omega_x', \omega_y, \omega_y'$), вільними залишились – z, ω_z, ω_z' . Оскільки обрана схема базування дозволяє суміщати технологічну та вимірювальну бази для вимірюваного параметру, то похибка базування відсутня – $\varepsilon_0=0$.

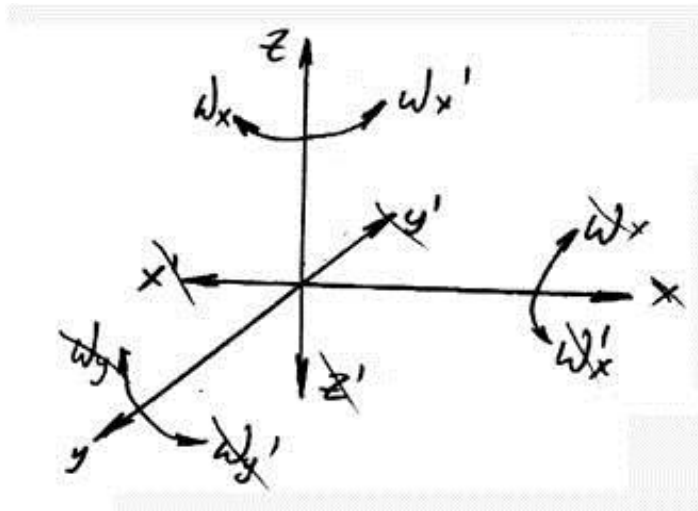


Рисунок 2.6 – Схема координат

Вибір і обґрунтування схеми закріплення

Якщо розташувати вісь деталі вертикально, то сила тяжіння буде притискати опорну поверхню до установчої поверхні пристосування, а базова циліндрична поверхня затискатиметься кулачками мембранного патрону. Таким чином необхідність в жорсткому закріпленні деталі на операції контролю відпадає. Виходячи з цього, похибка що враховує вплив сил закріплення буде рівна нулю $\epsilon_j=0$.

Визначення умов, в яких буде експлуатуватися КВП

Контроль заданого параметра буде проводитися після остаточної механічної обробки на столі у відділенні технічного контролю. Виходячи з цього, робимо висновки про прийнятні умови експлуатації КВП. Температура робочої зони – $t = 20^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$. Відносна вологість повітря – φ_n 80%. Атмосферний тиск – $P_{\text{ат}} = 86 \dots 106 \text{ кПа}$; швидкість руху повітря - $V_c \leq 0,5 \text{ м/с}$. Частота вібрацій, створюваних обладнанням та верстатами 20-30 Гц. Місцева освітленість робочої дільниці $E_{\phi} = 1000 \text{ люкс}$. Можливий контроль деталей, що не охолонули після обробки. Їх температура може досягати 50° C .

Складання переліку частинних функцій, котрі слід реалізувати в КВП.

Визначення структури потоку функцій

З переліку функцій, котрі реалізуються в КВП, складемо набір функцій, які необхідно відтворити, щоб операція контролю була можливою: 1) встановлення (зняття) деталі; 2) базування; 3) налаштування; 4) об'єднання; 5) прийом інформації; 6) передача і перетворення інформації; 7) відображення результатів вимірювання; 8) підведення та відведення засобу вимірювання. Задаємо тривалість реалізації частинних функцій: $t_{\phi 1} = 15$ с; $t_{\phi 2} = 8$ с; $t_{\phi 5} = 4$ с; $t_{\phi 6} = 5$ с; $t_{\phi 7} = 5$ с; $t_{\phi 8} = 5$ с.

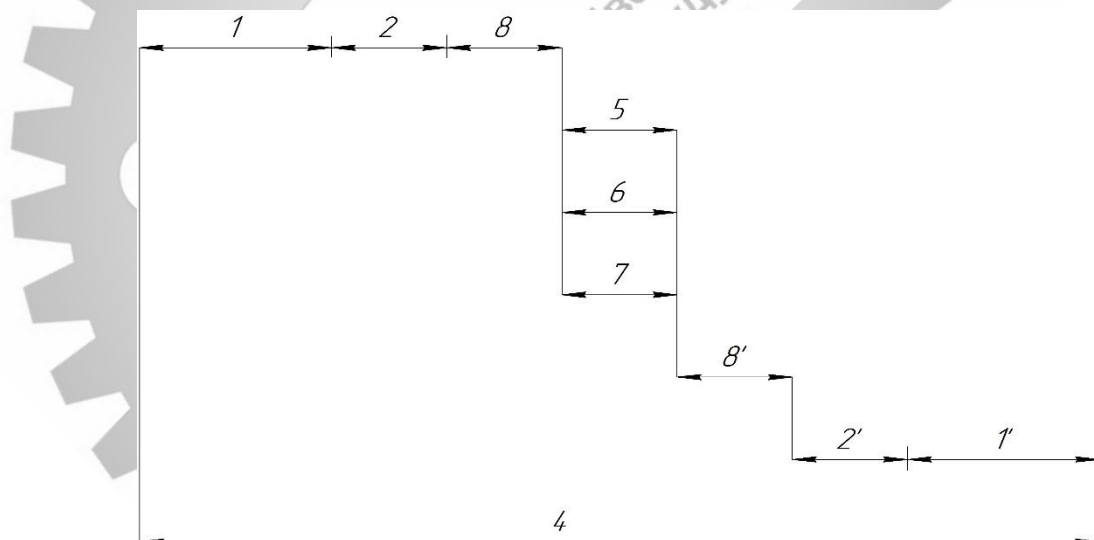


Рисунок 2.15 – Структура потоку функцій

Якщо прийняти структуру потоку функцій такою, як показано на рисунку 2.15, то тривалість операції контролю радіального биття:

$$\Sigma t_{\phi} = t_{\phi 1} + t_{\phi 2} + t_{\phi 8} + t_{\phi 5} + t_{\phi 8'} + t_{\phi 2'} + t_{\phi 1'} = 15 + 8 + 5 + 4 + 5 + 8 + 15 = 60 \text{ с.}$$

Вибір і обґрунтування методу вимірювання

З усіх можливих варіантів прямого і не прямого методів контролю віддаємо перевагу прямому методу, бо його простіше реалізувати при контролі радіального биття. При цьому відпадає необхідність в перерахунках значення параметру і точність контролю є достатньою для заданого допуску.

При виборі між контактним та безконтактним методом контролю віддаємо перевагу контактному способу. Це обумовлено тим, що міцність і твердість матеріалу деталі високі, тому контрольована поверхня може без деформацій сприймати значне вимірювальне зусилля.

Для забезпечення точкового контакту обираємо наконечник зі сферичною формою головки при радіусі сфери не менше ніж 5 мм. Наконечник має бути з твердого сплаву для підвищення зносостійкості.

Враховуючи високу міцність та твердість контрольованої поверхні, допуск та геометричні параметри головки наконечника, орієнтовно призначаємо зусилля вимірювання рівним 5Н. В такому разі очікувана похибка від вимірювального зусилля визначається за формулою Герца:

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{зус}^2}{r}}, \quad (2.40)$$

де $\Delta_{зус}$ – величина похибки за рахунок контактної деформації, мкм;

K – коефіцієнт, що залежить від матеріалу наконечника ($K=0,81$ для твердого сплаву);

$P_{зус}$ – вимірювальне зусилля, Н;

r – радіус сфери наконечника, мм;

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{5^2}{5}} = 0,595 \text{ мкм.}$$

Деталь можливо контролювати або в стані спокою (статичний метод), або переміщувати/обертати (динамічний метод). Характер контрольованого

параметра (радіальне биття) потребує обертати деталь під час контролю тому будемо користуватися динамічним методом.

Питання про розташування контрольованої деталі на операції контролю було розглянуто в пункті 2.6, де обґрунтовано вертикальне положення деталі, оскільки при такому розташуванні не потрібні закріплювальні пристрої.

Між абсолютним і відносним методом контролю перевагу надаємо абсолютному, бо такий метод є більш точним, не потребує додаткових перетворювальних пристроїв, виготовлення еталонів тощо.

Використовуємо пасивний метод контролю, оскільки контролюється вже готова деталь після повної механічної обробки і потрібно оцінити показники її якості перед операцією складання.

Тривалість виготовлення деталі 25 хв, тому призначаємо час на операцію контролю не більше 5 хв. Така тривалість контролю не потребує високого рівня механізації і може бути виконана вручну на простому контрольному пристрої.

КВП повинен мати вимірювальний прилад зі шкалою, що забезпечує достатню точність відліку без надмірного навантаження на зір.

Приймаємо механічний принцип перетворення вимірювальної інформації. Це рішення обумовлено в більшій мірі контактним методом контролю. На його користь вказує великий арсенал технічних засобів, що пройшли багаторічне випробування на точність та надійність роботи на робочих місцях.

Вибір засобу вимірювання

Вибір засобу вимірювання почнемо з визначення оптимальних метрологічних, експлуатаційних характеристик і надійності, яким має відповідати ЗВ.

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП визначається як частина допуску T контрольованого параметру (радіальне биття $0,07$ мм):

$$|\delta_{\text{вим}}| = k \cdot IT \quad (2.41)$$

де k – залежить від квалітету чи ступеня точності контрольованого параметру і може приймати значення від $0,2$ до $0,35$. Для 7-ї ступені точності радіального биття $k = 0,30$

$$|\delta_{\text{вим}}| = 0,30 \cdot 70 = 21 \text{ мкм.}$$

Відповідно до ГОСТ 8.051-81 рекомендовано прийняти $|\delta_{\text{вим}}| = 20$ мкм.

Визначимо допустиму похибку засобу вимірювання (інструментальна похибка):

$$|\Delta_{\text{ін}}| = 0,7 \cdot |\delta_{\text{вим}}|. \quad (2.42)$$

$$|\Delta_{\text{ін}}| = 0,7 \cdot 20 = 14 \text{ мкм.}$$

Ціна поділки розраховується в залежності від величини допустимої інструментальної похибки ЗВ. Приймаємо $C \leq \Delta_{\text{ін}}$, $C = 5$ мкм

Інтервал ділення шкали (a) беремо 1 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може викликати труднощі при зчитуванні показників ЗВ. Тут необхідно враховувати умови, в яких буде працювати КВП, і насамперед освітленість.

Межа вимірювань за шкалою A повинна бути більшою за допуск T , щоб зчитування показників не викликало труднощів.

Приймаємо $A = 4 \cdot T = 4 \cdot 70 = 280$ мкм.

Межа вимірювань засобу (діапазон вимірювань) визначається умовами експлуатації. Приймаємо $B = 1$ мм.

Зусилля вимірювання $P_{зус}$ обумовлюється характером контрольованих поверхонь, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску контрольованого параметра. Значення вимірювального зусилля прийнято в пункті 3. Оскільки обмежень на дану величину немає, приймаємо $P_{зус} = 5$ Н, а допустиме коливання вимірювального зусилля $\Delta P_{зус} = 1$ Н.

Основним нормованим показником надійності ЗВ є напрацювання $t(P)$ до першої відмови за ймовірності безвідмовної роботи P . Задаємо кількість циклів контролю, що відповідає заданій кількості контрольних операцій (див. п. 2.1):

$$t(P) = 2 \cdot 4500 = 9000 \text{ циклів.}$$

Задаємо вірогідність безвідмовної роботи $p=0,85$, виходячи з можливостей засобів вимірювання.

Згідно з встановленими цінами на контрольно-вимірювальні засоби, встановимо витрати на придбання ЗВ: 1500 грн.

Пошук ЗВ за заданими критеріями

Після того, як стали відомі допустимі значення по метрологічним, експлуатаційним показникам та надійності, можна почати пошук ЗВ. Прийнятним вважається ЗВ, значення характеристик якого знаходиться в такому співвідношенні з допустимими:

$$\Delta_{ин} \leq |\Delta_{ин}|;$$

$$C \leq |C|;$$

$$a \geq |a|;$$

$$P_{зус} \leq |P_{зус}|;$$

$$\Delta P \leq |\Delta P|;$$

$$t(P) \geq |t(P)|;$$

$$A \geq |A|;$$

$$p \geq |p|;$$

$$B \geq |B|;$$

$$Ц \leq |Ц|.$$

Пошук виконано згідно з каталогами важільно-зубчастих вимірювальних головок. Найбільш близьким за показниками є важільно-зубчастий індикатор годинникового типу виробництва компанії KEMMLER моделі M.402.05.0 з наступними параметрами:

$\Delta_{\text{ин}}=12$ мкм; $C=5$ мкм; $A=1$ мм; $B=5$ мм; $P_{\text{зyc}}=1,5$ Н; $\Delta P=0,3$ Н;
 $t(P)=60000$ циклів; $p=0,9$; $Ц=1100$ грн .

Зіставивши ці значення з допустимими (розрахунковими), робимо висновок про те, що задані умови точності, надійності та економічності витримано.

Інші ЗВ мають надлишкову точність та є менш надійними, тому для нашого КВП найбільш прийнятним вважаємо важільно-зубчастий індикатор годинникового типу моделі M.402.05.0.

Ескіз обраного індикатора представлений на рисунку 2.16. Габаритні розміри: $l \cdot \varnothing \cdot b = 110 \cdot 57 \cdot 38$ (мм), маса – 0,3 , кг, стандарт на повірку згідно з інструкцією 141–55. Вимірювальний наконечник оснащений вставкою з твердого сплаву.

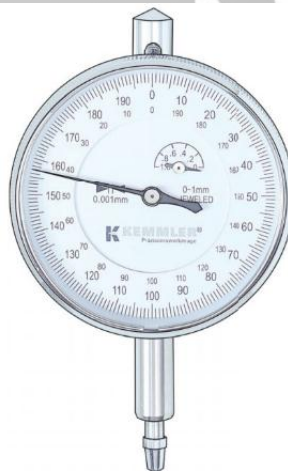


Рисунок 2.16 – Ескіз індикаторної головки

Складання структурної схеми КВП

В процесі контрольної операції в пристрої реалізуються наступні частинні функції: 1) базування вимірюваної деталі; 2) установка і закріплення ЗВ; 3) прийом, передача, перетворення вимірюваної інформації; 4) переміщення ЗВ із встановлювальної в робочу позицію; 5) об'єднання функціональних вузлів. Отже, структурна схема КВП буде виглядати наступним чином (рисунок 2.17).



Рисунок 2.17 – Структурна схема КВП

Розробка кінематичної схеми КВП

На рисунку 2.18 зображена кінематична схема КВП. Контрольована деталь 1 закріплена на гідропластовому патроні 2 та затиснута. Патрон закріплений у конусній втулці 3, що обертається на радіальних кулькових підшипниках 4,5. Індикаторна стійка 6 може повертатися в опорній втулці 7 на 90°, при чому може займати одне з двох положень - робоче або для встановлення вимірювальної деталі.

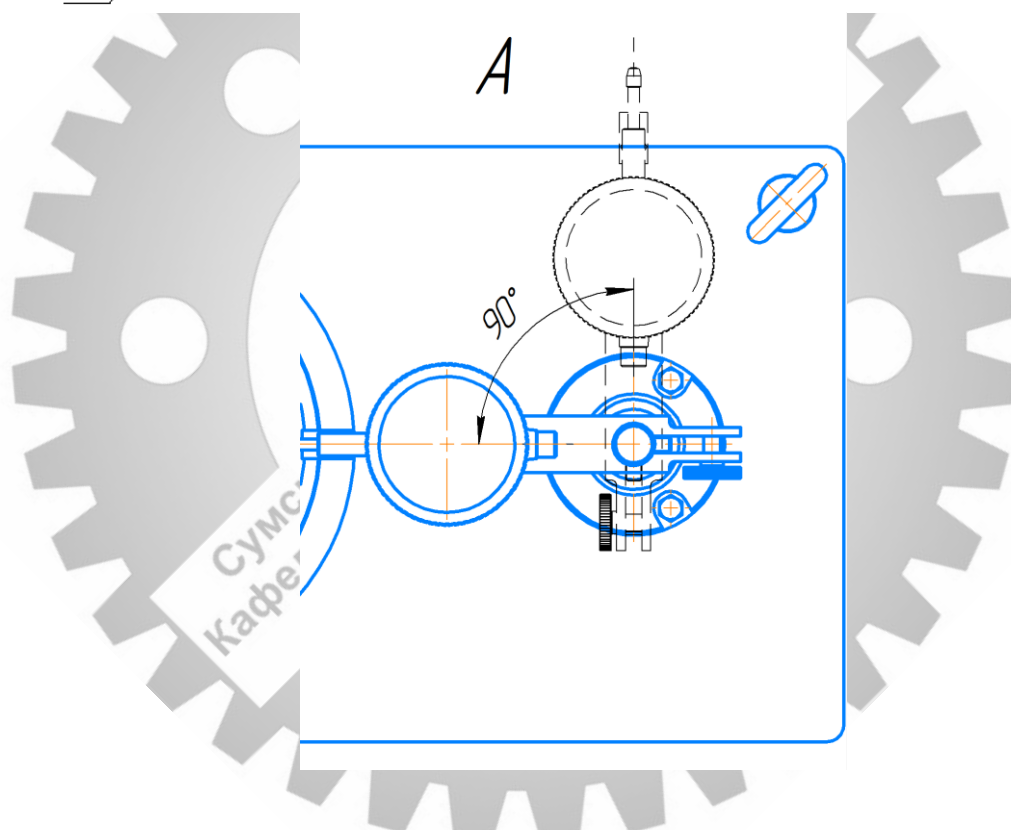
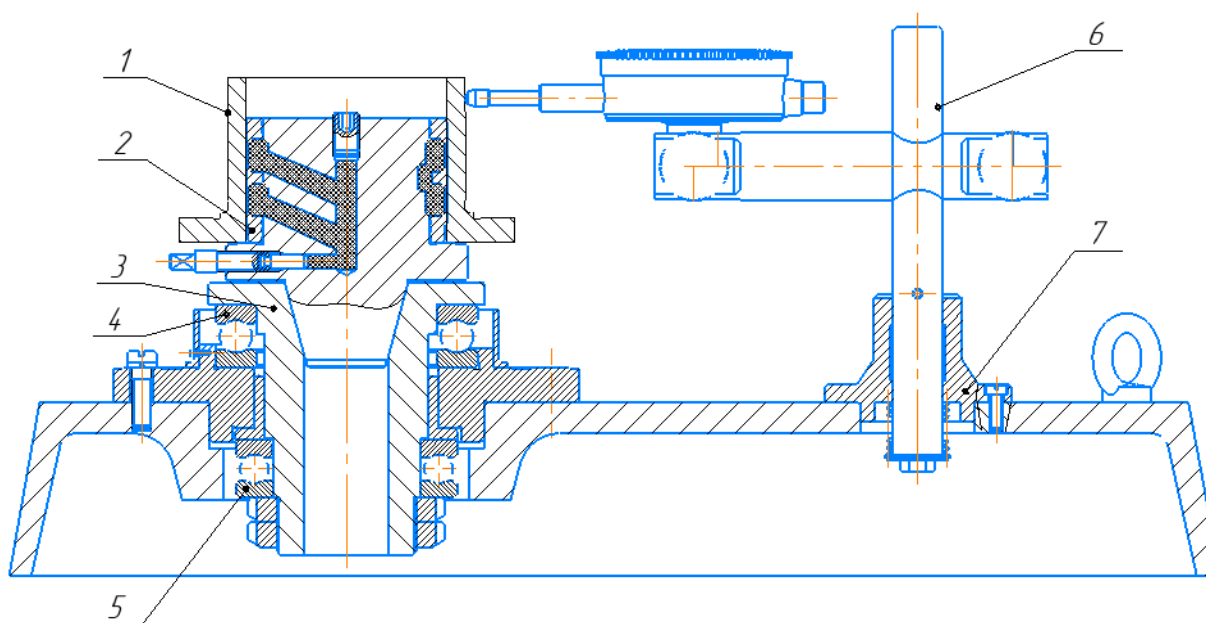


Рисунок 2.18 – Кінематична схема КВП

Розрахунок фактичної сумарної похибки КВП

Сумарна похибка КВП розраховується за наступною формулою:

$$\varepsilon_{\text{КВП}} = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_p^2 + \Delta_e^2 + \Delta_{\text{інстр}}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_{\text{зус}}^2}, \quad (2.43)$$

де ε – похибка положення контрольованої деталі в пристрої. Вона розраховується як:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}, \quad (2.44)$$

де ε_6 – похибка базування. В нашому випадку вона рівна 0 (п. 2.5);

ε_3 – похибка закріплення. $\varepsilon_3 = 0$ мкм. (п.2.4);

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – похибка виготовлення елементів пристрою. $\varepsilon_{\text{пр}} = 5$ мкм.

$$\varepsilon = \sqrt{0^2 + 5^2 + 0^2} = 5 \text{ мкм};$$

Δ_p – у формулі це похибка передатного пристрою. Так як конструкцією нашого КВП його не передбачено, то $\Delta_p = 0$.

Δ_e – похибка виготовленої еталонної деталі. Наш метод вимірювання не потребує виготовлення еталонної деталі, за нашим методом можливо отримувати фактичні показники з кожного проведеного вимірювання, тому $\Delta_e = 0$.

$\Delta_{\text{інст}}$ – похибка вибраного вимірювального інструменту, $\Delta_{\text{інст}} = 1$ мкм.

Δ_t – похибка викликана зміною температури навколишнього середовища. Так як контроль буде проводитися в лабораторії ВТК, то там температура має сталі значення і перепади відсутні, тому $\Delta_t = 0$.

$\Delta_{\text{зус}}$ – похибка, викликана вимірювальним зусиллям за рахунок контактної деформації.

$$\Delta_{\text{зус}} = 0,43 \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{\text{зус}}^2}{r}},$$

де $\Delta_{\text{зус}}$ – величина похибки за рахунок контактної деформації, мкм;

K – коефіцієнт, що залежить від матеріалу наконечника ($K=0,81$ для твердого сплаву);

$P_{\text{зус}} = 1,5$ Н – вимірювальне зусилля;

$r = 3$ мм радіус сфери наконечника, мм;

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,5^2}{3}} = 0,35 \text{ мкм.}$$

Підставимо знайдені значення елементарних похибок у формулу:

$$\varepsilon_{\text{КВП}} = \sqrt{5^2 + 0^2 + 0^2 + 1^2 + 0^2 + 0,35^2} = 5,11 \text{ мкм}$$

Порівняємо фактичну сумарну похибку $\varepsilon_{\text{КВП}} = 5,11$ мкм із допустимою $\delta_{\text{вим}} = 20$ мкм, робимо висновок, що необхідна умова точності виконується.

$$\varepsilon_{\text{КВП}} \leq [\delta_{\text{вим}}] \rightarrow 5,11 \leq 20 \text{ мкм}$$

Опис будови і принципу дії КВП

Базовою деталлю КВП є корпус 7, у який встановлено конусну втулку 10, що закріплена в корпусі на радіальних кулькових підшипниках 18,19. У втулці закріплений гідропластовий патрон 5 на якому у свою чергу закріплюється контрольована деталь.

Індикатор 1 закріплюється через «вушко» в кронштейні 2, який в свою чергу пригвинчений до стійки 1. Сам шток базується у втулці, яка пригвинчена до корпусу. Стійка може здійснювати поворот на 90° відносно втулки, при чому позиціонування відбувається за допомогою пазів та штифта. Для транспортування пристрою конструкцією передбачено рим-болти 15.

Процес контролю величини радіального биття деталі наступний: індикатор 1 разом з кронштейном 2 та стійкою 11 переводиться в положення від патрону для завантаження, встановлення та закріплення контрольованої деталі. Під час загвинчування шестигранного болта вникає тиск всередині гідропластового патрону 5. Рідина спричиняє тиск на стінки патрону, за рахунок чого контрольована деталь повністю знерухоплюється. Після чого індикатор повертається у вихідне положення, проводиться його регулювання

(встановлення шкали на «0»). Переконавшись у надійному закріпленні деталі, фіксації індикатора в кронштейні та правильному його положенні відносно контрольованої поверхні, можна починати контроль. Під час обертання деталі, на шкалі індикатора відображається величина радіального биття контрольованої поверхні. Інженер-контролер фіксує показники, та повторює вимірювання два-три рази поспіль для отримання достовірного результату.



2.11 Висновок

У результаті виконання роботи були запропоновані деякі зміни в технологічному процесі виготовлення деталі «Втулка п'яти», а саме:

- вибір способу отримання заготовки – штампування на КГШП. Виконано розрахунок її собівартості та доведено економічну вигідність даного способу;
- розраховано припуски на механічну обробку поверхні $\varnothing 123H7$ аналітичним методом, проаналізовано схеми базування та обрано найбільш раціональний спосіб закріплення заготовок на операціях 015, 040 та 055, обґрунтовано вибір металорізальних верстатів, пристосувань та інструментів, призначено більш продуктивні режими різання та розраховано норми часу на відповідні операції;
- спроектовано спеціальний верстатний пристрій з пневмоприводом для базування та закріплення заготовок на операції 040, який дозволяє проводити встановлення та зняття заготовки набагато швидше;
- спроектований контрольно-вимірювальний прилад для контролю радіального биття поверхні $\varnothing 145f9$.

Усі запропоновані нововведення значно підвищують ефективність технологічного процесу і, як наслідок, суттєво скорочують час та ресурси на виготовлення деталі «Втулка п'яти 5М-02-07».

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ УМОВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ ТА МАТЕМАТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЇХ ДЕФОРМАЦІЙ

3.1 Актуальність, мета та методи дослідження

Механічна обробка тонкостінних деталей на металорізальних верстатах зазвичай супроводжується підвищеним ризиком отримання браку внаслідок податливості деталей під дією сил різання і закріплення [1]. Обробку таких деталей зазвичай виконують в спеціальних пристроях, завдяки яким механічна жорсткість деталей в системі «деталь-пристосування» підвищується до прийняттого «бездеформаційного» рівня. Це дозволяє обробляти тонкостінні деталі на стандартних (нормативних) режимах різання [2, 3]. Вивчається також можливість обробки тонкостінних деталей в стандартних пристосування на спеціальних «м'яких» режимах зі зменшеними силами різання, при яких технологічна деформація деталей знаходиться в діапазоні допустимих значень.

Порівнюючи ці два підходи, можна відзначити наступне. Перший підхід (обробка на стандартних режимах різання в спеціальних пристроях) дозволяє застосовувати апробовані технологічні процеси. Однак необхідність створення при цьому спеціальних пристосувань вимагає значних матеріальних, виробничих і тимчасових витрат. Це збільшує технологічну підготовку виробництва як в ціні так і в часі. Перевагами другого підходу (обробка на спеціальних «м'яких» режимах різання в стандартних пристроях) є менша ресурсомісткість і тривалість технологічної підготовки виробництва. Однак даний підхід ще не отримав достатнього наукового обґрунтування і, як наслідок, не підтриманий методичними рекомендаціями, необхідними для його застосування в промислових масштабах.

Очевидно, що перший підхід кращий для застосування при виготовленні однотипних тонкостінних деталей великими партіями.

В цьому випадку окупаються витрати на створення спеціального технологічного оснащення. Другий підхід зручно застосовувати в умовах частой зміни номенклатури деталей при виготовленні їх в обмеженій кількості.

Однак, як вже було зазначено, вивчення другого підходу знаходиться в початковій стадії і ще не знайдені рішення ряду важливих питань, що стосуються даної методології. Зокрема, не розроблені інженерні методи оперативного оцінювання очікуваних технологічних деформацій в заданих умовах обробки.

У зв'язку з цим, метою цієї роботи є загальний аналіз проблеми механічної обробки тонкостінних деталей і обговорення можливостей її вирішення.

Тонкостінними домовимося називати деталі, у яких при їх обробці на стандартних (нормативних) режимах різання в стандартних пристосування виникають пружні переміщення h оброблюваної поверхні, співмірні з шириною поля допуску H або перевищують її на розмір D поверхні, що піддається обробці (рисунок 3.1).

Припустимо також, що відповідно до центральної граничної теореми статистики [6] випадкові відхилення величини h підкоряються закону нормального розподілу $N(\mu, \sigma)$. Задамося при цьому умовою, згідно якої розмах випадкових відхилень величини h вимірюється потроєним значенням середнього квадратичного відхилення ($\pm 3\sigma$) функції щільності розподілу ймовірностей випадкової величини h . Тоді, в якості запобіжної технологічної деформації h тонкостінних деталей логічно прийняти ширину поля допуску H на розмір D .

З урахуванням прийнятих припущень масштаб пружних деформаційних переміщень h оброблюваної поверхні деталі можна охарактеризувати двома можливими наслідками (рисунок 3.1):

- допустимі пружні переміщення (результат 1) - переміщення оброблюваної поверхні деталі в області h_1 , яка розташовується з імовірністю, близькою до одиниці, в поле допуску H на розмір D деталі між границями його верхнього і нижнього відхилення:

$$(h_1 \in H) \wedge (|h_1| \leq |H|);$$

- неприпустимі пружні переміщення (результат 2) - переміщення оброблюваної поверхні деталі в області h_2 , яка обмежується зверху інтервалом прийнятною деформації h_1 і лежить поза полем допуску H на границі нижнього відхилення розміру D деталі або нижче цієї межі:

$$(H_2 \notin H) \wedge (|h_2| \geq |H|).$$

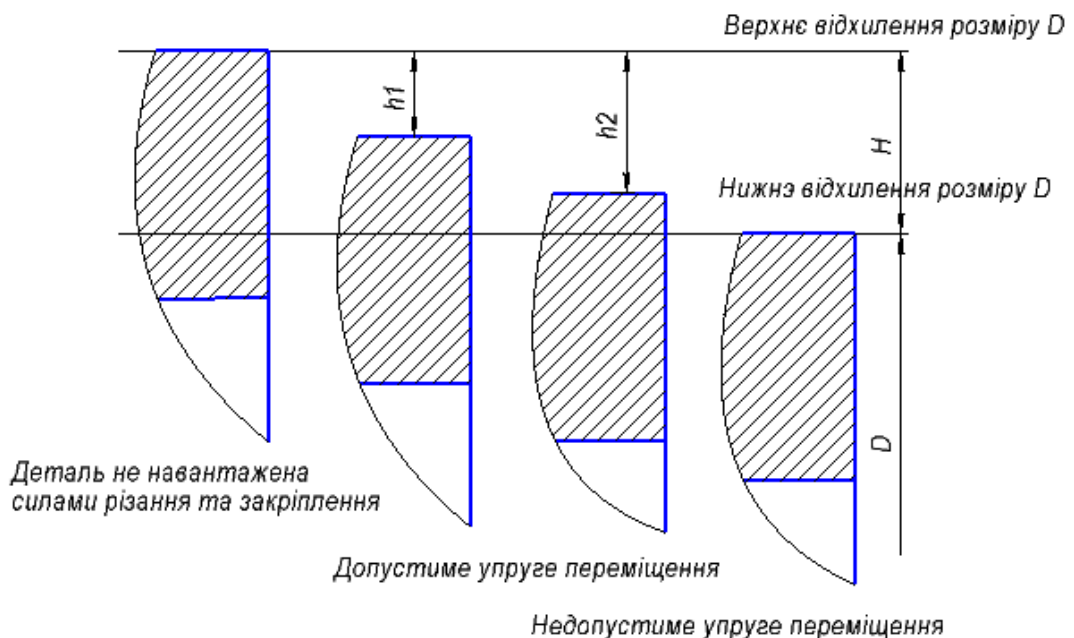


Рисунок 3.1 – Схема пружного переміщення оброблюваної поверхні тонкостінної деталі

Виходимо з того, що сучасні наука і практика розвивають два базові підходи до вибору умов механічної обробки тонкостінних деталей:

- в спеціальних пристроях при використанні стандартних (нормативних) режимів різання;
- в стандартних пристроях при використанні «м'яких» спеціальних режимів різання.

Доповнимо ці альтернативи двома варіантами умов обробки, які займають проміжне положення:

- в стандартних пристроях при використанні стандартних (нормативних) режимів різання;
- в спеціальних пристроях при використанні спеціальних режимів різання.

Виділені чотири варіанти умов обробки утворюють безліч базових альтернатив виготовлення тонкостінних деталей. Кожна альтернатива задається видом верстатного пристосування (стандартне або спеціальне) і режимом різання (стандартний або спеціальний «м'який»).

Щоб оцінити перевагу варіантів обробки, як понижуючий оціночний критерій (чим вище його значення, тим нижче оцінка варіанту) виберемо очікувані витрати на технологічну підготовку виробництва. Будемо вважати, що ці витрати складаються з витрат на оснащення процесу верстатним пристосуванням і витрат на розробку режимів різання.

Припустимо також, що:

- витрати на створення верстатного пристосування завжди істотно більше, ніж витрати на визначення режимів різання;

- витрати на створення спеціального верстатного пристосування завжди більше, ніж витрати на наладку стандартного верстатного пристосування;
- витрати на визначення спеціальних «м'яких» режимів різання завжди більше, ніж витрати на визначення стандартних режимів різання.

В умовах прийнятих припущень і обмежень техніко-економічну перевагу варіантів умов обробки можна задати вектором домінування: «чим вище рівень стандартизації пристосування і режиму різання, тим нижче витрати на технологічну підготовку виробництва і, отже, вище техніко-економічна привабливість умов обробки.

При виборі умов обробки тонкостінних деталей ключовими елементами, які вимагають особливого розгляду, є підготовка вихідних даних та визначення максимальних значень технологічної деформації оброблюваної деталі.

Підготовка вихідних даних починається з ознайомлення і аналізу інформації, що міститься в конструкторсько-технологічній документації на продукцію, за якою виготовляється деталь. Результати такого аналізу дозволяють сформулювати три види обмежувальної інформації:

- 1) схеми установки (базування і закріплення) деталі на верстаті;
- 2) розрахункова схема технологічного навантаження деталі;
- 3) очікувані значення сил різання при заданому режимі обробки.

Розробка схеми установки деталі на верстаті є, по суті, завданням з різноманітним рішенням. Наприклад, якщо обмежитися розглядом деталей токарної групи, оброблюваних по зовнішній поверхні, то морфологічна модель установки (рисунок 3.2) породжує більше 10 можливих рішень.

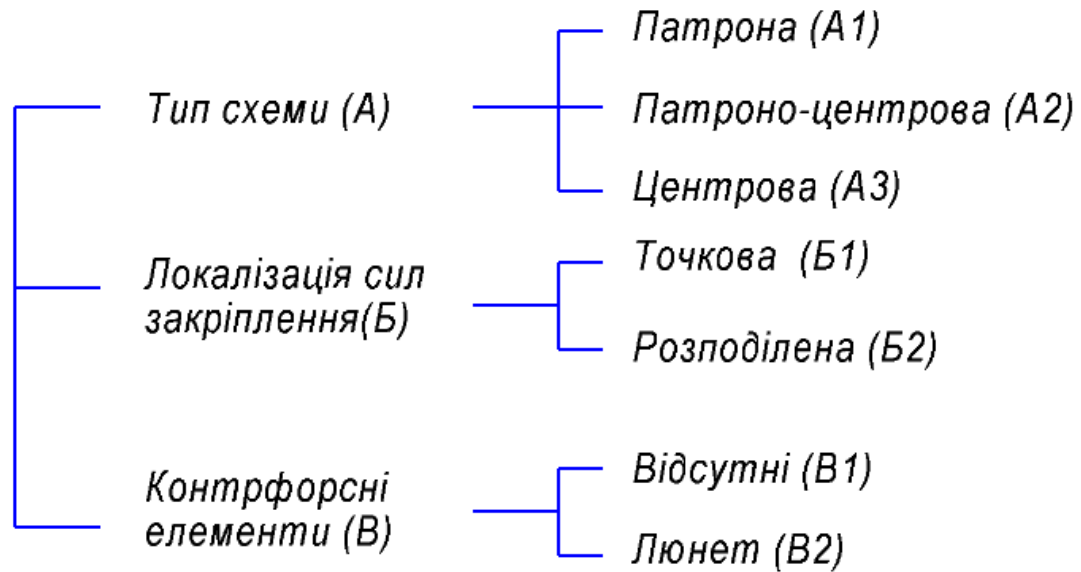


Рисунок 3.2 – Морфологічна модель схеми установки деталі на токарному верстаті

Варіанти схем установки токарної деталі = {A1B1B1, A1B1B2, A1B2B1, A1B2B2, A2B1B1, A2B1B2, A2B2B1, A2B2B2, A3B1B1, A3B1B2, A3B2B1, A3B2B2}. У зв'язку з цим розробку схеми установки деталі можна віднести до числа евристичних задач технологічного проектування.

При розробці схеми технологічного навантаження деталі силами різання і закріплення враховують дві групи чинників:

- 1) можливості використання базуючих і закріплюючих компонентів верстатного пристосування для зв'язування просторових координат деталі з керованими координатами робочої зони верстата. Вимоги до взаємозв'язку між цими двома групами компонентів пристосування визначаються картами налагоджень технологічного процесу;
- 2) можливості верстата по виконанню технологічних переміщень деталі і інструментів, що забезпечують механічну обробку відповідно до заданої керуючої програми.

Таким чином, конструкторсько-технологічна документація (креслення деталі, операційна технологічна карта, карта інструментальних налагоджень і керуюча програма) створює необхідні інформаційні передумови для формування схеми технологічного навантаження деталі силами різання і закріплення. Наприклад, розрахункова схема навантаження циліндричної тонкостінної деталі для випадку обробки її на токарному верстаті прохідним різцем по зовнішній поверхні при установці в трикулачковому патроні може бути задана ескізом, наведеними на рисунку 3.3.

Третім компонентом підготовки вихідних даних є визначення очікуваних значень сил різання. У процесах механічної обробки нежорстких тонкостінних деталей сили різання кардинально впливають на сили закріплення і, як наслідок, на загальну картину пружного переміщення оброблюваної поверхні деталі. В силу цього математичне прогнозування сил різання служить найважливішим інструментом в процедурі вибору умов обробки.

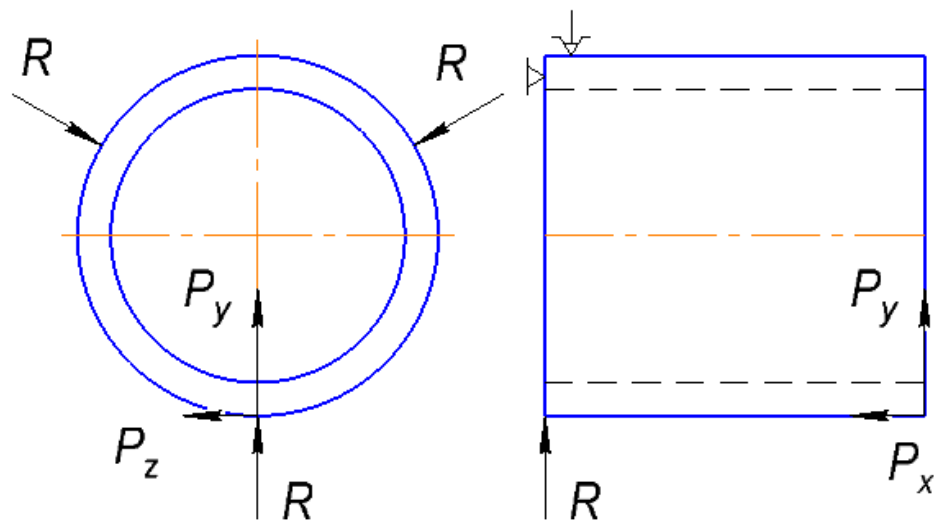


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема технологічного навантаження циліндричної тонкостінної деталі при її обробці на токарному верстаті. R – сила навантаження; P_x , P_y , P_z – складові сил різання

В даний час існує науково обґрунтована і практично апробована методологія, яка пропонує математичний опис залежності сили різання від параметрів режиму обробки. Зокрема, при токарній обробці деталей сили і швидкість різання для зовнішнього поздовжнього точіння можна розрахувати за такими формулами [7]:

$$P_z = 100 C_p t^x s^y V^n K_{mp} . \quad (3.1)$$

$$P_x = 0,35 P_z . \quad (3.2)$$

$$P_y = 0,45 P_z . \quad (3.3)$$

$$V = C_v K_{mv} / (T^m t^x S^y V^n) , \quad (3.4)$$

де P_x, P_y, P_z – компоненти сили різання, Н;

C_p, C_v, x, y, m, n – емпіричні коефіцієнти;

t – глибина різання, мм; s – подача, мм / об;

V – швидкість різання, м/хв;

K_{mp}, K_{mv} – коефіцієнти поправки на матеріал заготовки;

T – період стійкості інструменту, хв.

Аналогічно, заданими умовами обробки можна аналітично спрогнозувати значення сил різання при інших методах механічної обробки (свердління, фрезерування і ін.).

Таким чином, в даний час існують формалізовані механізми для кількісного оцінювання та математичного моделювання сукупності факторів, що утворюють достатню безліч даних і обмежувальних умов, на основі яких можна побудувати процедуру визначення деформації оброблюваної деталі.

У сучасній практиці для вирішення таких складних технічних завдань широко застосовують комп'ютерні технології. Найчастіше в таких випадках

використовують програмні комплекси типу ANSYS Workbench та SolidWorks Simulation.

3.2 Дослідження деталі «тонкостінний циліндр»

Спочатку розглянемо приклад математичного прогнозування податливості деталі типу «тонкостінний циліндр» за допомогою ANSYS Workbench.

Вихідні дані для розрахунку наступні:

- матеріал деталі - сталь 45;
- деталь встановлюється на верстаті в трикулачковому патроні (див. рисунок 3.3) і повинна бути оброблена по зовнішній поверхні, вид обробки - поздовжнє точіння;
- довжина деталі 50 мм, зовнішній діаметр 60 мм, товщина стінки задається в трьох варіантах - 4, 5 і 6 мм;
- обробка виконується прохідним різцем з головним кутом в плані 45° і з пластиною з твердого сплаву T15K6;

Таблиця 3.1 – Розрахункові значення швидкості та сили різання

Стадія обробки	Сила різання, Н			V, м/ хв
	P_z	P_x	P_y	
Чорнова	1520	532	684	113
Чистова	450	158	203	130
Тонка	90	31,5	41	238

Розрахунок пружного переміщення оброблюваної поверхні деталі проведемо для дев'яти варіантів умов обробки, варіюючи три значення товщини деталі (4, 5 і 6 мм) і три режиму обробки:

- чорнова обробка (IT10) - глибина різання $t = 1,50$ мм, поздовжня подача $s = 0,90$ мм/об;

- чистова обробка (ІТ8) - глибина різання $t = 1,25$ мм, поздовжня подача $s = 0,35$ мм/об;
- тонка обробка (ІТ6) - глибина різання $t = 1,00$ мм і подовжня подача $s = 0,10$ мм/об.

Розрахункові значення швидкості і сили різання для заданих умов наведені в таблиці 3.1.

Результати моделювання показують, що пружні переміщення оброблюваної поверхні деталі мають вигляд і значення, наведені на рисунку 3.4 і в таблиці 3.2. Ці результати дають однозначну відповідь на питання про допустимість або неприпустимість заданих умов обробки для виготовлення конкретного типу деталі.

Таблиця 3.2 – Результат моделювання умов обробки тонкостінних деталей

Товщина стінки деталі	Стадія обробки	Поле допуску, Н	Максимальне переміщення, мкм	Результат, +/-
4	Чорнова	120	213	-
	Чистова	40	60	-
	Тонка	19	21	-
5	Чорнова	120	119	+
	Чистова	40	34	+
	Тонка	19	9,6	+
6	Чорнова	120	76	+
	Чистова	40	22	+
	Тонка	19	5,4	+

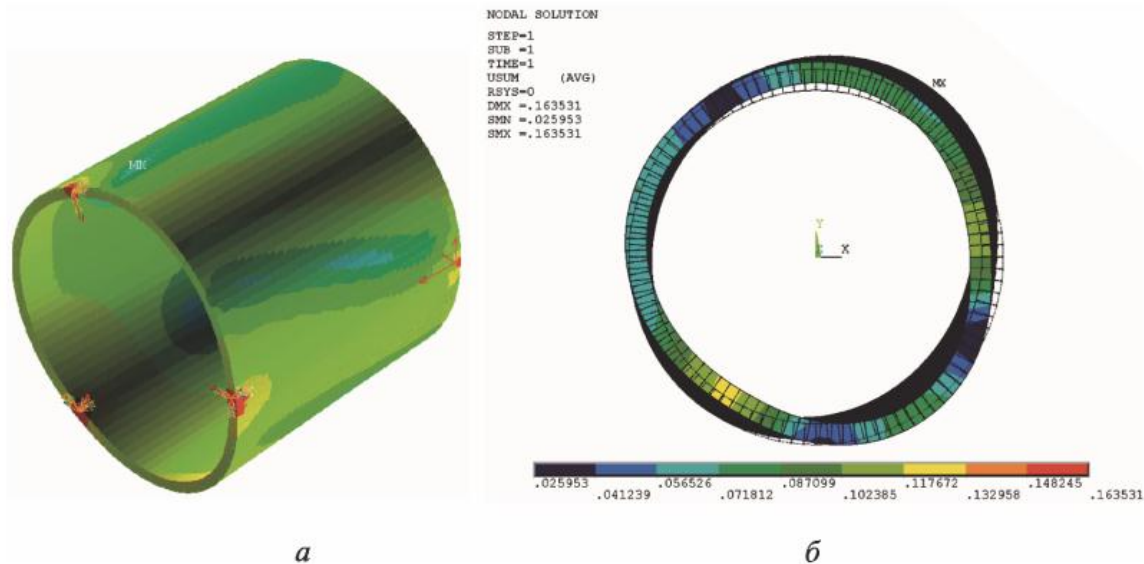


Рисунок 3.4 – Діаграма деформації деталі (а) та діаграма переміщень (б) при чорновій обробці

3.3 Дослідження деталі «Втулка п'яти 5М-02-07»

Тепер, за таким же принципом, виконаємо прогнозування податливості деталі «Втулка п'яти 5М-02-07».

Товщина стінки деталі складає 11 мм, що також може бути недостатньо для забезпечення повної жорсткості системи «інструмент-деталь». Тому вважаю доцільним провести подібний аналіз та, за необхідності, скоригувати попередньо встановлені за довідником [2] режими різання.

Дослідження на цей раз будемо проводити за допомогою SolidWorks Simulation.

Спочатку виконаємо розрахунок складової сили P_y , котра буде діяти при чистовому точінні на $\varnothing 145f9$ за формулою (3.1).

де $C_p = 300$, $x = 0,9$, $y = 0,9$, $n = -0,15$ – значення коефіцієнтів та показників в формулі сили різання при точінні;

$t=0,3$ мм – глибина різання;

$S=0,35$ мм/об – подача;

$V=125,3$ м/хв – швидкість різання;

$K_p=1,0$ – коефіцієнт враховуючий фактичні умови обробки,

$$P_z=10 \cdot 300 \cdot 0,3^{0,9} \cdot 0,35^{0,9} \cdot 125,3^{-0,15} \cdot 1,0=715 \text{ (Н)}.$$

Згідно з формулою (3.3):

$$P_y=0,45 \cdot 715=321 \text{ Н}.$$

Отже у процесі механічної обробки інструмент (різець) буде створювати тиск на поверхню деталі у точці різання з силою 321 Н.

Спроекуємо даний процес у середовищі SolidWorks Simulation.

Першим етапом є побудова скінченно-елементної сітки та встановлення схеми закріплення деталі. (рис. 3.5). Мінімальна довжина грані сітки рівна $9,93 \cdot 10^{-3}$ мм; кількість елементів сітки – 41471 шт. Закріплена деталь по зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 205$ мм

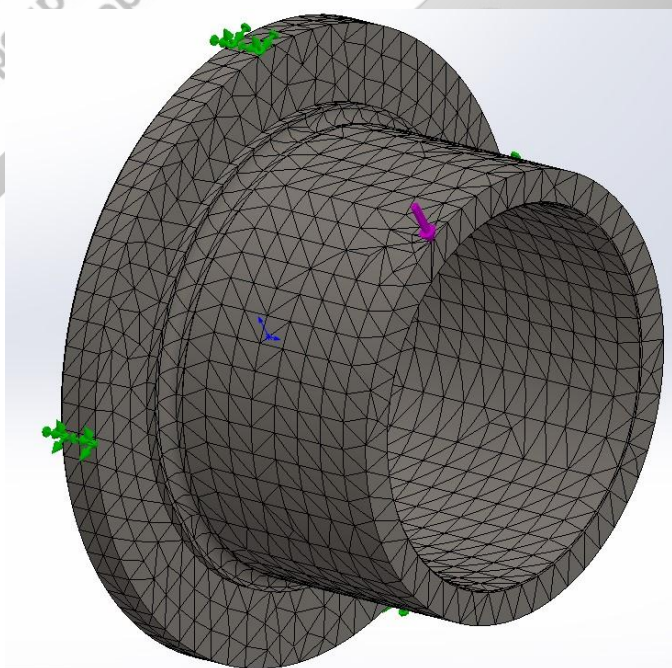


Рисунок 3.5 – Побудова сітки

У результаті розрахунку отримуємо 3 епюри, на яких відображені деформація (рис. 3.6), напруження (рис. 3.7) та переміщення (рис. 3.8) поверхні у точці прикладання сили до неї.

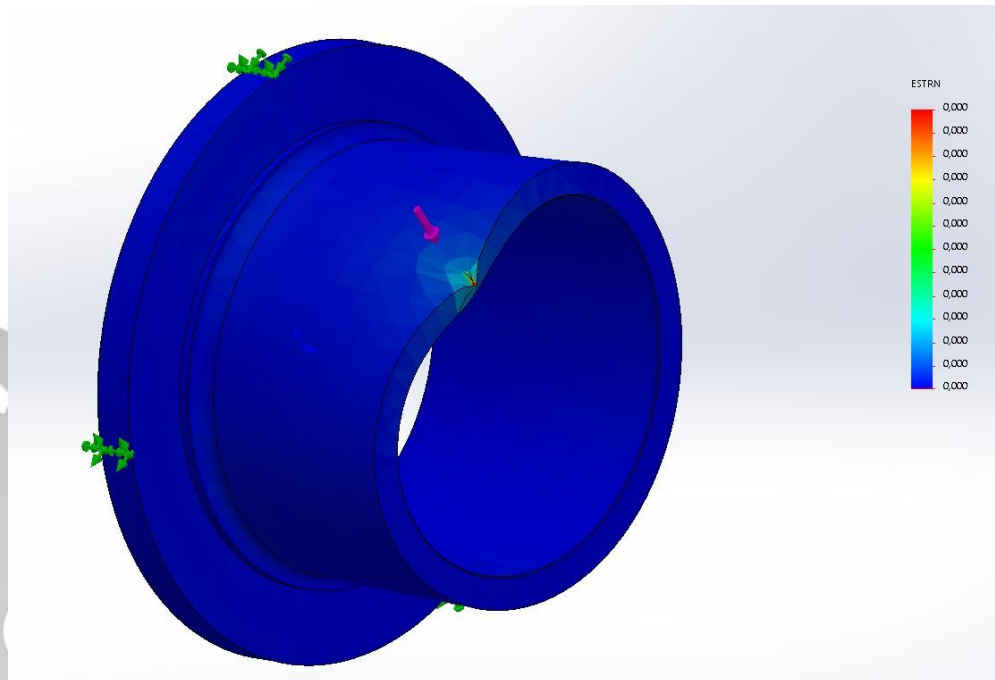


Рисунок 3.6 – Епюра деформації поверхні

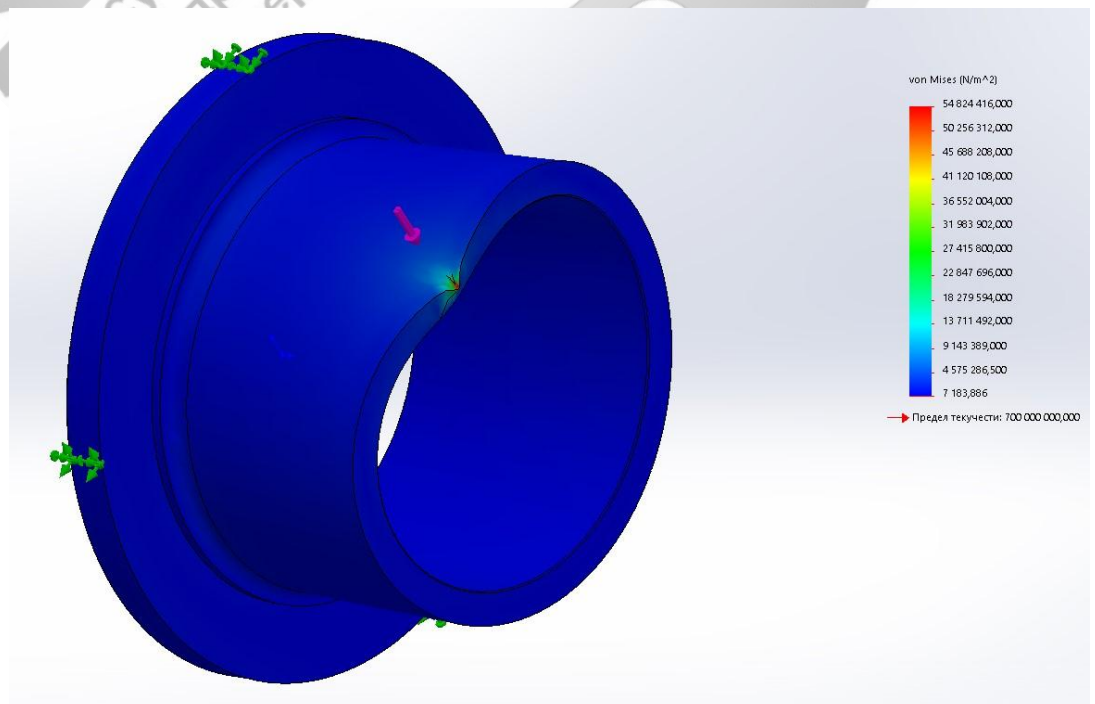


Рисунок 3.7 – Епюра напруження поверхні

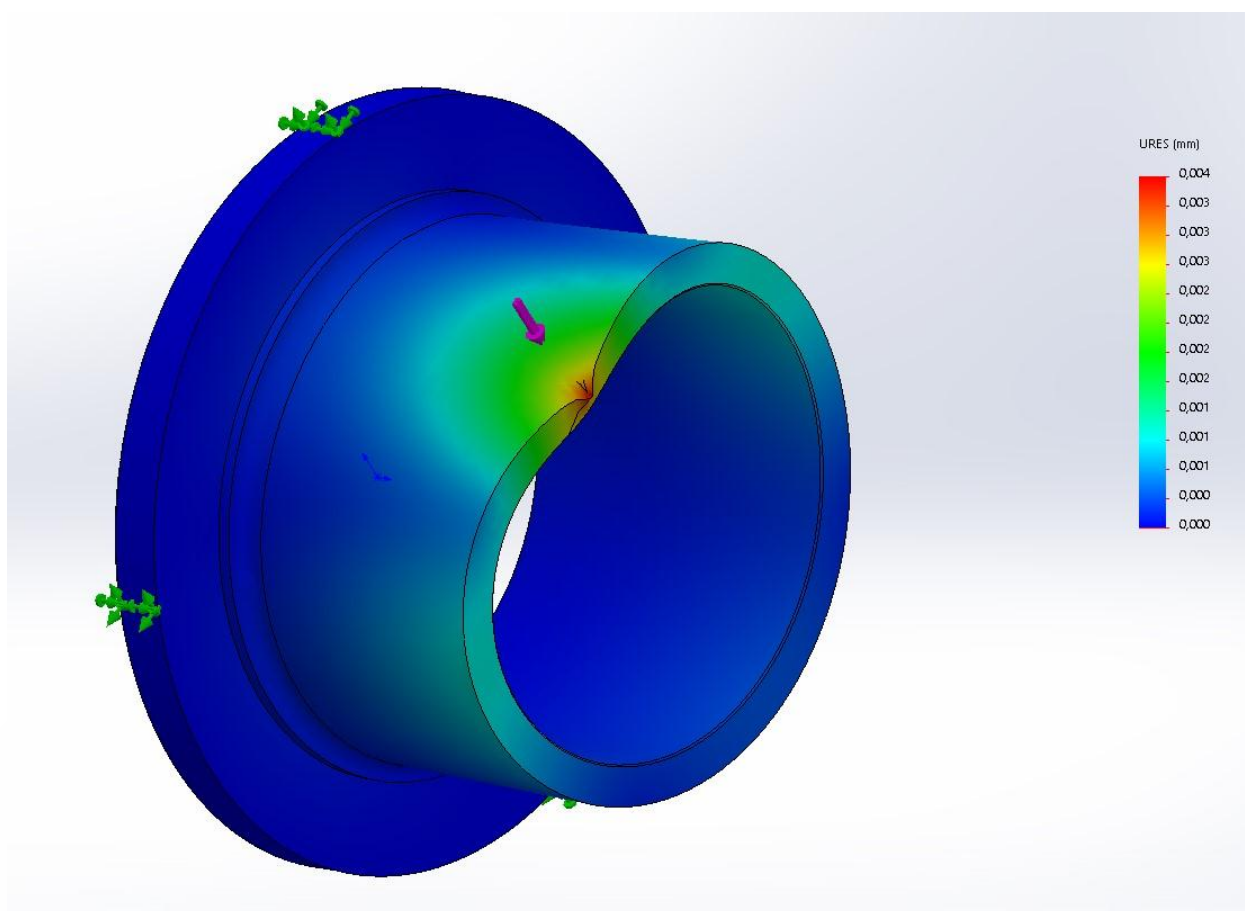


Рисунок 3.8 – Епюра переміщення поверхні

З приведених вище епюр навантажень можемо зробити висновок, що максимальна деформація в створених умовах складає 4 мкм, що значно менше за допуск на виконуваний розмір, котрий складає 25 мкм. Виходячи з цього можна впевнено стверджувати, що нормативні режими різання, які були обрані за довідником повністю задовольняють технічні вимоги на виготовлення деталі.

3.4 Висновок

У сучасній технологічній практиці механічна обробка нежорстких тонкостінних деталей зазвичай виконується на стандартних (нормативних)

режимах різання в спеціальних верстатних пристосуваннях, які підвищують жорсткість деталей до необхідного «бездеформаційного» рівня.

Існує альтернативний варіант «бездеформаційної» обробки тонкостінних деталей, при якому їх встановлюють на верстаті в стандартних пристроях, але обробляють на спеціальних «м'яких» режимах різання. Перевагами цього підходу є більш висока оперативність технологічної підготовки виробництва і відсутність витрат на створення спеціального верстатного оснащення. Недолік - відсутність методик реалізації даного підходу в умовах виробництва.

У даній роботі сформований один з варіантів концепції визначення раціональних умов «бездеформаційної» обробки тонкостінних деталей і проаналізовані методи математичного прогнозування їх деформації в заданих умовах обробки.

Одним з перспективних інструментів для оперативного визначення очікуваної поведінки тонкостінних деталей є обчислювальні програмні системи типу ANSYS Workbench та SolidWorks Simulation.

Отримані в роботі результати створюють певні передумови для подальшого вивчення проблеми, створення її теоретичної бази і формування на їх основі методичних рекомендацій та інженерних інструментів, що забезпечують застосування обговорюваної методології в виробничих умовах.

ВИСНОВКИ

1) У результаті аналізу базового технологічного процесу виготовлення "Втулки п'яти 5М-02-07" було виявлено основні недоліки виробництва такі, як використання застарілого обладнання та інструменту, відсутність механізованих приводів верстатних пристосувань, проведення трудомістких розмічальних операцій, диференціація операцій, які доцільніше провести за один установ.

2) На підставі виявлених недоліків було запропоновано та розглянуто ряд технологічних удосконалень та змін, які в кінцевому результаті показали економічну доцільність їх застосування. До таких удосконалень можна віднести зміну способу виготовлення заготовки, використання сучасного інструменту та оснастки та перехід деяких операцій на верстати з ЧПК. Для підвищення якості операції контролю спроектовано спеціальну конструкцію КВП для контролю радіального биття поверхонь заготовки.

3) Виконано дослідження умов механічної обробки тонкостінних деталей. Сформульовані рекомендації щодо вдосконалення технологічної підготовки виробництва у заданих умовах.

4) Проблеми охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях під час виробництва деталі "Втулка п'яти 5М-02-07" розглянуто у додатку Е.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марочник сталей и сплавов: справочник / Под ред. В.Г. Сорокина. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
2. Общемашиностроительные нормативы времени для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Мелкосерийное и единичное производство. Ч.1 : Токарные, карусельные, сверлильные, фрезерные, строгальные и долбежные станки. – М. : Машиностроение, 1967. – 316 с. – 1-40.
3. Горбачевич, А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пос. / А. Ф. Горбачевич, В. А. Шкред. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск : Вышэйшая шк., 1983. – 256 с.
4. ГОСТ 3.1121-84 Единая система технологической документации (ЕСТД). Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и групповые технологические процессы (операции). Общие положения. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 16 с.
5. Економіка інноваційного підприємства: навч. посіб. / О.Є. Кузьмін, І.Н. Пащенко, Л.І. Чернобай, А.О. Босак. – Львів : Нац. ун-т "Львівська політехніка", 2009. – 456 с.
6. ГОСТ 7505-89 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 13 с.
7. Кован, В. М. Расчет припусков на обработку в машиностроении. Справочное пособие : учебник / В. М. Кован. – М. : МАШГИЗ, 1953. – 496 с.
8. Справочник технолога машиностроителя. Т.1 / Под ред. А. Г. Косиловой. – М. : МАШГИЗ, 1956. – 660 с. – 32-00.
9. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів. навч. посіб.- К.: Вища школа, 1993. - 414 с.

- 10.Справочник технолога-машиностроителя : справочник. В 2-х т. Т.2 / Под ред.: А.Г. Косиловой., Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
- 11.Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на унив. и многоцел. станках с ЧПУ. Ч.1 : Нормативы времени. – М. : Экономика, 1990. – 206 с.
- 12.Ансеров, М. А. Приспособления для металлорежущих станков: расчеты и конструкции / М. А. Ансеров. – М.-Л. : Госстройиздат, 1960. – 624 с. – 2-82.
- 13.Каталог SECO Tools «Обработка отверстий», 2015р.
- 14.Мастер каталог Kennametal. Режущий инструмент, 2018р.
- 15.KEMMLER Полный каталог инструмента и оснастки, – Kemmler Präzisionswerkzeuge GmbH, 2017/2018 – 720 с.
- 16.Закон України "Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань" - м. Київ, 14 січня 1998 року N 15/98-ВР
- 17.Методичні вказівки до кваліфікаційної роботи бакалаврів для студентів спеціальності 6.05050201 «Технології машинобудування» / укладач В. Г. Євтухов. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 44 с.
- 18.Методические указания к выполнению контрольной работы по курсу "Проектирование контрольно-измерительных приспособлений" / составитель: Г. С. Чумаков. – Харьков : Из-во ХПИ, 1990. -56 с.
- 19.Методичні вказівки до практичної роботи “Уточнення мети контрольної операції та задачі конструювання” з дисципліни “Основи конструювання контрольно-вимірювальних пристроїв” / укладач: В.Г. Євтухов. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. - 19 с.
- 20.Методичні вказівки до практичної роботи “Пошук і обґрунтування методів вимірювання” з дисципліни “Основи конструювання контрольно-вимірювальних пристроїв” / укладачі: А.В. Євтухов, В.Г. Євтухов. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. - 18 с.

21. Методичні вказівки до практичної роботи “Вибір засобів вимірювання та його обґрунтування” з дисципліни “Основи конструювання контрольно-вимірювальних пристроїв” / укладач В.Г. Євтухов. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 20 с.
22. Методичні вказівки до практичної роботи "Ескізне проектування КВП" з дисципліни "Основи конструювання контрольно-вимірювальних пристроїв" / укладач В. Г. Євтухов. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 24 с.
23. Иванов А.Г. Измерительные приборы в машиностроении / А.Г. Иванов и др. - М.: Машиностроение, 1964. - 524 с.
24. Коротков В.П. Основы метрологии и точности механизмов приборов / В.П. Коротков, Б.А. Тайц. - М.: Машгиз, 1961. - 400 с.
25. Марков Н.Н. Конструкция, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов / Н.Н. Марков, Г.М. Ганевский. - М.: Машиностроение, 1981. - 367 с.
26. Проненко В.И. Метрология в промышленности / В.И. Проненко, Р.В. Якирин. – Киев: Техніка, 1979. – 223 с.
27. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора: справочник / Р.И. Гжиров. - Л.: Машиностроение, 1984. - 464 с.
28. Справочник контролера машиностроительного завода. Допуски, посадки, линейные измерения / А.И. Виноградов и др.; под ред. А.И. Якушева. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1980. - 527 с.
29. ГОСТ 25347- 2013.
30. ГОСТ 24643-81.
31. Державні будівельні норми України: ДБН В.2.5-28 – 2018 р.;
32. Гогіташвілі Г., Цапко В., Лапін В. Потенційний ризик чинників виробничого середовища у професійній діяльності працівників банківських установ / Вісник НБУ. — №1. — 2010. — С. 26-32:

- [Електронний ресурс]. — Режим доступу:
[IUlp://vv\\v.nbuiv.gov.Lia/portal/soc_gLim/vnbLi/2010_/2010_01_8.pdf](http://v.vv.v.v.nbuiv.gov.Lia/portal/soc_gLim/vnbLi/2010_/2010_01_8.pdf) ;
33. Санітарно-гігієнічні норми № 2152-80 – 1980 р.;
34. ГОСТ 12.1.045-84 – 1984 р.;
35. Санітарно-гігієнічні норми № 1757-77. – 1977 р.;
36. Санітарно-гігієнічні норми № 4088-86 – 1986 р.;
37. ГОСТ 12.1.005-88 – 1988 р.;
38. Санітарно-гігієнічні норми № 4557-88 – 1988 р.;
39. Державні санітарні норми ДСН 2.3.6.037-99 – 1999 р.;
40. Державні санітарні норми ДСН 2.3.6.039-99 – 1999 р.;
41. НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» – 2001 р.;
42. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення – 2019 р.;
43. Наказ Держгірпромнагляду України «Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» від 26 березня 2010 р. № 65;
44. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98, затверджені постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10 грудня 1998 р. № 7;
45. Примірні інструкція з охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин, затверджена наказом Міністерства доходів і зборів України від 5 вересня 2013 р. № 443.
46. ГОСТ 12.1.005 – 1988 р.

