

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний
(повне найменування інституту, факультету)

Технології машинобудування
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістерський (диплом)
(ступінь вищої освіти)

на тему Підвищення надійності валів ГТД
технологічними методами

Виконав: студент(ка) II курсу, групи М-118_м

Спеціальності 131 „Прикладна механіка“
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування
Цербань Є.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник Тончор Н.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Рудяк С.І.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Технології машинобудування
 Ступінь вищої освіти (магістерський) другий
 Спеціальність 131 Прикладна механіка
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМБ
Дядя С.І.
 « 12 » 12 2019 року

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

Щербань Єлизавети Сергіївни
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Підвищення надійності валів ГТД
технологічними методами

керівник проекту (роботи) Тончар Наталія Вікторівна док. к.т.н.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 26 » листопада 2019 року №

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 2 грудня 2019

3. Вихідні дані до проекту (роботи) робоче креслення валів турбіни,
програма випуску № 2000 м.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1-Технологічна частинка. 2-Конструкторська частинка. 3-Аналіз
матеріалів. 4-Розрахунок на міцність деталей. 5-Спеціальне завдання
методи підвищення надійності валів ГТД. 6-Оцінка огікувочої
єфективності склоплеті. 7-Оцінка праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення: 1-Робоче креслення деталей; 2-Креслення деталі з
маршрутом виготовлення деталей. 3-Креслення робочого пристосу-
вання. 4-Креслення контрольного пристосування

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
1-6	Тонгор Н.В. доц. к.т.н.	ВВК 2.09.19	ВВК 12.12.19
7. Охорона праці	Шмигко Віра Іванівна к.т.н. доц.	ВВК 4.10.19	ВВК 29.11.19
Нормування	Висуленальський В.В.		

7. Дата видачі завдання « 02 » вересня 20 19 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Технологічне гасило. Опис призначення деталі; вибір типу виробництва; аналіз технічності деталі. Вибір способу отримання заготовки.	14.09.2019	
2.	Проектування плечу обробки; вибір вер МРП/МОР; розрахунок принципів; проектування операційної технології. Офортлення документації	10.10.2019	
3.	Конструкторське гасило. Проектування та розрахунок робочого і контрольного пристосування	12.11.2019	
4.	Автоматизування	15.11.2019	
5.	Спецзавдання	20.11.2019	
6.	Охорона праці	25.11.2019	
	Нормоконтроль	12.12.2019	
	Представлення проекту зав. кафедрою	12.12.2019	
	Рецензії	12.12.2019	

Студент(ка)

ВВК
(підпис)

Шмигко В.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

ВВК
(підпис)

Тонгор Н.В.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

РЕЦЕНЗІЯ
на дипломний проект (роботу)

Підвищення надійності валів ГТД технологічними методами

Студент (ка) Щербань Єлизавета Сергіївна

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Обсяг проекту повний

Кількість аркушів креслень 6,5 + 9 аркушів презентації

Кількість сторінок пояснювальної записки 105

а) короткий зміст проекту (роботи) та прийнятих рішень

1. Технологічна частина 2. Конструкторська частина 3. Автоматизація
4. Розрахунок на міцність за допомогою модуля NX 5. Спецзавдання – Методи
підвищення надійності деталей ГТД 6. Оцінка очікуваної економічної
ефективності заміни інструмента на слюсарній операції зачистки зубців
7. Охорона праці

б) висновок про відповідність проекту (роботи) завданню

Виконана робота повністю відповідає поставленому завданню

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту (роботи), рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим методам роботи

Виконана робота на достатньому рівні відповідає останнім досягненням науки та техніки

г) негативні особливості виконання проекту (роботи)

При перевірці виконаної роботи негативних особливостей не виявлено

д) позитивні особливості

Запропоновано метод поверхнево-пластичного деформування – алмазне
вигладжування запропонованими режимами обробки дають можливість після
зміцнення отримати залишкові напруження стиснення та сприятливий
наклеп поверхневого шару шийок валу турбіни компресора.

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту (роботи) Графічна частина, пояснювальна записка, презентація виконані у відповідності до діючих стандартів

є) відгук про проект (роботу) загалом _____
В цілому магістерська робота студентки групи М-118м Щербань Єлизавети Сергіївни відповідає вимогам вищої школи.

ж) інші зауваження в технологічному процесі
недостатньо використовували верстати з
ЧПУ, на деяких операціях невірно показано
схеми опорних елементів

з) оцінка проекту (роботи) _____
В цілому дипломний проект студентки групи М-118м Щербань Єлизавети Сергіївни заслуговує оцінку « добре »

Рецензію склав доц.к.т.н. Дядя С.І

(посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

« 12 » 12 2019 р.

Національний університет "Запорізька політехніка"

ПОДАННЯ ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ ЩОДО ЗАХИСТУ ДИПЛОМНОГО(І) ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

Направляється студент Щербань Є.С. до захисту дипломного проекту (роботи)
(прізвище та ініціали)
за напрямом підготовки 131 Прикладна механіка
спеціальністю 131-1 технології машинобудування
(цифр і назва спеціальності)
на тему: Підвищення надійності валів ГТД технологічними методами
(назва теми)

Дипломний проект (робота) і рецензія додаються

Директор інституту, декан факультету

(підпис)

Довідка про успішність

Щербань Є.С.

(прізвище та ініціали студента)

за період навчання в інституті, на факультеті, у відділенні

Машинобудівний

з 20 18 року до 20 19 року повністю

виконав навчальний план за напрямом підготовки, спеціальністю з таким розподілом оцінок за:

національною шкалою: відмінно 50 %, добре 25 %, задовільно 16,67 %;

100-бальною шкалою

шкалою ECTS: A 50 %; B 8,33 %; C 16,67 %; D 8,33 %; E 8,33 %.

Секретар інституту, факультету (відділення)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Висновок керівника дипломного проекту (роботи)

Студент (ка)

Щербань Є.С. виконала дипломну роботу в повному обсязі, в установлені терміни. Дипломований проект відповідає діючим вимогам ДСТУ, ГОСТ, ЕСТД ЕСКД та іншим нормативним документам. Студентка виконала всі необхідні дослідження, аналіз, розрахунки, проекти і конструкторські рішення, висновки. Студентка проявила достатні знання і вміння, за результатами дослідження має публікацію. Вузову дипломний проект заслуговує оцінку "добре".

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Гончар НВ

"10" 12

20 19 року

Висновок кафедри про дипломний проект (роботу)

Дипломний проект (робота) розглянуто (а): Студент (ка) Щербань Є.С.

(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даного (І) проекту (роботи) в експертній комісії.

Завідувач кафедри

технології машинобудування

(назва)

С.І. Федя

(підпис)

(прізвище та ініціали)

"12" 12

20 19 року

[14:35:00] [REDACTED] Найдено 1% совпадений по адресу: <http://cok.opredelim.com/docs/4100/index-319225-3.html>

[14:35:03] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №467 [3] (200034 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:35:27] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №472 [3] (200052 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:35:55] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №482 [3] (200032 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:36:13] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №487 [3] (200040 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:36:23] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №477 [3] (200033 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:36:41] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №492 [3] (200023 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:37:10] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №497 [3] (200019 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:37:36] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №502 [3] (200036 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:38:01] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №507 [3] (200032 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:38:13] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №512 [3] (200036 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:38:50] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №517 [3] (200039 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:38:59] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №522 [3] (200020 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:41:43] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №527 [3] (200052 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:43:34] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №532 [3] (200021 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:44:45] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №537 [3] (200053 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:45:10] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №542 [3] (200037 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:45:10] Тип проверки: *Стандартная*

[14:45:10] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 26%)**

[14:45:10] **Уникальность текста 89%[©] (Проигнорировано подстановок: 0%)**

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Щербань Є.С., провів зав. навч. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.

12.12.2019р.



РЕФЕРАТ

ПЗ: 96 с., 38 рис., 19 табл., 2 додатки, 13 джерел.

Об'єкт дослідження – вал турбіни.

Мета роботи – вдосконалення технологічного процесу виготовлення вала турбіни.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний.

Задачею дипломного проектування за технологією машинобудування є закріплення й поглиблення отриманих знань, поповнення їх новими досягненнями сучасної прогресивної технології й застосування новітнього устаткування. Вивчення систем автоматизації й механізації технологічних процесів, нагромадження досвіду самостійної інженерної діяльності по розробці технології механічної обробки деталі підвищеної точності, конструювання технологічного оснащення, різального інструменту й контрольного пристосування.

В дипломній роботі спроектовано технологічний процес виготовлення вала турбіни, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання та норми часу, спроектоване робоче і контрольне пристосування, проведена робота по автоматизації виробництва, виконано спеціальне завдання, виконані економічні розрахунки, передбачені заходи з охорони праці.

ЗАГОТОВКА, ПЛАН ОБРОБКИ, РЕЖИМ РІЗАННЯ, НОРМА ЧАСУ, УСТАТКУВАННЯ, ЗАВАНТАЖЕННЯ, ВЕРСТАТНЕ ПРИСТОСУВАННЯ, ДЕТАЛЬ, КОНТРОЛЬНЕ ПРИСТОСУВАННЯ, МАРШРУТНА КАРТА, ОПЕРАЦІЙНА КАРТА, КАРТА ЕСКІЗІВ, КОНТРОЛЬ

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	
Вступ.....	
1 Технологічна частина.....	
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....	
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт.....	
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням.....	
1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі.....	
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність.....	
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	
1.6 Розрахунок режимів різання.....	
1.7 Технічне нормування операцій.....	
1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК.....	
2 Конструкторська частина.....	
2.1 Проектування робочого пристосування.....	
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.....	
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.....	
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу.....	
2.2 Проектування контрольного пристосування.....	
3 Автоматизація. Циклічне використання ЗОТС у верстатах з ЧПК, багатоцільових верстатах, обробних центрах, автоматичне очищення, сепарування ЗОТС.....	
4 Розрахунок деталі на міцність.....	
4.1 Визначення напружено деформованого стану деталі.....	
4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції.....	
4.3 Оптимізація геометрії деталі.....	
5 Спеціальне завдання. Методи підвищення надійності деталей ГТД.....	
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки або заходів.....	

7 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додаток А. Специфікація робочого пристосування.....	
Додаток Б. Специфікація контрольного пристосування.....	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКО- РОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ГОСТ – государственный стандарт
ГТД – газотурбінний двигун
ДБН – державні будівельні норми
ДСН – державні санітарні норми
ДСТУ – державний стандарт України
ЗОТС – змащувально-охолоджуюча технічна суміш
КВМ – коефіцієнт використання матеріалу
МВД – маршрут виготовлення деталі
МОП – маршрут обробки поверхонь
НПАОП – нормативно-правові акти з охорони праці
ППД – поверхнево-пластичне деформування
ППТЯ – послідовність показників точності та якості
ПУЕ – правила улаштування електроустановок
ССБП – система стандартів безпеки праці
ТП – технологічний процес
УЗУ – ультразвукова установка
ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

Все зростаюча конкуренція серед виробників авіаційних двигунів, вимагає від виробника виготовлення продукції в мінімальний термін з максимальною якістю й мінімальною собівартістю виробу. Собівартість виробу в значній мірі залежить від використання прогресивних технологічних процесів застосування прогресивного технологічного устаткування й зменшення тривалості виробничого циклу виготовлення деталі. У значній мірі скорочується тривалість циклу конструкторської й технологічної підготовки виробництва при використанні новітніх засобів автоматизованої підготовки виробництва. Якість створюваного виробу забезпечується на етапах підготовки й виробництва продукції й реалізується в процесі експлуатації. Важливою складовою забезпечення якісної продукції є контроль виробу, як у ході виконання технологічного процесу, так і остаточний контроль деталі. Для забезпечення більшого відсотка контролюючих деталей і зменшення часу на контроль, зі збільшенням відсотка вірогідності вимірів необхідно застосовувати контрольні пристосування з автоматичним і напіваавтоматичним циклом роботи, при використанні різних датчиків, а також систем обробних, що й аналізують отриману інформацію.

В умовах ринкової економіки визначальне значення в положенні підприємства на ринку буде мати застосування найбільш продуктивних з найменшою собівартістю засобів праці, що забезпечують необхідну якість; виконання автоматизованих конструкторських і технологічних робіт зі складанням мережної моделі роботи підприємства; застосування найбільш ефективних засобів і методів контролю якості продукції.

У ході виконання дипломного проектування обраний оптимальний метод одержання заготовки, обране високопродуктивне технологічне встаткування, що забезпечує якість деталі, що виготовляється, розрахований економічний ефект від заміни встаткування на одній з операцій.

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції й службового призначення деталі

Вал турбіни компресора (рисунок 1.1) є елементом двигуна АИ-24ВТ, на якому кріпитися три робочі колеса, з'єднаних вісьма анкерними болтами М12×1.5-5Н6Н зі спеціально розвиненим фланцем вала. Кріплення всіх трьох робочих коліс до фланця вала консольне. Центрування робочих коліс між собою й з валом здійснюється за допомогою циліндричних пасків на маточинах дисків.

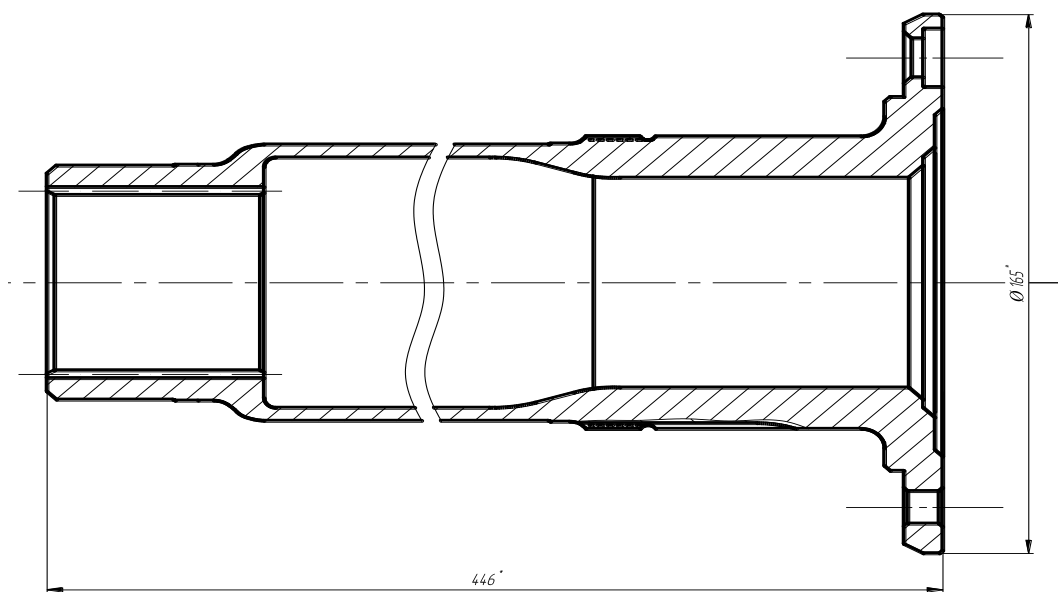


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі

Кріплення лопаток на робочих колесах здійснюється за допомогою “ялинкового” замка й контрволок.

Вал ротора турбіни двохопорний. Основною опорою вала є роликовий підшипник, розташований на валу диска 1 ступені турбіни. Додатковою опорою вала служить задня цапфа ротора компресора, з якою він з'єднується за допомогою внутрішніх евольвентних шліців і спеціального стяжного болта.

На валу ротора турбіни монтуються лабіринтові кільця й внутрішня обойма роликового підшипника. Підшипник встановлюють на діаметр вала $\varnothing 90_{+0,013}^{+0,035}$ з допуском круглості 0,004мм і допуском циліндричності 0,004мм.

Набір деталей стягається гайкою й контрється пластинчастим замком. Для запобігання зсуву замка, між затискачем і гайкою ставиться кільце, виступ якого входить у паз вала турбіни.

Вал турбіни компресора має наскрізний осьовий отвір.

На зовнішній поверхні деталі в місці постановки внутрішньої обойми підшипника й на фланці вала виконуються по дванадцять фрезерованих канавок для зменшення теплопередачі від гарячих деталей ротора до підшипника.

Турбіна приводить в обертання ротор компресора. Матеріал вала отримує напруги від циклічних деформацій, від деформацій розтягання й стиску при вигині, а також напруги при крутінні. Внутрішні шліци вала працюють на зріз.

Матеріалом для виготовлення вала турбіни є якісна легована корозійностійка сталь 40ХНМА-Ш. Хімічний склад матеріалу показано у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40ХНМА-Ш

Хімічний склад, %									
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	Cu	Fe
0.37-0.44.	0.5-0.8	0.17-0.37	0.6-0.9	1.25-1.65	0.15-0.25	≤0.025	≤0.025	≤0.3	основа

Механічні властивості сталі:

Межа міцності $\sigma_B \geq 980 \text{ МПа} (100 \text{ кг/мм}^2)$

Границя текучості $\sigma_{0.2} \geq 835 \text{ МПа} (85 \text{ кг/мм}^2)$

Пластичність $\delta \geq 12\%$

Стискальність $\psi \geq 55\%$

В'язкість $A_K \geq 98 \text{ Дж/див}^2 (10 \text{ кг/див}^2)$

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Тип виробництва характеризується коефіцієнтом серійності, який визначається як відношення такту випуску продукції, до штучного часу на одну операцію за формулою (1.1):

$$K_c = \frac{F_d \cdot 60}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{\text{шт}_i} \cdot N} \quad (1.1)$$

де $F_d = 4000$ годин – дійсний фонд часу роботи встаткування;

$N=2000$ шт – річна програма випуску;

n – кількість операцій механічної обробки на ділянці;

$t_{шт}$ – штучний час на операцію: $\sum_1^{21} t_{шт_i} = 246.35$ хв

$$K_c = \frac{120}{\frac{1}{26} \cdot 246.35} = 12.68$$

Таким чином, виробництво є дрібносерійним.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

У сучасному виробництві одним з основних напрямків розвитку технології механічної обробки є використання чорнових заготовок з економічними конструктивними формами, що забезпечують можливість застосування найбільш оптимальних способів їх обробки. Цей напрямок вимагає безперервного підвищення точності заготовки й наближення її конструктивної форми й розмірів до готової деталі, що дозволяє скоротити обсяг обробки, обмежуючи її чистовими оздоблювальними операціями.

Метод виконання заготовок для деталей машин визначається призначенням і конструкцією деталі, матеріалом, масштабом і серійністю випуску, а так само економічністю виготовлення.

У заводських умовах заготовку одержують методом штампування на пресах (рисунок 1.2) із прокату $\varnothing 100$ мм. Маса такої заготовки становить 39.8 кг; коефіцієнт використання матеріалу $K_{BM} = 0.15$. З метою підвищення K_{BM} і продуктивності заготовки даної деталі можна одержати іншими, більш економічними способами, наприклад, методом зворотного видавлювання (рисунок 1.4). Цей метод спричиняє зміни в ряді операцій наступної механічної обробки: зменшення обдирних і чорнових операцій, що знижує вартість механічної обробки. Ескіз заготовки представлений у графічній частині проекту.

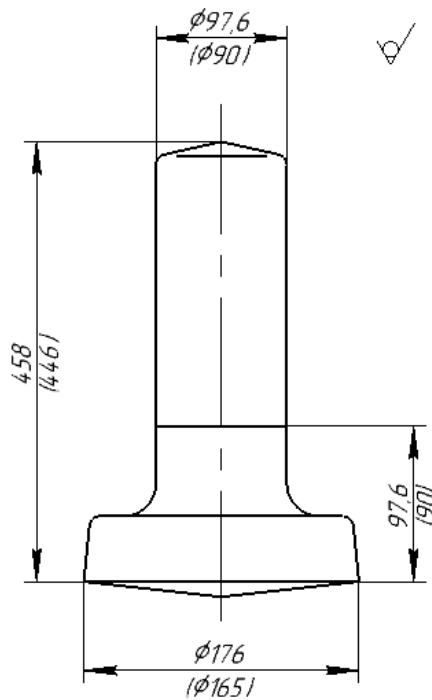


Рисунок 1.2 – Ескіз заготовки, отриманої на пресах

Масу заготівки визначаємо за допомогою програми Siemens NX 12.0 (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Модель заготовки, отриманої на пресах

Розв'яжемо завдання вибору найбільш ефективного способу одержання заготовки.

Матеріал деталі: 40ХН2 МА-Ш.

Програма випуску: $N = 2000$ шт.

Маса деталі: $q = 5.85$ кг.

Маса заготовки, виготовленої:

- на пресах: $m_{пр.} = 39.8$;

- методом зворотного видавлювання: $m_{вуд.} = 19.5$ кг.

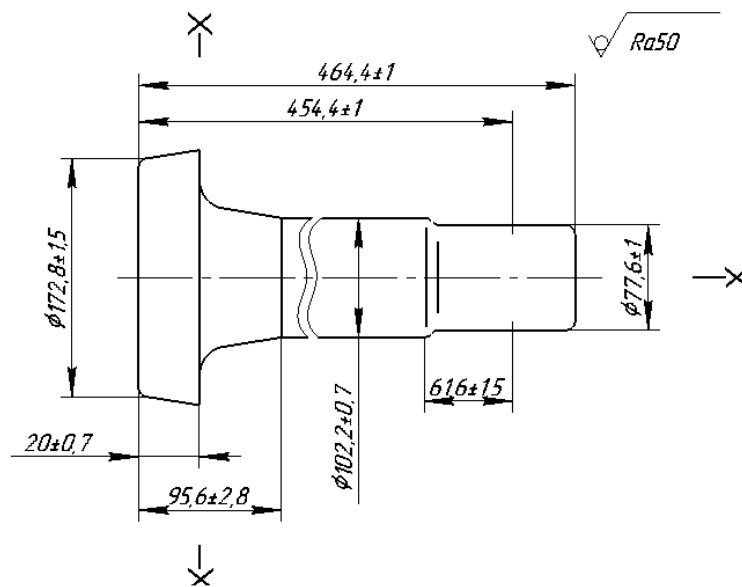


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки, виготовленої методом зворотнього видавлювання

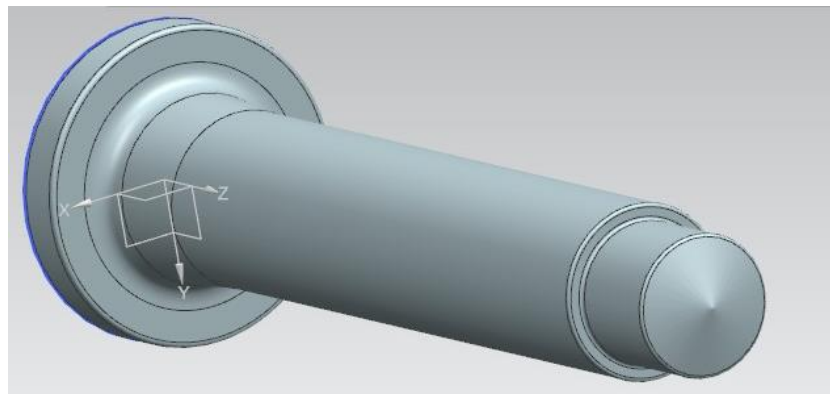


Рисунок 1.5 – Модель заготовки, виготовленої методом зворотнього видавлювання

Визначаємо КВМ (коефіцієнта використання матеріалу) за формулою (1.2):

$$K_{в.м} = q/Q \quad (1.2)$$

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

На пресах:

$$K_{в.м1} = \frac{5,85}{39,8} = 0,15$$

Методом зворотного видавлювання:

$$K_{\text{в.м2}} = \frac{5,85}{19,5} = 0,3$$

Визначаємо вартість заготовки за допомогою формули (1.3):

$$B = \frac{B_6}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_B \cdot K_3 \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \cdot \frac{B_{\text{відх}}}{1000} \quad (1.3)$$

де B_6 – базова оптова вартість однієї тонни металу, грн;

$B_{\text{відх}}$ – вартість однієї тонни стружки, грн;

$K_3, K_M, K_B, K_T, K_{\Pi}$ – коефіцієнти, що враховують відповідно матеріал, клас точності, групу складності, масу заготовки, програму випуску, які призначаємо за [1, с.18-19, т.1.24-1.27].

На пресах:

$$B_{\text{заг}} = \frac{3800}{1000} \cdot 39,8 \cdot 0,9 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 - (39,8 - 5,85) \cdot \frac{110}{1000} = 180,02 \text{ грн}$$

Видавлюванням:

$$B_{\text{заг}} = \frac{3800}{1000} \cdot 19,5 \cdot 0,9 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 - (19,5 - 5,85) \cdot \frac{110}{1000} = 88,53 \text{ грн}$$

Таким чином, доходимо висновку, що одержання заготовки зворотним видавлюванням характеризується кращім КВМ і меншою вартістю.

Річний економічний ефект розраховуємо по формулі (1.4):

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= (B_2 - B_1) \cdot N \\ \mathcal{E} &= (180,02 - 88,53) \cdot 2000 = 182980 \text{ грн} \end{aligned} \quad (1.4)$$

У результаті застосування нового виду одержання заготовки – штампування методом зворотного видавлювання маємо річну економію за вартістю виготовлення заготовок 182980 грн.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків по вибору заготовок

Показник	Позначення	Одиниця	Варіант	
			КГШП	ГКМ
Маса загот.	Q	кг	39,8	19,5
Базова варт. 1т заг.	Сб	грн	3800	3800
Коефіцієнти	K_T	-	0,9	0,9
	K_M	-	1,8	1,8
	K_B	-	1	1
	K_n	-	0,75	0,75
	K_C	-	1	1
Варт. 1т стружки	$S_{отх}$	грн	110	110
Варт. 1шт загот.	С	грн	180,02	88,53
КВМ	η_1	-	0,15	0,3

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

При конструюванні окремих деталей необхідно досягти необхідних експлуатаційних якостей, а також раціонального й економічного виготовлення їх.

Якісна оцінка технологічності:

1. Конструкція валу дозволяє отримати заготовку, що має форму й розміри досить близькі до форми й розмірам готової деталі. Заготовка виготовляється методом зворотного видавлювання в закритих штампах на кривошипних гарячештамповочних пресах у нероз'ємних матрицях.

2. Форма конструкції технологічна, тому що:

- є зручні й надійні технологічні бази – поверхні, які забезпечують надійне закріплення деталі на верстаті.

- забезпечується достатня твердість для надійного закріплення на верстаті й виключення деформації на високих режимах обробки й досягнення необхідної точності.

- забезпечується зручність врізання й виходу інструмента.

- є можливість обробки на “прохід” – наявність виходу інструмента.

Однак:

- немає можливості обробки партії.

- деталь має безліч фасок і вибірок усередині, що ускладнює їхню обробку й контроль, їх здійснюють за допомогою спеціальних оправок і інструментів.

- існує складність обробки поверхонь із більшим радіусом скруглення (їх обробляють на верстаті зі ЧПК).

3. Розміри проставлені раціонально, тому що вони забезпечують:

- об'єднання конструкторських, складальних і технологічних баз.
- об'єднання технологічних і вимірювальних баз.
- можливість обробки на попередньо настроєних верстатах, у т.ч. і на верстатах зі ЧПК.

- надійність і простоту замірів при обробці й після виготовлення.

- раціональність послідовності обробки елементарних поверхонь.

Однак у процесі виготовлення деталі використовуються складні пристосування, спеціальний ріжучий і вимірювальний інструмент.

4. Оптимальна точність геометричних характеристик.

Технологічна точність деталі оцінюється коефіцієнтом точності обробки, який визначається по формулі (1.5):

$$K_{т.о} = 1 - \frac{1}{A_{ср}} \leq 0.8 \quad (1.5)$$

де $A_{ср}$ – середній квалітет точності деталі, який визначаємо за формулою (1.6):

$$A_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (1.6)$$

де A_i – квалітет точності i -ої поверхні;

n_i – кількість розмірів відповідного квалітету.

Таблиця 1.3 – Для визначення $K_{т.о}$.

Кількість розмірів відповідного квалітету										
6	7	8	10	11	12	14	15	16	17	18
3	16	1	2	4	4	39	12	14	2	12

$$K_{т.о} = 1 - \frac{1}{13.47} = 0.92 > 0.8$$

Деталь слід відносити до деталей нормальної точності, тому що $K_{т.о} > 0.8$.

5. Оптимальна шорсткість поверхонь деталі оцінюється коефіцієнтом шорсткості за формулою (1.7):

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} \quad (1.7)$$

де B_{cp} – середній клас шорсткості деталі, який знаходимо за формулою (1.8):

$$B_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \cdot n_{iш}}{\sum_{i=1}^n n_{iш}} \quad (1.8)$$

де B_i – клас шорсткості i -ої поверхні;

n_i – кількість поверхонь відповідного класу шорсткості.

Таблиця 1.4– Для визначення Кш.

Кількість розмірів відповідного класу шорсткості			$\sum B_i \cdot n_i$	$\sum n_i$	B_{cp}	Кш.
6	7	8	848	136	6.24	0.160
109	22	5				

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} = 0.160 \leq 0.16$$

Деталь відносимо до важко оброблюваних тому що $K_{ш} \leq 0.16$.

6. Уніфікація конструктивних елементів деталі оцінюється коефіцієнтом уніфікації за формулою (1.9):

$$K_{y.e.} = \frac{Q_{y.e.}}{Q_o} > 0,6 \quad (1.9)$$

де $Q_{y.e.}$ - кількість уніфікованих типорозмірів;

Q_o – загальна кількість типорозмірів.

Таблиця 1.5 – Для визначення $K_{y.e.}$

Деталь	$Q_{y.e.}$	Q_o	$K_{y.e.}$
Вал турбіни комп-ресора	112	171	0.65

$$K_{y.e.} = \frac{112}{171} = 0.65$$

За коефіцієнтом уніфікації деталей відносимо до технологічних тому що $K_{y.e} > 0.6$.

Провівши аналіз технологічності вала турбіни компресора по шести показникам технологічності, можна зробити висновок про те, що деталь досить технологічна на даному етапі розвитку технології.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Поверхня зовнішня циліндрична $\varnothing 90_{-0,013}^{-0,035}$; $Td_d = 0,022 \text{ мм} = 22 \text{ мкм}$; квалітет m6; шорсткість Ra 0,8 мкм. Допуск на заготовку $_{-1,2}^{+2,3}$; $Td_3 = 3,5 \text{ мм} = 3500 \text{ мкм}$; квалітет IT 17; шорсткість Ra50 мкм.

Розраховуємо загальне уточнення за допуском за формулою (1.10):

$$\epsilon_{zTD} = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (1.10)$$

де Td_3 – допуск на заготовку, мм;

Td_d – допуск на деталь, мм.

$$\epsilon_{zTD} = \frac{3,5}{0,022} = 159$$

Розраховуємо загальне уточнення за шорсткістю за формулою (1.11):

$$\epsilon_{zRa} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (1.11)$$

де Ra_3 – шорсткість заготовки, мкм;

Ra_d – шорсткість деталі, мкм.

$$\epsilon_{zRa} = \frac{50}{0,8} = 62,5$$

Розраховуємо кількість переходів по ϵ_{TD} за формулою (1.12):

$$K = 2 \cdot \lg \epsilon_{Td} = 2 \cdot \lg 159 = 4,4 \quad (1.12)$$

Приймаємо $K = 4$. МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння чистове, термообробка, шліфування попереднє, шліфування остаточне.

Проводимо розробку послідовності показників точності та якості (ППТЯ). Різниця показників: $\Delta_{\text{кв}} = 17 - 6 = 11 = 5 + 3 + 2 + 1$.

ППТЯ_{Td}: IT17→h12→h9 → т/о → h7→m6.

ППТЯ_{Ra}: Ra50→Ra6,3→Ra3,2 → т/о → Ra1,6 → Ra0,8.

Виконуємо перевірку операційних уточнень. Визначаємо операційні уточнення за переходами за формулою (1.13):

$$\varepsilon_{nTd} = \frac{Td_{n-1}}{Td_n} \quad (1.13)$$

де Td_n – допуск на операцію, мм;

Td_{n-1} – допуск на попередню операцію, мм.

$$\begin{aligned} \varepsilon_{2Td} &= \frac{3,5}{0,35} = 10 \\ \varepsilon_{3Td} &= \frac{0,35}{0,087} = 4,02 \\ \varepsilon_{5Td} &= \frac{0,087}{0,035} = 2,48 \\ \varepsilon_{6Td} &= \frac{0,035}{0,022} = 1,59 \end{aligned}$$

Операційні уточнення за шорсткістю визначаємо за формулою (1.14):

$$\varepsilon_{nRa} = \frac{Ra_{n-1}}{Ra_n} \quad (1.14)$$

де Ra_n – шорсткість операції, мкм;

Ra_{n-1} – шорсткість попередньої операції, мкм.

$$\begin{aligned} \varepsilon_{2Ra} &= \frac{Ra50}{Ra6,3} = 7,936 \\ \varepsilon_{3Ra} &= \frac{Ra6,3}{Ra3,2} = 1,968 \\ \varepsilon_{5Ra} &= \frac{Ra3,2}{Ra1,6} = 2 \\ \varepsilon_{6Ra} &= \frac{Ra1,6}{Ra0,8} = 2 \end{aligned}$$

За усіма показниками повинна виконуватися умова $\varepsilon_3 \leq \Pi \varepsilon_i$:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{3Td} &\leq \varepsilon_{2Td} \cdot \varepsilon_{3Td} \cdot \varepsilon_{5Td} \cdot \varepsilon_{6Td} \cdot \varepsilon_{7Td} \\ 159 &\leq 10 \cdot 4,02 \cdot 2,48 \cdot 1,59 \end{aligned}$$

$$159 \leq 158,51$$

$$\varepsilon_{3Ra} \leq \varepsilon_{2Ra} \cdot \varepsilon_{3Ra} \cdot \varepsilon_{5Ra} \cdot \varepsilon_{6Ra} \cdot \varepsilon_{7Ra}$$

$$62,5 \leq 7,936 \cdot 1,968 \cdot 2 \cdot 2$$

$$62,5 \leq 62,47$$

Через математичні округлення значення менші за дійсні. В цілому, за двома показниками контрольна умова виконується, тому маршрут обробки даної поверхні вважаємо дійсним.

Результати заносимо до таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Результат розрахунку МОП для $\varnothing 90_{-0,013}^{-0,035}$

Х-ка пов.	Параметри заготовки, мкм		Параметри деталі, мкм		Загальне уточнення		МОП	Квалітет	ППТЯ, мкм	
	Td _з	Ra _з	Td _д	Ra _д	ε_{oTD}	ε_{oRa}			Td _i	Ra _i
$\varnothing 90_{-0,013}^{-0,035}$ зовнішня цилінд- рична	3500 IT17	50	22 m6	0,8	159	62,5	2. точіння чорнове	h12	350	6,3
							3. точіння чистове	h9	87	3,2
							4. термообробка	-	-	-
							5. шліфування	h7	35	1,6
								m6	22	0,8

Поверхня внутрішня циліндрична $\varnothing 19^{+0,021}_0$; Td_д = 0,021 мм = 21 мкм; квалітет H7; шорсткість Ra_д 0,8 мкм. У заготовки ця поверхня відсутня.

Розраховуємо загальне уточнення за допуском за формулою (1.15):

$$\varepsilon_{3TD} = \frac{Td_1}{Td_d} \quad (1.15)$$

де Td₁ – допуск на свердління, мм;

Td_д – допуск на деталь, мм.

$$\varepsilon_{3TD} = \frac{0,054}{0,021} = 2,57$$

Розраховуємо загальне уточнення за шорсткістю за формулою (1.16):

$$\varepsilon_{3Ra} = \frac{Ra_1}{Ra_d} \quad (1.16)$$

де Ra₁ – шорсткість після свердління, мкм;

Ra_д – шорсткість деталі, мкм.

$$\varepsilon_{3Ra} = \frac{12,5}{0,8} = 15,62$$

Для отримання заданих параметрів поверхні приймаємо $K = 2$. МОП: свердління, зенкерування.

ПШТЯ_{Td}: H9→H7.

ПШТЯ_{Ra}: Ra12,5→Ra0,8.

За усіма показниками повинна виконуватися умова $\varepsilon_3 \leq P\varepsilon_i$:

$$\varepsilon_{3Td} \leq \varepsilon_{2Td}$$

$$2,57 \leq 2,57$$

$$\varepsilon_{3Ra} \leq \varepsilon_{2Ra}$$

$$15,62 \leq 15,62$$

Контрольна умова виконується, тому маршрут обробки даної поверхні вважаємо дійсним. Результати заносимо до таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Результат розрахунку МОП для $\varnothing 19^{+0,021}$

Х-ка пов.	Параметри заготовки		Параметри деталі, мкм		МОП	Квалі-тет	ПШТЯ, мкм	
	Td _з	Ra _з	Td _д	Ra _д			Td _і	Ra _і
$\varnothing 19^{+0,021}$ внутр. циліндр.	-	-	21 H7	0,8	1. свердління 2. зенкерування	H9 H7	54 21	12,5 0,8

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі (МВД) – це загальний план, у якому на основі розробленого маршруту обробки поверхонь (МОП) встановлюються склад і послідовність операцій ТП, вказуються тип і модель верстата, визначаються технологічні комплекси, розробляються схеми установок і т.д.

При розробці технологічного процесу обробки вала був дотриманий принцип єдності баз, тобто сполучення конструкторської, технологічної й вимірювальної бази. Таке сполучення баз забезпечує мінімальну погрішність взаємного розташування оброблюваних поверхонь щодо конструкторської бази.

Основними конструкторськими й технологічними базами є торцева поверхня фланця й зовнішні поверхні обертання діаметр $\varnothing 72h8_{(-0,046)}$ і діаметр $\varnothing 90m6_{+0,035}^{+0,013}$.

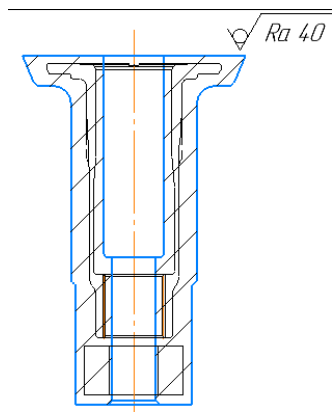
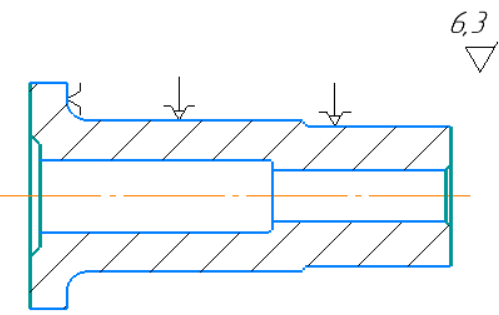
На фрезерно-центрувальній операції 005 проводиться підготовка баз для наступної обробки в патроні й центрах: нарізаються фаски, фрезеруються торці й проточується зовнішній діаметр $\varnothing 165$. Базою в цій операції є зовнішні діаметри заготовки $\varnothing 72$ і $\varnothing 85$.

При чорновій обробці зовнішніх поверхонь обертання (операція 010) підготовляється технологічна база під люнет для обробки поверхонь осьового отвору на наступних операціях.

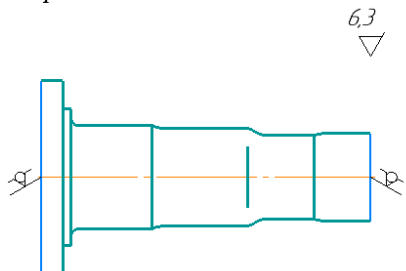
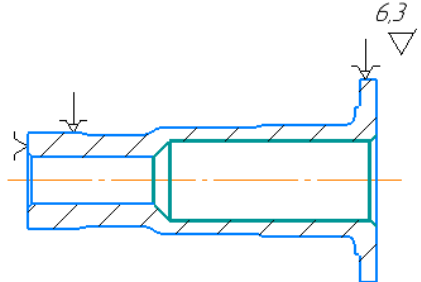
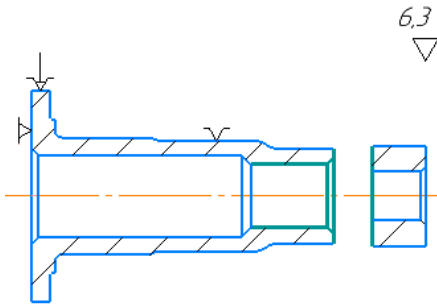
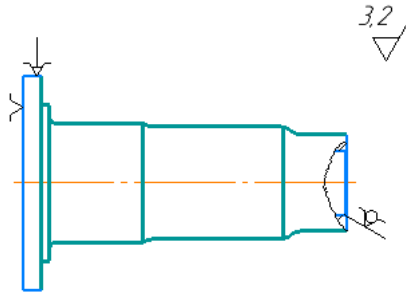
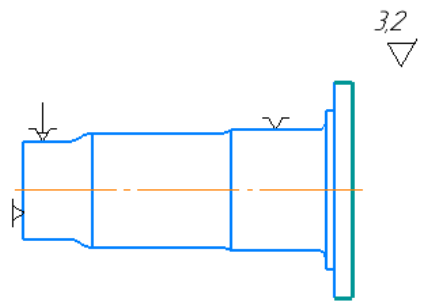
У якості допоміжної технологічної бази приймаються отвори $\varnothing 12^{+0,018}$, що виконуються на операції 120. По цих отворах здійснюється центрування оброблюваної деталі в спеціальному пристосуванні на фрезерно-свердлильній операції 140.

Розроблений МВД заносимо до таблиці 1.8.

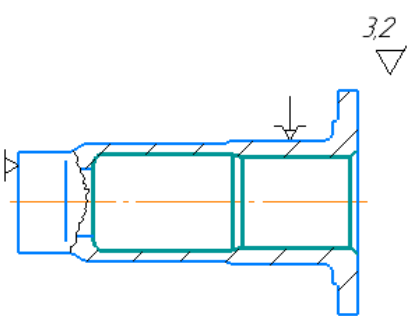
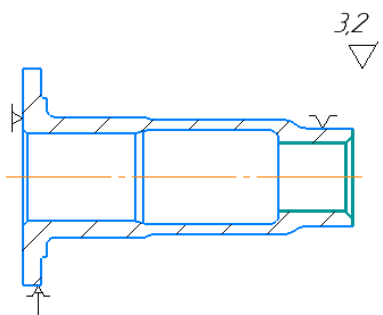
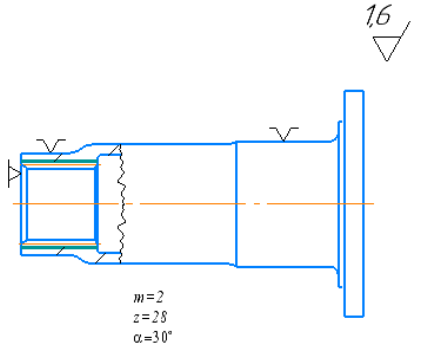
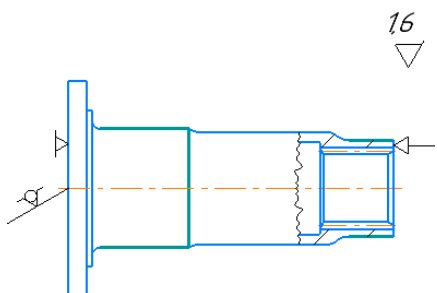
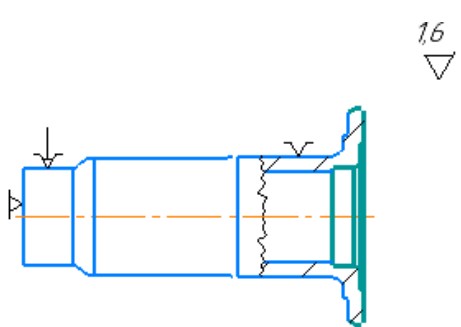
Таблиця 1.8 – Маршрут виготовлення вала

№ оп	Найменування операції та переходів	Найменування обладнання	Ескіз
1	2	3	4
005	Заготівельна	ГКМ	
010	Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний Мр-73	

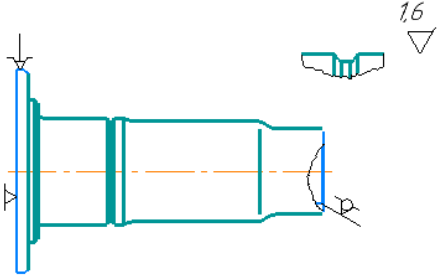
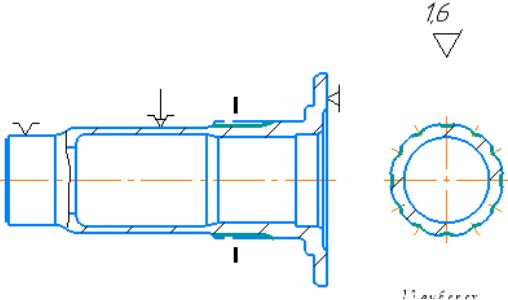
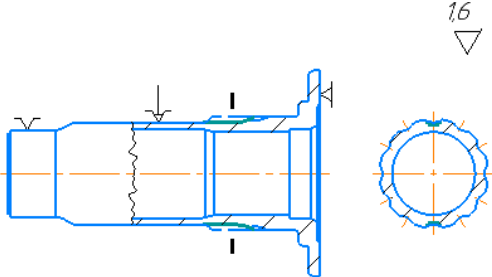
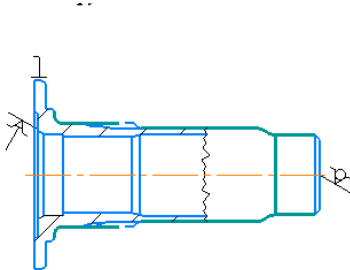
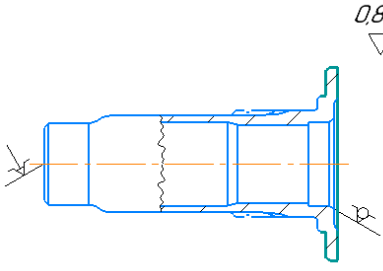
Продовження таблиці 1.8

1	2	3	4
015	Токарна	Токарно-копіювальний 1Б732	
020	Токарна	Токарно-копіювальний МК-266	
025	Токарна	Токарний з ЧПК 16К30Ф325	
030	Термообробка	Піч	
035	Токарна	Токарний з ЧПК 1Б732Ф3	
040	Токарна	Токарно-гвинторізний 1А62	

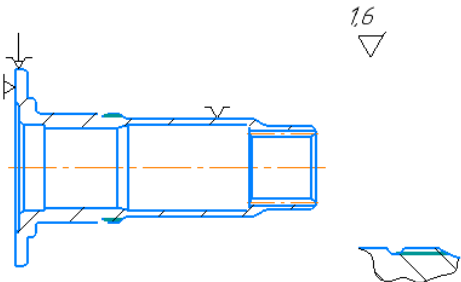
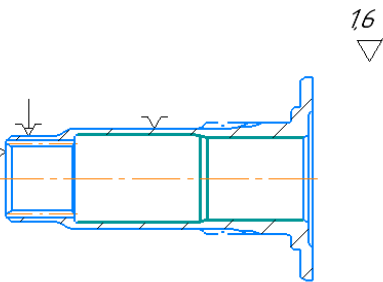
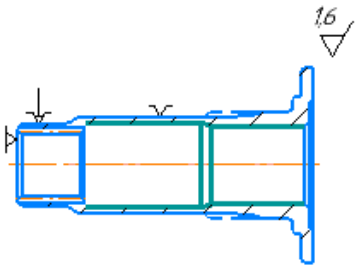
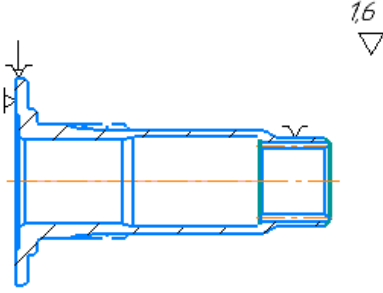
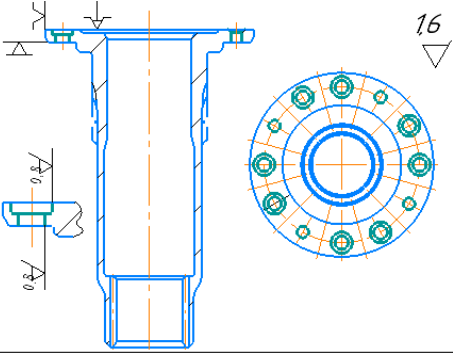
Продовження таблиці 1.8

1	2	3	4
045	Токарна	Токарно-копіювальний МК-266	
050	Токарна	Токарно-гвинторізний 1А62	
055	Протяжна	Горизонтально-протяжний 7Б57	
060	Токарна	Токарний 1Д62	
065	Токарна	Токарний з ЧПК 1К62Ф3С1	

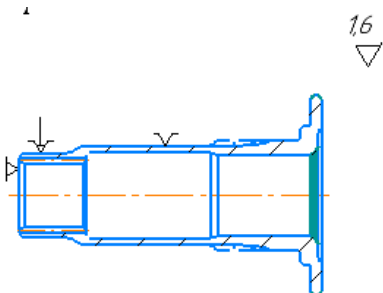
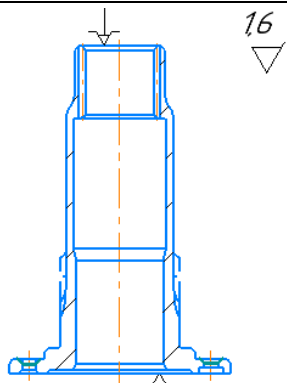
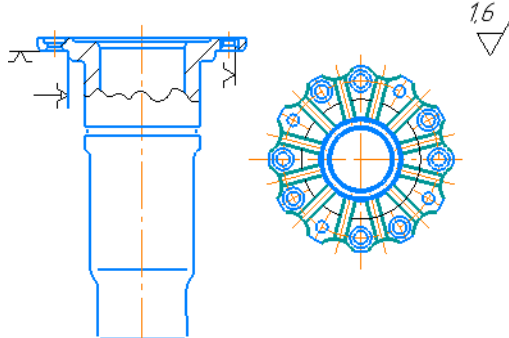
Продовження таблиці 1.8

1	2	3	4
070	Токарна	Токарний з ЧПК 1Б732Ф3	
075	Фрезерна	Горизонтально-фрезерний 6Н83Г	
080	Фрезерна	Горизонтально-фрезерний 6Н83Г	
085	Слюсарна	Верстак	
090	Шліфувальна	Круглошліфувальний 1Б161П	
095	Шліфувальна	Круглошліфувальний 1Б161П	

Продовження таблиці 1.8

1	2	3	4
100	Токарна	Токарно-гвинторізний 16K20	
105	Токарна	Токарно-копіювальний МК-266	
110	Шліфувальний	Внутрішньо-шліфувальний 3A229	
115	Токарна	Токарний 1A62	
120	Полірувальна	Верстак	
125	Свердлильна	Радіально-свердлильний 2A53	

Продовження таблиці 1.8

1	2	3	4
130	Токарна	Токарний 1А62	
135	Свердлильна	Радіально-свердильний 12ЛТ950	
140	Слюсарна	Верстак	
145	Фрезерна	Фрезерно-свердильний МА655А	
150	Алмазне вигладжування	Токарно-копіювальний 1Б732	
155	Алмазне вигладжування	Токарно-гвинторізний 16К25	
160	Слюсарна	Верстак	
165	Мийна	Мийна машина	
170	Контроль	Магнітний дефектоскоп УМДЗ-10000	
175	Мийна	Мийна машина	
180	Контроль	Стіл контрольний	
185	ХТО	Ванна	

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Припуск – шар металу, що видаляється з поверхні заготовки з метою досягнення заданої форми, точності і якості поверхні.

Для однієї поверхні визначимо їх розрахунково-аналітичним методом, для другої табличним.

Розрахуємо припуск для зовнішньої поверхні обертання $\varnothing 72h8_{(-0.046)}$.

Згідно з методикою подвійний операційний припуск для зовнішньої поверхні обертання визначається по формулі (1.17):

$$2Z_i^{min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (1.17)$$

де Rz_{i-1} – висота мікронерівностей профілю;

h_{i-1} – глибина дефектного шару матеріалу від попередньої операції;

Δ_{i-1} – погрішності форми й взаємного розташування поверхонь на попередній операції;

ε_i – погрішності установки на виконуваному переході.

Маршрут обробки поверхні складений на основі плану обробки й наведено в таблиці 1.8.

Елементи мінімальних припусків для кожного переходу й допуски на операційні розміри й розміри заготовки ухвалюємо за нормативним даними [2,с.23,т.3.7]:

- заготовка: $Rz = 200$ мкм; $h = 250$ мкм;
- точіння обдирне: $Rz = 62,5$ мкм; $h = 150$ мкм;
- точіння чорнове: $Rz = 31,5$ мкм; $h = 100$ мкм;
- точіння напівчистове: $Rz = 10$ мкм; $h = 50$ мкм;
- точіння чистове: $Rz = 10$ мкм; $h = 30$ мкм;
- шліфування: $Rz = 5$ мкм; $h = 15$ мкм.

Визначаємо сумарні значення погрішності просторових відхилень форми для заготовки по [3,с.186,т.15] за формулою (1.18):

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{cm}^2 + \Delta_{кор}^2} \quad (1.18)$$

де $\Delta_{cm}=0.5$ мм – зсув осі фланця щодо осі стрижня при штампуванні;

$\Delta_{кор}=\Delta_k L$ – жолоблення заготовки;

$\Delta_{до} = 3 \text{ мкм/мм}$ – кривизна стрижня після висадження фланця;

$$\Delta_{кор} = 3 \cdot 520 = 1560 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{500^2 + 1560^2} = 1638 \text{ мкм}$$

Величину залишкової погрішності просторових відхилень для наступних обробок обчислюємо за допомогою коефіцієнта уточнення за формулою (1.19):

$$\Delta_{\Sigma i} = \Delta_{\Sigma заг} \cdot K_{yi} \quad (1.19)$$

де K_y – коефіцієнт уточнення після i -го переходу по [3, с.190, табл..29]:

$$\Delta_{\Sigma \text{точ. обдир}} = 1638 \cdot 0,06 = 98,3 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma \text{точ. черн}} = 1638 \cdot 0,06 = 98,3 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma \text{точ. п/год}} = 1638 \cdot 0,05 = 81,9 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma \text{точ. чистий}} = 1638 \cdot 0,04 = 65,5 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\Sigma \text{шл. чистий}} = 1638 \cdot 0,02 = 32,8 \text{ мкм}.$$

Оскільки після обдирного точіння деталь зазнає загартування, виникає погрішність форми, питоме значення якої визначаємо по формулі (1.20):

$$\Delta_{то} = \frac{n \cdot L}{0,01D + 0,3} \quad (1.20)$$

де n – коефіцієнт залежний від виду ТЕ ($n=1$);

$D = 80 \text{ мм}$ – діаметр оброблюваної поверхні;

$L = 50 \text{ мм}$ – довжина оброблюваної поверхні;

$$\Delta_{то} = \frac{50}{0,01 \cdot 80 + 0,3} = 45,5 \text{ мкм}$$

Погрішність установки заготовки вибираємо з [3, с.42, табл..13]:

$$\epsilon_{уток. чр.} = 45,5 \text{ мкм}$$

Для наступних операцій, тому що обробка ведеться в центрах, погрішність установки в радіальному напрямку дорівнює нулю.

Підставляючи отримані значення елементів припуску в наведену раніше формулу, одержимо розрахункові величини, які для визначення операційних розмірів подвоюємо:

-точіння обдирне:

$$2Z_{i \min} = 2(200 + 250 + \sqrt{1638^2 + 140^2}) = 4188 \text{ мкм};$$

-точіння чорнове:

$$2Z_{i\min} = 2(62,5 + 150 + \sqrt{45,5^2 + 98,3^2}) = 641 \text{ мкм};$$

-точіння напівчистове:

$$2Z_{i\min} = 2(31,5 + 100 + 98,3) = 459,6 \text{ мкм};$$

-точіння чистове:

$$2Z_{i\min} = 2(10 + 50 + 81,9) = 283,8 \text{ мкм};$$

-шліфування:

$$2Z_{i\min} = 2(10 + 30 + 65,5) = 211,0 \text{ мкм}$$

Розрахункові операційні розміри визначаємо по формулі (1.21):

$$d_{i-1\min} = d_{i\min} + T_i + 2Z_{i\min} \quad (1.21)$$

де $d_{i-1\min}$ – мінімальне значення розміру на попередньому переході,

мм;

$d_{i\min}$ – те ж на виконуваному переході, мм;

T_i – відхилення, що допускається, розміру на виконуваному переході,

мм;

- для шліфування:

$$d_{\min} = 72 - 0.046 = 71,954 \text{ мм};$$

- для точіння чистового:

$$d_{\min} = 71,954 + 0.046 + 0.211 = 72,211 \text{ мм};$$

- для точіння напівчистового:

$$d_{\min} = 72,211 + 0.074 + 0.284 = 72,569 \text{ мм};$$

- для точіння чорнового:

$$d_{\min} = 72,569 + 0,190 + 0,460 = 73,219 \text{ мм};$$

- для точіння обдирного:

$$d_{\min} = 73,219 + 0,300 + 0,641 = 74,160 \text{ мм};$$

- для заготовки:

$$d_{\min} = 74,160 + 0,740 + 4,188 = 79,088 \text{ мм}.$$

Визначаємо граничні розміри й затыгаємо їх у таблицю 1.8.

Граничні значення припусків для кожної операції визначаємо по формулах (1.22) – (1.23):

$$2Z_{i\min} = d_{i-1\min} - d_{i\max} \quad (1.22)$$

$$2Z_{i\max} = d_{i-1\max} - d_{i\min} \quad (1.23)$$

Граничні припуски затягаємо в таблицю 1.9.

Визначаємо мінімальний розмір заготовки по формулі (1.24):

$$d_{\text{заг.мін}} = d_{\text{дет.мін}} + \sum_{i=1}^n T_i + 2 \sum_{i=1}^n Z_{i\text{мін}} \quad (1.24)$$

де $d_{\text{дет.мін}}$ – нижнє граничне значення розміру деталі, мм;

T_i – допуск на розмір одержуваний після виконання i -го переходу (операції), мм;

$Z_{i\text{мін}}$ – мінімальне значення припуску на виконання i -го переходу, мм.

$$D_{\text{заг.мін}} = 71,954 + (0,046 + 0,074 + 0,190 + 0,300 + 0,740) + (0,211 + 0,284 + 0,460 + 0,641 + 4,188) = 79,088$$

Перевірка. Правильність розрахунків устанавлюємо на підставі рівності (1.25):

	$2Z_{i\text{макс}} - 2Z_{i\text{мін}} = T_i + T_{i-1}$	(1.25)
Для шліфування:	$0,331 - 0,211 = 0,046 + 0,074$ $0,120 = 0,120$;	
Для точіння чистового:	$0,548 - 0,284 = 0,074 + 0,190$ $0,264 = 0,264$	
Для точіння напівчистового:	$0,950 - 0,460 = 0,190 + 0,300$ $0,490 = 0,490$	
Для точіння чорнового:	$1,681 - 0,641 = 0,300 + 0,740$ $1,04 = 1,04$	
Для точіння обдирного:	$7,84 - 4,10 = 0,74 + 3,00$ $3,74 = 3,74$	

Таблиця 1.9 – Вихідні дані та результати розрахунків припусків для поверхні $\varnothing 72h8(-0,046)$

№ оп	Технологічні переходи (операції)	Елементи припуску, мкм				Розр. припуск 2Zmi п, мкм	Допуск , Ti,м км	Розр. розмір, мм	Граничні значення, мм				Виконавчий розмір, мм
		Rz	h	ΔΣ	ε				Розмірів		припусків		
									dm in	dmax	2Zmin	2Zmax	
	Зовнішня поверхня Ø72h8(-0.046)												
005	Заготівельна	200	250	1638	'	'	3000	79,088	79,0	82,0	'	'	80 ^{+2,0} _{-1,0}
010	точіння обдирне	62,5	150	98,3	140	4188	740	74,160	74,160	74,900	4,1	7,84	74,9-0,74
025	Термічна	'	'	45,5	'	'	'	'	'	'	'	'	'
030	точіння чорнове	31,5	100	98,3	0	641,0	300	73,220	73,220	73,520	0,641	1,681	73,52-0,3
055	точіння напівчистове	10	50	81,9	0	459,6	190	72,570	72,570	72,760	0,460	0,950	72,76-0,190
065	точіння чистове	10	0,3	5,6	0	283,8	74	72,211	72,211	72,285	0,284	0,548	72,285-0,074
085	Шліфування	5	15	38	0	211	46	71,954	71,954	72,000	0,211	0,331	72-0,046

Розрахуємо припуск для внутрішньої поверхні обертання $\varnothing 77H12^{(+0,30)}$.

Згідно з методикою подвійний операційний припуск для внутрішньої поверхні обертання визначається по формулі (1.17).

Елементи мінімальних припусків для кожного переходу й допуски на операційні розміри й розміри заготовки ухвалюємо за нормативним даними [2,с.23,т.3.7]:

- заготовка: $R_z = 200$ мкм; $h = 250$ мкм;
- точіння обдирне: $R_z = 62,5$ мкм; $h = 150$ мкм;
- точіння чорнове: $R_z = 31,5$ мкм; $h = 100$ мкм;
- точіння напівчистове: $R_z = 10$ мкм; $h = 50$ мкм;
- точіння чистове: $R_z = 10$ мкм; $h = 30$ мкм;
- шліфування: $R_z = 5$ мкм; $h = 15$ мкм.

Визначаємо сумарні значення погрішності просторових відхилень форми для заготовки по [3,с.186,т.15] за формулою (1.18):

де $\Delta_{см} = 0.5$ мм – зсув осі фланця щодо осі стрижня при штампуванні;

$\Delta_{кор} = \Delta_k L$ – жолоблення заготовки;

$\Delta_{до} = 3$ мкм/мм – кривизна стрижня після висадження фланця;

$$\Delta_{кор} = 3 \cdot 520 = 1560 \text{ мкм}$$
$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{500^2 + 1560^2} = 1638 \text{ мкм}$$

Величину залишкової погрішності просторових відхилень для наступних обробок обчислюємо за допомогою коефіцієнта уточнення за формулою (1.19):

де K_y – коефіцієнт уточнення після i -го переходу по [3,с.190,табл..29]:

$$\Delta_{\Sigma \text{точ.обдир}} = 1638 \cdot 0,06 = 98,3 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma \text{точ.черн}} = 1638 \cdot 0,06 = 98,3 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma \text{точ.п/год}} = 1638 \cdot 0,05 = 81,9 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma \text{точ.чистий}} = 1638 \cdot 0,04 = 65,5 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\Sigma \text{шл.чистий}} = 1638 \cdot 0,02 = 32,8 \text{ мкм}.$$

Погрішність установки заготовки вибираємо з [3,с.42,табл..13].

Підставляючи отримані значення елементів припуску в наведену раніше формулу, одержимо розрахункові величини, які для визначення операційних розмірів подвоюємо:

-точіння обдирне:

$$2Z_{i \min} = 2(200 + 250 + \sqrt{1638^2 + 140^2}) = 4188 \text{ мкм};$$

-точіння чорнове:

$$2Z_{i\min} = 2(62,5 + 150 + \sqrt{45,5^2 + 98,3^2}) = 641 \text{ мкм};$$

-точіння напівчистове:

$$2Z_{i\min} = 2(31,5 + 100 + 98,3) = 459,6 \text{ мкм};$$

-точіння чистове:

$$2Z_{i\min} = 2(10 + 50 + 81,9) = 283,8 \text{ мкм};$$

-шліфування:

$$2Z_{i\min} = 2(10 + 30 + 65,5) = 211,0 \text{ мкм}$$

Розрахункові операційні розміри визначаємо по формулі (1.26):

$$d_{\max i-1} = d_{\max i} - T_i - 2Z_{i\min} \quad (1.26)$$

де $d_{i\max}$ – максимальне значення розміру на попередньому переході, мм;

$d_{i\max}$ – те ж на виконуваному переході, мм;

- для шліфування: $d_{\max} = 77 + 0,300 = 77,300 \text{ мм};$

- для точіння чистового: $d_{\max} = 77,3 - 0,046 - 0,211 = 77,043 \text{ мм};$

- для точіння напівчистового: $d_{\max} = 77,043 - 0,074 - 0,284 = 76,685 \text{ мм};$

- для точіння чорнового: $d_{\max} = 76,685 - 0,190 - 0,460 = 76,035 \text{ мм};$

- для точіння обдирного: $d_{\max} = 76,035 - 0,300 - 0,641 = 75,094 \text{ мм};$

- для заготовки: $d_{\max} = 75,094 - 0,740 - 4,188 = 70,166 \text{ мм}.$

Визначаємо граничні розміри й зводимо їх у таблицю 1.10.

Граничні значення припусків для кожної операції визначаємо по формулах (1.22) – (1.23).

Визначаємо мінімальний розмір заготовки по формулі (1.24):

$$D_{\text{заг.макс}} = 77 - (0,046 + 0,074 + 0,190 + 0,300 + 0,740) - (0,211 + 0,284 + 0,460 + 0,641 + 4,188) = 70,166;$$

Перевірка. Правильність розрахунків установлюємо на підставі рівності (1.25):

$$\begin{aligned} \text{Для шліфування:} \quad & 0,331 - 0,211 = 0,046 + 0,074 \\ & 0,120 = 0,120; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Для точіння чистового:} \quad & 0,548 - 0,284 = 0,074 + 0,190 \\ & 0,264 = 0,264 \end{aligned}$$

$$\text{Для точіння напівчистового: } 0,950 - 0,460 = 0,190 + 0,300$$

$$0,490=0,490$$

$$\text{Для точіння чорнового: } 1,681-0,641=0,300+0,740$$

$$1,04=1,04$$

$$\text{Для точіння обдирного: } 7,84-4,10=0,74+3,00$$

$$3,74=3,74$$

Таблиця 1.10 - Вихідні дані та результати розрахунків припусків для поверхні $\varnothing 77H12^{(+0,30)}$

№ оп	Техно- логічні перехо- ди (опе- рації)	Елементи при- пуску, мкм				Розр. при- пуск 2Z _{min} , мкм	До- пуск, T _i , мкм	Розр. Роз- мір, мм	Граничні значення, мм				Ви- кон. роз- мір, мм
		Rz	h	Δ _Σ	ε				Розмірів		припусків		
									d _{max}	d _{min}	2Z _{min}	2Z _{max}	
Внутрішня поверхня Ø77H12 ^(+0.300)													
005	Заготі- вельна	200	250	1638	-	-	3000	70,166	70,166	67,166	-	-	^{+2,0} _{-1,0} 67,17
010	точіння обдирне	62,5	150	98,3	140	4188	740	75,094	75,094	74,354	4,1	7,84	74,35-0,74
025	Терміч- на	'	'	45,5	'	'	'	'	'	'	'	'	'
030	точіння чорнове	31,5	100	98,3	0	641,0	300	76,035	76,035	75,74	0,641	1,681	75,74-0,3
055	точіння напівчи- стове	10	50	81,9	0	459,6	190	76,685	76,685	76,50	0,460	0,950	76,50-0,190
065	точіння чистове	10	30	65,5	0	283,8	74	77,043	77,043	76,97	0,284	0,548	76,97-0,074
085	Шліфу- вання	5	15	32,8	0	211	300	77,300	77,300	77	0,211	0,331	77 ^{+0,3}

1.6 Розрахунок режимів різання

Операція 035 токарна (рисунок 1.6).

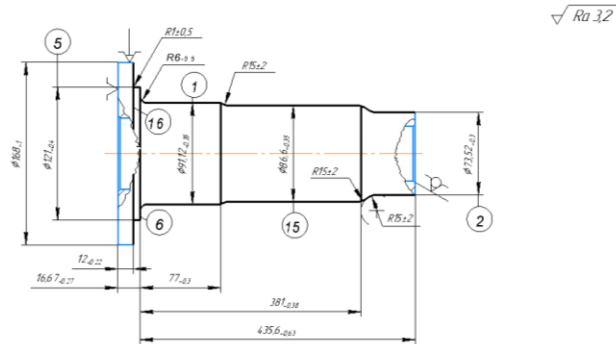


Рисунок 1.6 – Ескіз токарної операції 035

Інструмент: різець прохідний збірний, $\varphi=60^\circ$, 20x20x125, R =1мм;
Т15К6 ГОСТ 18878-73;

Різець підрізний збірний, $\varphi=90^\circ$, 16x16x100, Т15К6, ГОСТ 18879-73.

Перехід 1: Точити поверхню 2.

Глибина різання: $t = z_{\max}/2 = 1.68/2 = 0.84$ мм

Довжина робочого ходу супорта за формулою (1.27):

$$L_p = L_{\text{рез}} + v + L_{\text{доп}} \quad (1.27)$$

де $L_{\text{рез}}$ – довжина різання для різця супорта, мм;

v – підвід, врізання й перебіг для цього різця;

$L_{\text{доп}}$ – додаткова довжина ходу.

$$L_p = 55 + 5 + 0 = 60 \text{ мм}$$

3. Визначаємо подачу за [3,с.226]: $S_T = 0.6$ мм/об

По паспорту $S_{\text{пр}} = 0.6$ мм/об

4. Визначаємо стійкість інструмента: $T=60$ хв [3,с.268].

5. Визначаємо швидкість різання за формулою (1.28):

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (1.28)$$

де K_v – визначаємо за формулою (1.29):

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{PIV} \cdot K_{IIV} \quad (1.29)$$

$C_v=350$; $x=0.15$; $v=0.35$; $m=0.2$ [3,с.269]

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 0.7 \left(\frac{750}{980} \right)^1 = 0.54 [3, \text{с.262, т.3}] - \text{коефіцієнт, залежний від}$$

оброблюваного матеріалу;

$K_{IV} = 1$, [3, с.264, табл.6] – коефіцієнт залежний від стійкості й марки інструмента;

$K_{PV} = 1$, [3, с.263, т.6] – коефіцієнт, що відбиває якість поверхні заготовки;

$$V = \frac{350}{60^{0.2} \cdot 0.84^{0.15} \cdot 0.6^{0.35}} \cdot 0.54 \cdot 1 \cdot 1 = 102.3 \text{ м/хв};$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.30):

$$n = \frac{1000V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 102.3}{3.14 \cdot 73.5} = 443.2 \text{ об/мин.} \quad (1.30)$$

По паспорту $n_{ст} = 440$ про/хв.

Фактична швидкість різання за формулою (1.31):

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 73.5 \cdot 440}{1000} = 101.55 \text{ м/мин.} \quad (1.31)$$

Основний час за формулою (1.32):

$$t_m = \frac{L_{p.xx}}{S \cdot n} = \frac{60}{0.6 \cdot 440} = 0.23 \text{ мин.} \quad (1.32)$$

Визначаємо силу різання за формулою (1.33):

$$P_z = 10 \cdot C_p t^x S^y V^n K_p \quad (1.33)$$

де $C_p = \text{const}$;

x, y, n – показники ступеня;

S, V, t – режим різання;

K_p – коефіцієнт враховуючий форму ріжучої частини інструмента;

$$K_p = 1 \times 0.93 \times 1.15 = 1.06$$

$x = 1, \quad y = 0.75, \quad n = -0.15$;

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0.84 \cdot 0.60 \cdot 75 \cdot 101.55 \cdot 0.15 \cdot 1.06 = 910.58 \text{ Н}$$

Потужність різання за формулою (1.34):

$$N = \frac{P_z \cdot V}{61200} = \frac{910.58 \cdot 101.55}{61200} = 1.51 \text{ кВт.} \quad (1.34)$$

Операція 075 фрезерна (рисунок 1.7).

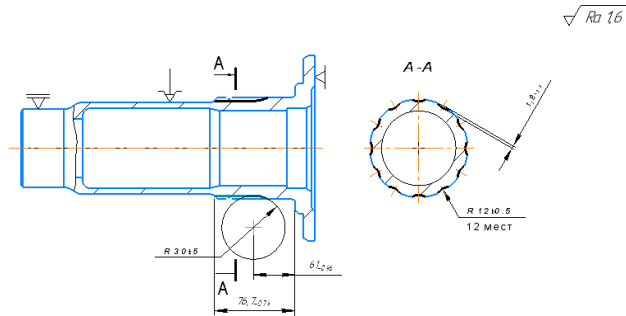


Рисунок 1.7 – Ескіз фрезерної операції 075

Інструмент: фреза $D = 60\text{мм}$, $z = 14$, P12Ф4К5 ГОСТ 9305-93.

Визначаємо глибину різання: $t = 1.6\text{мм}$

Визначаємо подачу: $S_z = 0.1 \text{ мм/зуб}$ [3,с.284,т.35].

Визначаємо швидкість різання за формулою (1.35):

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} K_v \quad (1.35)$$

де D – діаметр фрези, мм;

T – період стійкості, хв;

t – глибина фрезерування, мм;

S – подача на зуб, мм/зуб;

B – ширина фрезерування, мм;

z – число зубів фрези;

$$C_v = 53; \quad q = 0.45; \quad x = 0.3; \quad y = 0.2; \quad u = 0.1; \quad p = 0.1$$

$$m = 0.33 \text{ [3,с.287,т.39].}$$

$$V = \frac{53 \cdot 60^{0.45}}{120^{0.33} \cdot 1.6^{0.3} \cdot 0.1^{0.2} \cdot 6^{0.1} \cdot 14^{0.1}} 0.54 = 32.9 \text{ м/хв}$$

Визначаємо число обертів за формулою (1.30):

$$n = \frac{1000 \cdot 32.9}{3.14 \cdot 60} = 174.6 \text{ об/хв}$$

по паспорту верстата приймаємо $n = 160$ про/хв.

Фактична швидкість різання за формулою (1.31):

$$V_{\phi} = \frac{3.14 \cdot 60 \cdot 160}{1000} = 30.1 \text{ м/мин}$$

Визначаємо хвилинну подачу за формулою (1.36):

$$S_M = S_z \cdot n \cdot z = 0.1 \cdot 160 \cdot 14 = 214 \text{ мм/хв} \quad (1.36)$$

Визначаємо потужність різання [3, с.312, т.1] за формулою (1.37):

$$N = 2.32 \cdot 10^{-5} \cdot D^{0.14} \cdot t^{0.86} \cdot S_z^{0.72} \cdot B \cdot z \cdot n \quad (1.37)$$

$$N = 2.32 \cdot 10^{-5} \cdot 600^{0.14} \cdot 1.60 \cdot 86 \cdot 0.10 \cdot 72 \cdot 6 \cdot 14 \cdot 160 = 0.16 \text{ кВт}$$

Визначаємо основний час за формулою (1.38):

$$T_0 = \frac{L_{\text{рх}} + l_1}{S_M} i = \frac{41.7 + 14}{214} \cdot 12 = 3.12 \text{ хх} \quad (1.38)$$

Операція №125 свердлильна (рисунок 1.8).

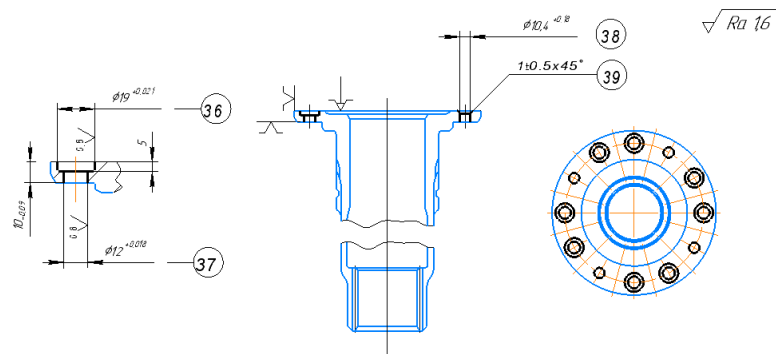


Рисунок 1.8 – Ескіз свердлильної операції 125

Інструмент: Свердло спіральне із циліндричним хвостовиком $d = 11 \text{ мм}$, $L = 95$, $l = 47 \text{ мм}$, Р6М5, ГОСТ 4010-77.

Довжина робочого ходу за формулою (1.39):

$$L_p = L + v \quad (1.39)$$

де $L = 10 \text{ мм}$ - глибина свердління;

v – врізання, мм: $v = 0.6 \cdot d_{cb} = 0.6 \cdot 11 = 6.6$ мм;

d_{cb} – діаметр свердла, мм;

$$L_p = 10 + 6.6 = 16.6 \text{ мм}$$

Глибина різання: $t = d_{cb}/2 = 11/2 = 5.5$ мм.

Вибираємо подачу [3,с.277,т.25]: $S_o = (0.15 - 0.17)$ мм/об;

Коректуємо по верстату $S = 0.08$ мм/об.

Розраховуємо швидкість різання за формулою (1.40):

$$V = \frac{C_v d_{cb}^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v \quad (1.40)$$

де C_v , q , y , m – коефіцієнт і показники ступені [3,с.278,т.28];

T – стійкість свердла, хв; [3,с.279,т.30];

S – подача, мм/об;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{lv}$$

де $K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 0.8 \left(\frac{750}{980} \right)^{0.9} = 0.63$ - коефіцієнт оброблюваності ста-

ли [3,с.262,табл.1];

$K_{nv} = 1$ – коефіцієнт на інструментальний матеріал [3,с.263,т.6];

$K_{lv} = 1$ – коефіцієнт, що враховує глибину свердління [3,с.280,т.31];

$$K_v = 0.63 \cdot 1 \cdot 1 = 0.63$$

$C_v = 7.0$; $q = 0.4$; $v = 0.7$; $m = 0.2$; $T = 45$ хв;

$$V_p = \frac{7.0 \cdot 11^{0.4}}{45^{0.2} \cdot 0.08^{0.7}} \cdot 0.63 = 31.50 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Розраховуємо кількість обертів свердла за формулою (1.41):

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi d_{cb}} = \frac{1000 \cdot 31.5}{3.14 \cdot 11} = 911 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \quad (1.41)$$

Коректуємо по верстату: $n = 900$ про/хв.

Визначаємо фактичну швидкість обертання свердла за формулою (1.31):

$$V_\phi = \frac{3.14 \cdot 11 \cdot 900}{1000} = 31.1 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Розраховуємо крутний момент і осьову силу за формулами (1.42) –

(1.43) :

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m D^q S^y K_p \quad (1.42)$$

де D^q , q , y – коефіцієнт і показники ступені [3,с.281,т.32];

$K_p = 1.22$ – коефіцієнт матеріалу деталі [3,с.264,т.9];

$q = 2$; $y = 0.8$; $C_m = 0.0345$;

$$M_{кр} = 10 \cdot 0.0345 \cdot 112 \cdot 0.080 \cdot 0.8 \cdot 1.22 = 6.75 \text{ Н/м}$$

$$P_o = 10 \cdot C_p D^q S^y K_p \quad (1.43)$$

де D^q , q , y – коефіцієнт і показники ступені [3,с.281,т.32];

$K_p = 1.22$ – коефіцієнт матеріалу деталі [3,с.264,т.9];

$q = 1$; $y = 0.7$; $C_p = 68$;

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 11 \cdot 0.080 \cdot 0.7 \cdot 1.22 = 1557.5 \text{ Н}$$

Потужність різання за формулою (1.44):

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{6.75 \cdot 900}{9750} = 0.62 \text{ кВт} \quad (1.44)$$

Операційний час за формулою (1.45):

$$T_{o1} = \frac{L_p}{S \cdot n} \cdot i = \frac{16.6}{0.08 \cdot 900} \cdot 8 = 1.84 \text{ хв} \quad (1.45)$$

Операція 110 шліфувальна (рисунок 1.9).

$\sqrt{Ra 16}$

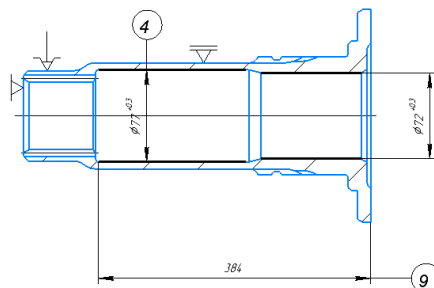


Рисунок 1.9 – Ескіз шліфувальної операції 110

Інструмент: Шліфувальний круг 1 70x50x20 25А 10-П С2 7 К1А 20 м/с
А 1 кл. по ГОСТ 2424-83 [4,с.340,т.158].

Визначаємо швидкість круга [3,с.301,т.55]: $v_{кр.}=20$ м/с

Визначаємо число обертів круга за формулою (1.46):

$$n_{кр.} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot v_{кр.}}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 20}{3.14 \cdot 70} = 5460 \text{ об/хв} \quad (1.46)$$

По паспорту верстата $n_{кр.}=6000$ про/хв.

Визначаємо фактичну швидкість за формулою (1.47):

$$V_{кр.ф.} = \frac{\pi \cdot D_{кр.} \cdot n_{кр.}}{1000 \cdot 60} = \frac{\pi \cdot 70 \cdot 6000}{1000 \cdot 60} = 21.98 \text{ м/с} \quad (1.47)$$

Визначаємо швидкість деталі [3,с.301,т.55]: $V_{д.} = 40$ м/хв..

Визначаємо число обертів деталі за формулою (1.48):

$$n_{д.} = \frac{1000 V_{д.}}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 40}{3.14 \cdot 71.685} = 177.7 \text{ об/мин.} \quad (1.48)$$

Коректуючи по паспорту верстата приймаємо $n_{д.} = 180$ про/хв.

Визначаємо дійсну швидкість обертання деталі за формулою (1.49):

$$V_{д.} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 71.685 \cdot 180}{1000} = 40.5 \text{ м/хв} \quad (1.49)$$

Визначаємо поздовжню подачу [3,с.301,т.55]: $S=(0.4-0.7)U$ мм/об

де U – ширина кола;

$$S=0.5 \cdot 50 = 25 \text{ мм/об}$$

Визначаємо поперечну подачу: $S_{п.п.}=0.0025$ мм/об.

Визначаємо довжину робочого ходу за формулою (1.50):

$$L_{р.х.}=l_{ш} - \frac{1}{3} \cdot B = 90 - \frac{1}{3} \cdot 50 = 73.33 \text{ мм} \quad (1.50)$$

Потужність при шліфуванні за формулою (1.51):

$$N = C_N \cdot V_o^r \cdot t^z \cdot S^y \cdot d^q \quad (1.51)$$

де C_N , q , y , x , r - коефіцієнт і показники ступені [3,с.303,т.56];

$$q = 0.3; \quad y = 0.4; \quad C_N = 0.3; \quad x = 0.4, \quad r = 0.35$$

$$N = 0.3 \cdot 40.5^{0.35} \cdot 25^{0.4} \cdot 0.0025^{0.4} \cdot 71.685^{0.3} = 1.30 \text{ кВт}$$

Визначаємо машинний час за формулою (1.52):

$$t_M = \frac{L_{\text{раб.х.}} \cdot (Z + 0.01) \cdot K}{S_{\text{nn}} \cdot S_{\text{np}} \cdot n_d} \quad (1.52)$$

де $Z=0.91$ мм – припуск, мм;

$K=1.5$ – коефіцієнт виходжування;

$$t_M = \frac{73.33 \cdot (0.91 + 0.01) \cdot 1.5}{0.0025 \cdot 25 \cdot 180} = 9.0 \text{ хв}$$

1.7 Технічне нормування операцій

Операція 035 токарна.

1. Визначаємо допоміжний час: $t_{y.c} = 0.32$ хв [3,с.140,т.52]

Час на включення верстата кнопкою 0.01хв [4,с.204,т.5.8].

Час на переміщення каретки супорта в поздовжньому напрямку на довжину 300мм рівно 0.09 хв [4,с.205,т.5.9].

Тоді за формулою (1.53):

$$t_{y.n} = 0.01 + 0.09 = 0.10 \text{ хв} \quad (1.53)$$

Час на вимір деталі [5,с.160] визначаємо за формулою (1.54):

$$t_{\text{вим.}} = 0.07 \cdot 2 + 0.07 + 0.11 \cdot 2 + 0.19 + 0.16 = 0.78 \text{ хв} \quad (1.54)$$

Поправочний коефіцієнт на допоміжний час при серійному виробництві $K=1.85$

Визначаємо норму допоміжного часу за формулою (1.55):

$$t_{\text{доп.}} = (t_{\text{вст.зн}} + t_{\text{кер}} + t_{\text{пр.рух}}) \cdot k \quad (1.55)$$
$$t_{\text{доп.}} = (0.32 + 0.10 + 0.78) \cdot 1.85 = 2.22 \text{ хв}$$

Визначаємо оперативний час за формулою (1.56):

$$\begin{aligned} t_{\text{оп}} &= t_{\text{о}} + t_{\text{доп}} \\ t_{\text{оп}} &= 2.34 + 2.22 = 4.56 \text{ хв} \end{aligned} \quad (1.56)$$

Час на обслуговування робочого місця й відпочинок [5,с.136,к.49]:
 $P_{\text{обс.отд}} = 8 \%$;

$$T_{\text{обс}} + T_{\text{отд}} = T_{\text{оп}} \cdot \frac{P_{\text{обс.отд}}}{100} = 4.56 \cdot \frac{8}{100} = 0.36 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час за формулою (1.57):

$$\begin{aligned} t_{\text{шт}} &= t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \\ t_{\text{шт.}} &= 4.56 + 0.36 = 4.92 \text{ хв} \end{aligned} \quad (1.57)$$

Визначаємо підготовчо-заключний час за формулою (1.58):

$$t_{\text{п.з}} = t_{\text{п.з1}} + t_{\text{п.з2}} \quad (1.58)$$

Час на налагодження верстата, інструмента й пристосувань (при установці в центрах) – 12хв.

Час на додаткові приймання:

- установка копіра – 6 хв;
- одержання інструмента й пристосувань до початку й здача після закінчення обробки – 7хв.

$$t_{\text{п.з}} = 12 + 6 + 7 = 25 \text{ хв}$$

Визначаємо $T_{\text{шт.к}}$ за формулою (1.59):

$$T_{\text{шт.к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п.з.}}}{n} = 4.92 + \frac{25}{40} = 5.55 \text{ хв} \quad (1.59)$$

Операція 075 фрезерна.

Визначаємо допоміжний час: $t_{y.c} = 0.11 + 0.097 = 0.207 \text{ хв}$

Час на установку й зняття деталі в спеціальному пристосуванні – 0.11 хв [4,с.200,т.5.6].

Час на закріплення й відкріплення деталі – 0.097 хв [4,с.202,т.5.7].

Час на включення верстата – 0.01хв [4,с.204,т.5.8].

Час на поворот ділильного пристосування на одну позицію – 0.04хв [5,с.442,к.64].

Час на включення й вимикання охолодження – 0.04хв.

Визначаємо $t_{y.п}$ за формулою (1.53):

$$t_{y.п} = 0.01 + 0.04 \cdot 12 + 0.04 = 0.53 \text{ хв}$$

1.3.Час на вимір деталі (дод 5.14, стор.208,[4]) [4,с.208,т.5.14]:

$$t_{изм.} = 0.07 + 0.07 + 0.09 = 0.23 \text{ хв}$$

Визначаємо норму допоміжного часу за формулою (1.55):

$$t_{доп} = (0.207 + 0.53 + 0.23) \cdot 1.85 = 1.79 \text{ хв}$$

Визначаємо оперативний час за формулою (1.56):

$$t_{оп} = t_{м} + t_{в} = 3.12 + 1.79 = 4.91 \text{ хв}$$

Час на обслуговування робочого місця й відпочинок [5,с.136,к.49]:
 $P_{обс.отд} = 8 \%$;

$$T_{обс} + T_{отд} = T_{оп} \cdot \frac{P_{обс \cdot отд}}{100} = 4.91 \cdot \frac{8}{100} = 0.39 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою (1.57):

$$t_{шт.} = 4.91 + 0.39 = 5.3 \text{ хв}$$

Визначаємо підготовчо-заклучний час за формулою (1.58).

Час на налагодження верстата, інструмента й пристосувань (при установці на столі із кріпленням) – 16хв.

Час на додаткові приймання: одержання інструмента й пристосувань до початку й здача після закінчення обробки – 7хв.

$$t_{п.з} = 16 + 7 = 23 \text{ хв}$$

Визначаємо $T_{шт.к}$ за формулою (1.59):

$$T_{шт.к} = 5.3 + \frac{23}{40} = 5.88 \text{ хв.}$$

Операція 105 шліфувальна.

Визначаємо допоміжний час: $t_{y.c} = 0.15 \text{ хв}$ [4,с.197,т.5].

Час на включення верстата кнопкою рівно 0.01хв [4,с.204,т.5.8].

Час на підведення шліфувального круга до деталі до появи іскри в поздовжньому напрямку й відвід його – 0.02 хв [4,с.203,т.5.8].

Тоді: $t_{y.п} = 0.01 + 0.02 = 0.03 \text{ хв.}$

Час на вимір деталі глибиноміром 0.27 хв [4,с.209,т.5.16].

Час на вимір биття двох поверхонь деталі – 0.11хв [4,с.209,т.5.16].

Тоді: $t_{изм.} = 0.2 + 0.3 = 0.50 \text{ хв.}$

Визначаємо норму допоміжного часу за формулою (1.55):

$$t_{доп.} = (0.15 + 0.03 + 0.50) \cdot 1.85 = 1.26 \text{ хв}$$

Визначаємо оперативний час за формулою (1.56):

$$t_{оп} = t_m + t_b = 38.97 + 1.26 = 40.23 \text{ хв}$$

Технічне обслуговування робочого місця за формулою (1.60):

$$T_{тех.} = \frac{T_o \cdot t_n}{T} \quad (1.60)$$

де T_o – основний час, хв;

t_n – час виправлення шліфувального круга, хв;

$T = 17 \text{ хв}$ - період стійкості інструмента, хв.

Час на одне виправлення шліфувального круга алмазно-металевим олівцем: $t_n = 1.2 \text{ хв}$ [4,с.211,т.5.19].

$$T_{тех.} = \frac{38.97 \cdot 1.2}{17} = 2.75 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця й відпочинок: $P_{орг} = 2 \%$; [4,с.213,т.5.21]:

$$T_{\text{орг}} = T_{\text{оп}} \cdot \frac{P_{\text{орг}}}{100} = 40.23 \cdot \frac{2}{100} = 0.81 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби: $P_{\text{орг}} = 5 \% [4, \text{с.215, т.6.2}]$.

$$T_{\text{отд}} = T_{\text{оп}} \cdot \frac{P_{\text{отд}}}{100} = 40.23 \cdot \frac{5}{100} = 2.01 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою (1.57):

$$t_{\text{шт.}} = 40.23 + 2.75 + 0.81 + 2.01 = 45.8 \text{ хв}$$

Визначаємо $t_{\text{п.з.}}$:

Час на налагодження верстата, інструмента й пристосувань (при установці в самоцентрувальному патроні) – 7хв.

Визначаємо $T_{\text{шт.к}}$ за формулою (1.59):

$$T_{\text{.шт.к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п.з.}}}{n} = 45.8 + \frac{7}{40} = 45.98 \text{ хв}$$

Операція 125 свердлильна.

Визначаємо допоміжний час: $t_{\text{у.с}} = 0.13 \text{ хв} [4, \text{с.199, т.5.6}]$.

Час на включення верстата кнопкою - 0.01хв [4,с.202,т.5.8].

Поставити кондукторну втулку й зняти - 0.05хв [4,с.202].

Підвести й відвести свердел – 0.02хв, розвертку – 0.02хв, зенкер – 0.04хв.

Тоді: $t_{\text{у.п}} = 0.01 + 0.05 + 2 \cdot 0.02 + 3 \cdot 0.02 + 3 \cdot 0.04 = 0.28 \text{ хв.}$

Час на вимір деталі [4,с.206,т.5]: $t_{\text{изм.}} = 0.12 + 3 \cdot 0.22 + 0.16 + 0.04 = 0.98 \text{ хв.}$

Визначаємо норму допоміжного часу за формулою (1.55):

$$t_{\text{всп.}} = (0.13 + 0.28 + 0.98) \cdot 1.85 = 2.57 \text{ хв}$$

Визначаємо оперативний час за формулою (1.56):

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{м}} + t_{\text{в}} = 6.57 + 2.57 = 9.14 \text{ хв}$$

Час на обслуговування робочого місця й відпочинок [4,с.202,т.6.1]:
 $P_{\text{обс.отд}} = 6 \%$:

$$T_{\text{обс}} + T_{\text{отд}} = T_{\text{оп}} \cdot \frac{P_{\text{обс.отд}}}{100} = 9.14 \cdot \frac{6}{100} = 0.55 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою (1.57):

$$T_{\text{шт.}} = 9.14 + 0.55 = 9.69 \text{ хв}$$

Визначаємо $T_{\text{п.з}}$ за формулою (1.58).

Час на налагодження верстата, інструмента й пристосувань (при установці на столі із кріпленням) – 6хв.

Час на додаткові приймання:

- одержання інструмента й пристосувань до початку й здача після закінчення обробки – 7хв.

$$t_{\text{п.з}} = 6 + 7 = 13 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час за формулою (1.57):

$$T_{\text{.шт.к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п.з.}}}{n} = 9.69 + \frac{13}{40} = 10.02 \text{ хв}$$

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК

Для побудови траєкторій і написання програм для трьох опера (токарної, свердлильної, фрезерної) використовуємо програмне забезпечення NX CAM.

NX CAM – це система автоматизованої розробки керуючих програм для верстатів з ЧПК (числовим програмним керуванням) від компанії Siemens PLM Software. Програма має широкий набір вбудованих засобів автоматизації – від майстрів і шаблонів до можливостей програмування обробки типових конструктивних елементів. Генератор програм ЧПК включає в

себе стратегії обробки, призначені для створення програм з мінімальною участю інженера.

Після побудови моделі деталі створюємо траєкторії для кожної з операції. Для токарної операції траєкторію з інструментом зображено на рисунку 1.10. Програму для даного переходу зображено на рисунку 1.11.

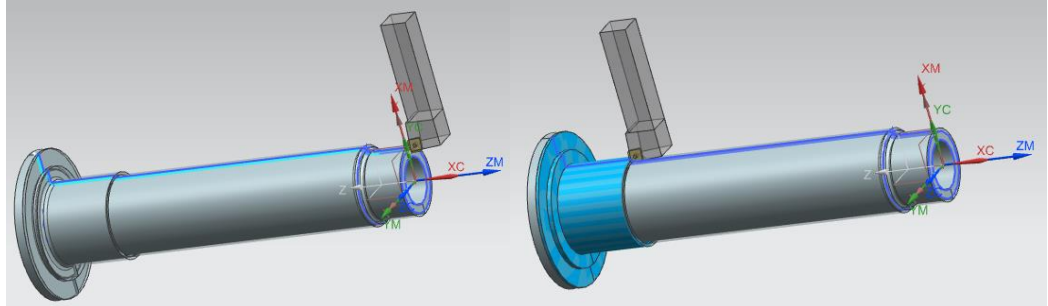


Рисунок 1.10 – Ескіз обробки для токарної операції 035

```
%
N0010 G94 G90 G20
N0020 G50 X0.0 Z0.0
:0030 T00 H00 M06
N0040 G94 G00 X1.2798 Z.1024
N0050 G95 G02 X1.3654 Z-.0002 I.0941 K-.0085 F.0276
N0060 G03 X1.4173 Z-.0571 I-.0052 K-.0569
N0070 G97 S0 M03
N0080 G01 Z-1.8438
N0090 G02 X1.5146 Z-1.9839 I.1496 K0.0
N0100 G03 X1.6732 Z-2.2126 I-.0854 K-.2287
N0110 G01 Z-13.937
N0120 X1.7146
N0130 G03 X1.7717 Z-13.9941 I0.0 K-.0571
N0140 G01 Z-16.7795
N0150 G02 X1.9606 Z-16.9685 I.189 K0.0
N0160 G01 X2.2715
N0170 G03 X2.3119 Z-16.9852 I0.0 K-.0571
N0180 G01 X2.3455 Z-17.0188
N0190 G03 X2.3622 Z-17.0592 I-.0404 K-.0404
N0200 G01 Z-17.1654
N0210 X3.1909
N0220 G03 X3.2478 Z-17.2173 I0.0 K-.0571
N0230 G02 X3.3504 Z-17.3029 I.0941 K.0085 F.0394
N0240 M02
%
```

Рисунок 1.11 – Програма для токарної операції 035

Для фрезерної операції траєкторію з інструментом зображено на рисунку 1.12. Програму для даного переходу зображено на рисунку 1.13.

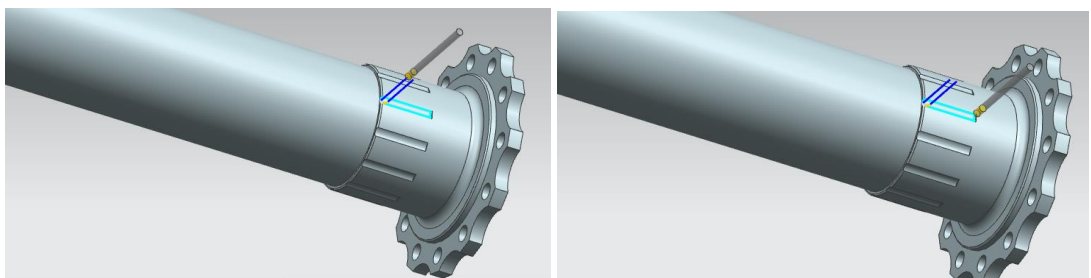


Рисунок 1.12 – Ескіз обробки для фрезерної операції 075

```

%
N0010 G40 G17 G90 G70
N0020 G91 G28 Z0.0
:0030 T00 M06
N0040 G0 G90 X.0906 Y14.0785 S0 M03
N0050 G43 Z3.3127 H00
N0060 Z1.8954
N0070 G1 Z1.8612 F9.8 M08
N0080 X.091 Y14.0742 Z1.8358
N0090 X.0918 Y14.0635 Z1.8125
N0100 X.093 Y14.0471 Z1.7927
N0110 X.0945 Y14.0262 Z1.7779
N0120 X.0963 Y14.0022 Z1.7689
N0130 X.0982 Y13.9766 Z1.7666
N0140 X.0988 Y13.9682 Z1.7669
N0150 X.0953 Y13.965 Z1.7649
N0160 X.0865 Y13.9547 Z1.7602
N0170 X.0828 Y13.951 Z1.7584
N0180 X.0752 Y13.9481 Z1.7549
N0190 X.0667 Y13.9453 Z1.7514
N0200 X.0432 Y13.9415 Z1.7436
N0210 X.0195 Y13.9394 Z1.7384
N0220 X.0008 Y13.939 Z1.7359
N0230 X-.0281 Y13.9404 Z1.7399
N0240 X-.0518 Y13.9434 Z1.7462
N0250 X-.0751 Y13.9482 Z1.7549
N0260 X-.0835 Y13.951 Z1.7588
N0270 X-.0876 Y13.9556 Z1.7608
N0280 X-.0955 Y13.9656 Z1.765
N0290 X-.0988 Y13.969 Z1.7669
N0300 X-.0982 Y13.9766 Z1.7666
N0310 X-.0983 Y15.4878 Z1.7667

```

Рисунок 1.13 – Програма для фрезерної операції 075

Для свердлильної операції траєкторію з інструментом зображено на рисунку 1.14. Програму для даного переходу зображено на рисунку 1.15.

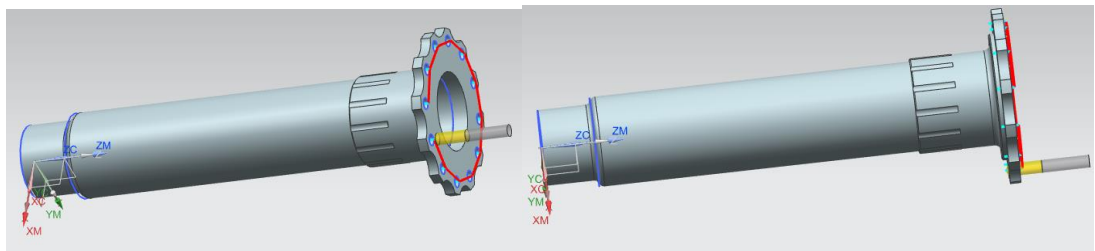


Рисунок 1.14 – Ескіз обробки для свердлильної операції 125

```

%
N0010 G40 G17 G94 G90 G70
N0020 G91 G28 Z0.0
:0030 T00 M06
N0040 G0 G90 X2.3867 Y-1.378 B0.0 S0 M03
N0050 G43 Z17.6772 H00
N0060 G1 Z17.0234 F9.8 M08
N0070 G0 Z17.6772
N0080 X2.7559 Y0.0
N0090 G1 Z17.0234
N0100 G0 Z17.6772
N0110 X2.3867 Y1.378
N0120 G1 Z17.0234
N0130 G0 Z17.6772
N0140 X1.378 Y2.3867
N0150 G1 Z17.0234
N0160 G0 Z17.6772
N0170 X0.0 Y2.7559
N0180 G1 Z17.0234
N0190 G0 Z17.6772
N0200 X-1.378 Y2.3867
N0210 G1 Z17.0234
N0220 G0 Z17.6772
N0230 X-2.3867 Y1.378
N0240 G1 Z17.0234
N0250 G0 Z17.6772
N0260 X-2.7559 Y0.0
N0270 G1 Z17.0234
N0280 G0 Z17.6772
N0290 X-2.3867 Y-1.378
N0300 G1 Z17.0234

```

Рисунок 1.15 – Програма для свердлильної операції 125

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Пристосування призначене для надійної орієнтації деталі – вала турбіни компресора двигуна АИ – 24 на горизонтально-протяжному верстаті моделі 7Б57 при протяганні внутрішніх евольвентних шліців: модуль: $m=2\text{мм}$, число зубів: $z=28$, довжиною $l=56\text{ мм}$ - операція 050. Креслення пристосування представлене в графічній частині дипломного проекту.

Усі базові й силові елементи пристосування змонтовані на плиті 10, за допомогою якої воно кріпиться на верстаті. Спочатку виконання операції деталь установлюється на горизонтальну призму 3, при цьому, вільний кінець вала $\varnothing 74$ уводиться в отвір опорної втулки 7, з упором в опорний торець А.

Необхідна орієнтація вала з надійною його фіксацією до обробки й у її процесі, забезпечується пневматичним клиновим затискачем за допомогою рухливих горизонтальних призм 4. При цьому сила затискача від пневмопривода 1, передається через коромисло 8 на два вертикальні штоки 13 з клиновими вирізами під кутом 15° . Вертикальні штоки змонтовані в 2-х напрямних кронштейнах 9. Кожний зі штоків перебуває в контакті з роликами 12. Ролики у свою чергу, з'єднані з горизонтальними повзунами 11, до яких кріпляться за допомогою шарнірних з'єднань горизонтальні призми, що орієнтують 4.

Пневмопривод стандартний ГОСТ 15608-81, з діаметром поршня – $D = 80\text{мм}$ і робочим ходом – $l = 50\text{мм}$, кріпиться в нижній частині пристосування.

Пристосування може бути уніфіковане, тобто використовуватися для подібних операцій шляхом незначного переналагодження – заміни базової втулки 7.

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність

Оброблену деталь установлюємо фланцем діаметром $\varnothing 85.1_{-0.07}$ у паз втулки пристосування діаметром $\varnothing 85.1^{+0.24}$ Розглянемо схему установки деталі в пристосуванні й проаналізуємо можливі погрішності, що виникають при

установці деталі в пристосуванні й при обробці шліц. Схема установки деталі в пристосуванні показана на рисунку 2.1.

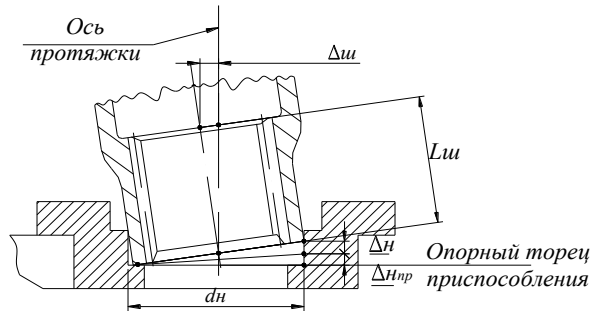


Рисунок 2.1 – Схема установки деталі в пристосуванні

Похибку установки заготовки в пристосування розраховуємо за формулою (2.1):

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} \quad (2.1)$$

де ε_y – різниця граничних відхилень вимірювальної бази відносно встановленого на розмір ріжучого інструменту, яка виникає в процесі базування та закріплення заготовки, мм;

ε_6 – частина похибки установки, яка виникає в результаті розбіжності вимірювальної та настроєчної баз, мм;

ε_3 – частина похибки установки, яка виникає в результаті відхилення вимірювальної бази відносно встановленого на розмір ріжучого інструменту під дією прикладених сил закріплення, мм.

Визначаємо похибку базування $\varepsilon_6 = T_{dl} = 0,63$ мм.

Оскільки напрямки сили закріплення та розміру обробки співпадають, то необхідно враховувати похибку закріплення $\varepsilon_3 \text{ табл} = 0,11$ мм [6, с.50, т. 4.7].

$$\varepsilon_y = \sqrt{0,63^2 + 0,11^2} = 0,64 \text{ мм}$$

За даними креслення готової деталі:

1. Погрішність обробки – биття шліців по профілях щодо базової поверхні „Г” і „Л” не більш 0.05мм.

2. Погрішність базової поверхні деталі: неперпендикулярність торця діаметром Ø73.52 щодо осі 0.02мм.

Розрахунки пристосування на точність полягає у визначенні допуску на неперпендикулярність настановної поверхні пристосування діаметр Ø73.52-0.3 щодо осі пристосування.

Становимо пропорцію (2.2):

$$\frac{\Delta_{н.т.} + \Delta_{н.пр.}}{D_в} \leq \frac{\Delta_{ш}}{L_{ш}} \quad (2.2)$$

де $\Delta_{н.т.} = 0.01\text{мм}$ – неперпендикулярність торця вала;

$\Delta_{н.пр.}$ – неперпендикулярність опорної поверхні пристосування;

$L_{ш} = 56\text{мм}$ – довжина шліців;

$\Delta_{ш} = 0.05\text{мм}$ – допуск на перекіс шліців на довжині $L_{ш}$.

$$\Delta_{н.пр.} \leq \Delta_{ш} \frac{D_в}{L_{ш}} - \Delta_{н.т.}$$

$$\Delta_{н.пр.} \leq 0.05 \frac{73.52}{56} - 0.02$$

$$\Delta_{н.пр.} \leq 0.04$$

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу

Сили, що діють на вал, повинні забезпечити надійне горизонтальне положення його до протягання.

При виборі стандартного пневмопривода з діаметром поршня (циліндра) $D=80\text{мм}$, і діаметром штока $d=25\text{мм}$ і мінімально припустимому тиском повітря в мережі $P_0=4 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, одержуємо зусилля на штоку – Q за формуло (2.3):

$$Q = F \cdot P_0 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot P_0 \quad (2.3)$$

де F – корисна площа поршня, мм²;

D – діаметр циліндра, мм;

d – діаметр штока, мм.

$$Q = \frac{\pi}{4} (8^2 - 2.5^2) \cdot 4 = 181 \text{ кгс}$$

На кожному штоку вона буде у два рази менше, тобто $\frac{Q}{2} = 90.5 \text{ кгс}$

Як видно на рисунку 2.2, де повзун сприймає силу P – горизонтальну складову сили $\frac{Q}{2}$ – після трансформації її в клиновому затискачі за формулою (2.4):

$$P = \frac{Q}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (2.4)$$

де α – кут нахилу клинового вирізу в штоку й рівний 15° .

$$P = \frac{181}{2 \cdot 0.3} = 302 \text{ кгс}$$

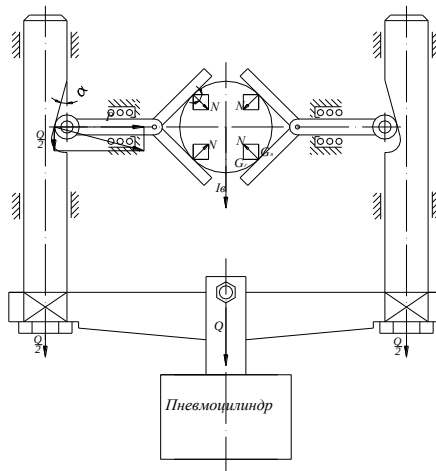


Рисунок 2.2 – Схема для розрахунків сили затискача

Вал сприймає силу за формулою (2.5):

$$R = P - P_{\text{пр}} \quad (2.5)$$

де $P_{\text{пр}}$ – сила опору пружин, кгс.

Знаходимо її абсолютну величину при наступних розмірах:

$d_{\text{пр}}=5\text{мм}$ – діаметр дроту;

$D_{\text{пр}}=55\text{мм}$ – зовнішній діаметр пружини;

$D_{\text{ср}}=50 \text{ мм}$ – середній діаметр пружини;

$t=6.2\text{мм}$ – крок пружини в стислому стані;

$t=14\text{мм}$ – крок пружини у вільному стані.

Визначаємо максимально припустимий опір пружини – $P_{\text{пр}}$ із умови міцності матеріалу за формулою (2.6):

$$P_n = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \tau}{8 \cdot D_{cp} \cdot k} \quad (2.6)$$

де $\tau = 71 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$ – припустиме дотичне напруження;

k – коефіцієнт, що характеризує співвідношення розмірів.

$$k = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0.615}{c}$$

$$c = \frac{D_{cp}}{d} = \frac{50}{5} = 10$$

при $z=10$:

$$k = \frac{4 \cdot 10 - 1}{4 \cdot 10 - 4} + \frac{0.615}{10} = 1.145$$

У цьому випадку: $P_n = \frac{\pi \cdot 5^3 \cdot 71}{8 \cdot 50 \cdot 1.145} = 60.9 \text{ кгс}.$

Визначаємо силу, необхідну для стиску пружини до зіткнення витків, тобто її опір за формулою (2.7) :

$$P_{np} = 1000 \cdot \frac{d^4}{(D - d)^3} \cdot (t - d) = 1000 \cdot \frac{5^4}{(55 - 5)^3} \cdot (14 - 5) = 45 \text{ кгс} \quad (2.7)$$

Отже, сила не перевищує припустиму з умови міцності.

З урахуванням опору пружини горизонтальна складова від одного штока, що діє на вал, буде рівна:

$$R = P - P_{np} = 302 - 45 = 257 \text{ кгс}$$

Її вертикальна складова – G_v , і горизонтальна – G_r , у кожній крапці контакту призми з валом при обліку кута $\alpha_1=90$, будуть рівні:

$$G_r = G_v = \frac{R}{2} = \frac{257}{2} = 128.5 \text{ кгс}$$

Нормальна сила, що діє в кожній крапці на вал, буде рівна:

$$N = \frac{G_v}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{128.5}{0.71} = 181.7 \text{ кгс}$$

Для надійної фіксації вала на верстаті в робочім положенні необхідно дотримувати умов (2.8):

$$M_{\text{закр}} \geq 1.3M_{\text{Гр}} \text{ або } 2 \cdot G_{\text{в}} \cdot l_2 \geq 1.3 \cdot G \cdot l_1 \quad (2.8)$$

де $G_{\text{в}}=128.5\text{кгс}$;

$l_1 = 270\text{мм}$ – відстань від центру маси до базового торця вала – А при протяганні;

$G = 8.2\text{кг}$ – маса вала до протягання;

$l_2 = 200\text{мм}$ – місце додатка сили затискача;

$$2 \cdot 128.5 \cdot 200 \geq 1.3 \cdot 8.2 \cdot 270$$

$51.40 \geq 2.88$, умова дотримується й таким чином, вал буде надійно зафіксований на верстаті в робочому положенні.

2.2 Проектування контрольного пристосування

Швидко переналагоджуване контрольне пристосування має широкі технологічні можливості, призначене для перевірки радіального і торцевого биття східчастих валів щодо базових елементів конструкції – звичайно посадкових поверхонь під підшипники.

Креслення пристосування представлено в графічній частині дипломного проекту.

Основним елементом пристосування є плита, на якій змонтовані:

- дві рухливі по довжині плити призми;
- упор, що фіксує вал в осьовому напрямку;
- рухлива уздовж плити стійка – частини, що реєструє, пристосування, на якій устаноується горизонтальна консоль із контактним датчиком або індикаторним годинником.

Пристосування настраується по довжині конкретної деталі переміщенням рухливих призм і упору таким чином, щоб вісь його була паралельна поверхні плити, що перевіряється переміщенням вимірювальної стійки з індикаторним годинником уздовж утворюючої будь-якої циліндричної поверхні вала. Призми фіксуються кріпильними гвинтами, головки яких перебувають у Т-образному пазу плити. Після забезпечення паралельності, за допомогою регулювальної гайки призми фіксуються контровочним гвинтом.

Плавне переміщення вимірювальної стійки уздовж плити забезпечується ходовим гвинтом – при відпущеному фіксаторі.

Після установки вимірювальної стійки в необхідне положення, вона фіксується гайкою.

Робоче й неробоче положення вимірювальної горизонтальної консолі визначається кульковими фіксаторами. Фіксація її в робочім положенні при вимірі здійснюється гайкою на вертикальній колонці частини, що реєструє.

Погрішність базування складається із трьох складових.

Для їхнього з'ясування припустимо, що на призму по черзі встановлено два вали з партії: один з найбільшим граничним діаметром $D_{\max}$, іншої з найменшим $D_{\min}$, і послідовно визначимо:

1. Відстань Δh_1 між верхніми утворюючими валів;
2. Відстань Δh_2 між них нижніми утворюючими;
3. Відстань Δh між їхніми осями.

Ці відстані й будуть погрішностями базування.

З геометричних побудов:

$$\varepsilon_{h_1} = \Delta h_1 = AB_1 - AB_2 = \frac{D_{\max}}{2} + \frac{D_{\max}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} - \left(\frac{D_{\min}}{2} + \frac{D_{\min}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right) = \frac{(D_{\max} - D_{\min}) \left(1 + 2 \sin \frac{\alpha}{2} \right)}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = k \delta_D$$

аналогічно:

$$\varepsilon_{h_2} = \Delta h_2 = k_2 \delta_D$$

$$\varepsilon_h = \Delta h = k \delta_D$$

Для призми $\alpha = 90^\circ$ погрішності базування рівні:

$$\varepsilon_{h_1} = 1,21 \delta_D = 1,21 \cdot 0,02 = 0,0242 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{h_2} = 0,21 \delta_D = 0,21 \cdot 0,02 = 0,0042 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_h = 0,7 \delta_D = 0,7 \cdot 0,02 = 0,014 \text{ мм}$$

Сумарна погрішність базування буде рівна:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{0,0242^2 + 0,0042^2 + 0,014^2} \approx 0,001 \text{ мм}$$

Отже, $0,001 \text{ мм} < 0,02 \text{ мм}$ – умова точності виконана таким чином пристосування забезпечує задану точність.

Очікувана погрішність становить $0,001 \text{ мм}$

3 АТОМАТИЗАЦІЯ. ЦИКЛІЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЗОТС У ВЕРСТАТАХ З ЧПК, БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТАХ, ОБРОБНИХ ЦЕНТРАХ. АВТОМАТИЧНЕ ОЧИЩЕННЯ, СЕПАРУВАННЯ ЗОТС

Щоб запобігти перегріву металевих деталей при механічній обробці, для збереження структури застосовують змащувальні і охолоджуючі технічні рідини (рисунок 3.1). З розвитком таких операцій, як різання, штампування, пресування, в масовому і серійному виробництвах підприємств, використання цих рідин досягло промислових масштабів. Сформувалася ціла підгалузь, що охоплює етапи циклу «виготовлення - утилізація» ЗОТС. Оскільки готуються ці рідини на базі нафтових масел, синтетичних сполук і водно-жирових емульсій, їх кругообіг має відбуватися з дотриманням екологічних норм [8].



Рисунок 3.1 – Використання ЗОТС при обробці на верстаті

Сучасні ЗОТС для обробки металів являють собою складні багатокомпонентні системи органічних і неорганічних речовин (емульгаторів, інгібіторів корозії, біоцидів) у воді, органічних середовищах і їх сумішах, що характеризуються високою кінетичної і термодинамічної стійкістю, що значно ускладнює очищення від них традиційними методами. Для правильного підбору технології очищення рекомендується робити аналіз хімічного складу ЗОТС.

Хімічна і фізична стійкість ЗОТС дозволяє організувати її циклічне використання з регулярним відновленням первинних властивостей. Воно полягає в:

- механічному очищенню від твердих включень;
- нейтралізації окиснювачів;
- знезараженні;

- біологічному очищенні.

Класифікація засобів очищення ЗОТС:

- 1) фільтрація за допомогою фільтрів;
- 2) гравітаційний метод за допомогою відстоювачів;
- 3) відцентровий за допомогою гідроциклонів, центрифуг, відцентрових сепараторів;
- 4) магнітний за допомогою магнітного сепаратора(рисунок 3.4), патрона, уловлювача;
- 5) флотаційний (флотатори) [9].

Повторне використання ЗОТС, завдяки очищенню її від дрібних магнітних частинок в суміші з абразивними або іншими немагнітними частинками є важливою задачею. Це дозволяє знизити витрати на її закупівлю.

Система фільтрації (рисунок 3.2) розташовується біля кожної одиниці обладнання, фільтруючи брудну рідину тільки для однієї одиниці обладнання, наприклад для верстата, мийної машини або ванни промивки деталей. Продуктивність систем для стаціонарної фільтрації рідин від 1 л/хв до 600 л/хв, при чистоті очищення від 3 до 150 μm в залежності від поставленого завдання.

Зазвичай, на підприємствах використовується найпростіший спосіб фільтрації паперово-смуговим фільтром. При цьому даний метод має тільки одне позитивне якість - це ціна в момент покупки устаткування, але список недоліків, які негативно впливають на виробничий процес у даного фільтра набагато більше.

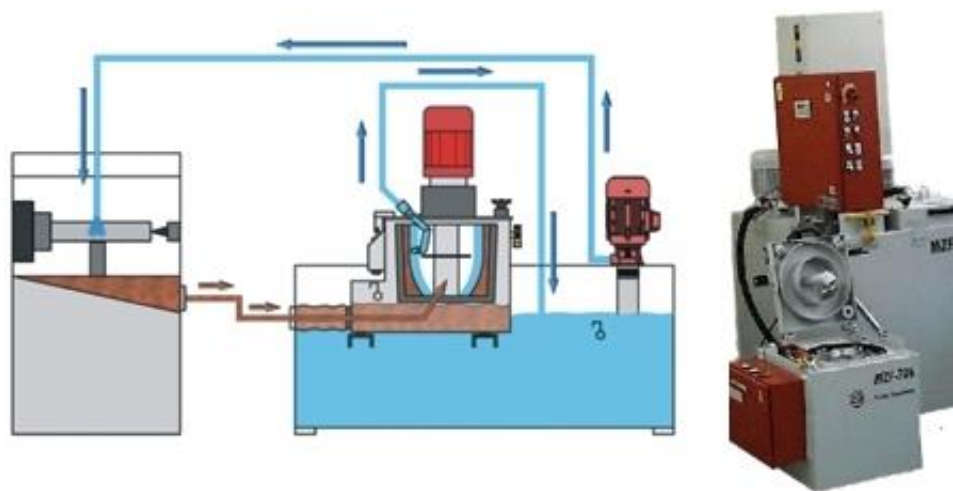


Рисунок 3.2 – Фільтрація ЗОТС на установці MZF-T10

Гравітаційне очищення базується на осаджуванні твердих частинок під дією сил тяжіння. Осаджування відбувається в пристроях періодичної чи постійної дії, які мають назву відстійники [9].

Відцентрове очищення (рисунок 3.3) – це розділення твердих і рідких фаз під дією відцентрових сил. Воно відбувається у гідроциклонах, які застосовують при очищенні водних ЗОТС при шліфуванні та у центрифугах. Останні, в свою чергу бувають осаджуючі та фільтруючі.



Рисунок 3.3 – Відцентровий сепаратор Alfie 500

Сепаратор магнітний (рисунок 3.4) призначений для високоякісного видалення феромагнітного матеріалу з направленої рідини.

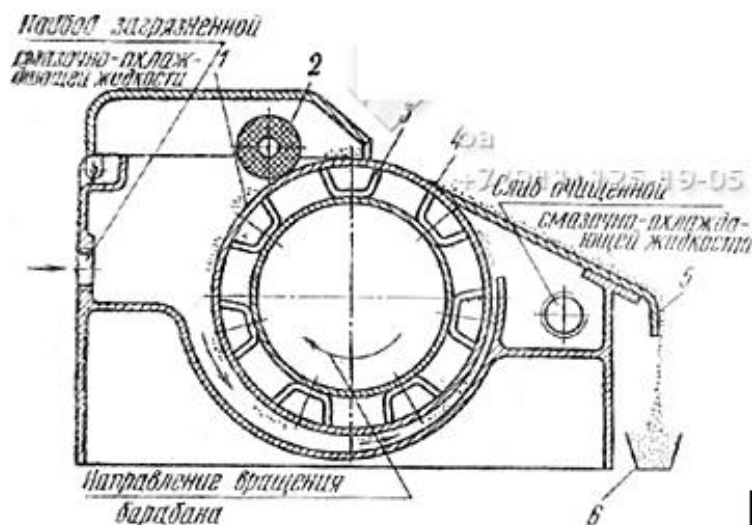


Рисунок 3.4 – Магнітний сепаратор типу СМА

Застосування магнітного сепаратора дає можливість підвищити чистоту обробки поверхні деталей; багаторазово використовувати охолоджуючі рідини на шліфувальних, хонінгувальних і інших доводочних верстатах, робочим інструментом яких є абразивний матеріал; звільнити робітників від операцій з очищення відстійників від бруду.

Магнітний сепаратор очищує частинки об'ємом до 3 мм^3 таких матеріалів, як сталь (крім немагнітних), чавун (крім немагнітних), інших магнітних металів, суміші магнітних частинок з немагнітними, забезпечує очищення водних емульсій на основі мінеральних масел (96,5% води і 3,5% емульсолів), в'язкість яких $1 \text{ мм}^2/\text{с}$ в інтервалі температур від 5 до 65°C при температурі навколишнього середовища від 1 до 40°C . Допускається очищення масляних, синтетичних та інших рідин, в'язкість яких до $75 \text{ мм}^2/\text{с}$ [9].

Магнітні сепаратори можна застосовувати як самостійний пристрій, так і в комплекті з іншими пристроями в установках очищення ЗОТС.

Очищення знежирювальних розчинів економить час і кошти. Безперервна очищення миючих рідин методом високошвидкісної відцентрової сепарації продовжує їх термін служби майже в шість разів, забезпечуючи при цьому величезну економію на їх заміну. Також значно скорочуються витрати, пов'язані з утилізацією забруднених рідин і фільтрів.

Чисте масло і очищені від твердих включень технологічні рідини сприяють підвищенню якості продукції. Вони також забезпечують більш тривалий термін служби, зменшують металеві відходи виробництва і витрати на усунення браку, а також зводять до мінімуму додаткові витрати часу на подальших операціях. Окрім цього, знижуються витрати на придбання обладнання і на утилізацію відходів, зменшується кількість браку, скорочується обсяг ручної роботи при митті резервуарів і збільшується час безвідмовної роботи виробничих систем [9].

Також одним з методів повторного використання ЗОТС є регенерація емульсій. Регенерація відбувається у замкнених системах, коли певна кількість рідини циркулює по системі забезпечення верстата і поступово відбувається відновлення її властивостей. Схему регенерації зображено на рисунку 3.5 [9].

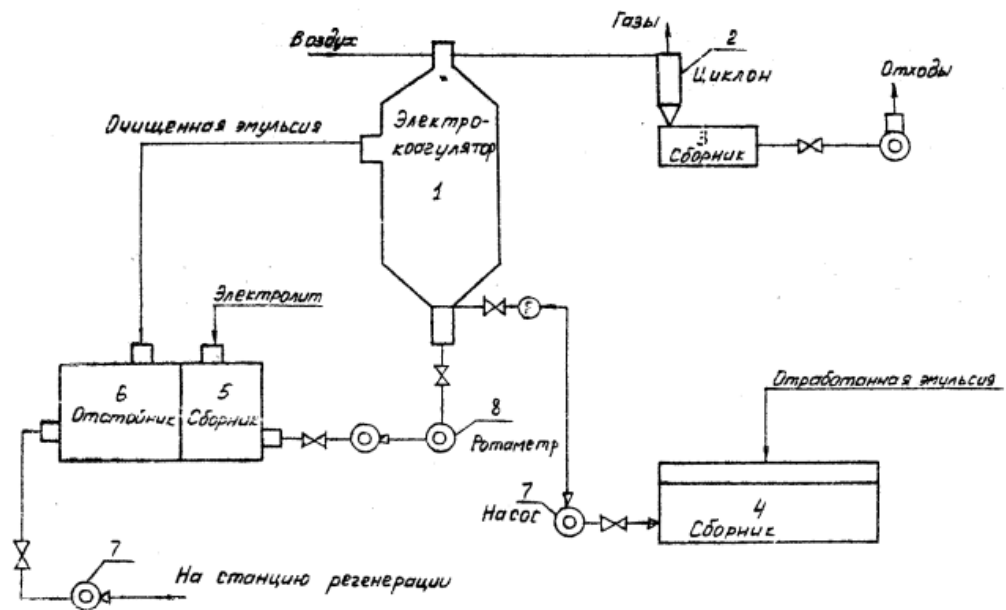


Рисунок 3.5 – Схема регенерации ЗОТС

Для верстатів, які було використано в дипломному проекті буде рекомендовано використовувати самоочисний фільтр барабанного типу серії СПРІНГ укомплектований фільтруючою мембраною, закріпленою на барабані. Вони служать для фільтрації масла і емульсій, забруднених магнітними і немагнітними частинками. Серія фільтрів мастильно-охолоджувальної рідини СПРІНГ складається з семи моделей і покриває діапазон продуктивності для чистого масла від 25 до 600 л/хв і від 50 до 1200 л/хв для емульсій. Весь процес фільтрації ЗОТС повністю автоматичний.

4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

4.1 Визначення напружено деформованого стану деталі

Напружено-деформований стан – це сукупність напружень і деформацій, що виникають при дії на матеріальне тіло зовнішніх навантажень, температурних полів та інших факторів.

Визначення напружено-деформованого стану деталі було проведено за допомогою NX CAM. Перед початком розрахунку було призначено матеріал деталі (AISI_Steel_1005) та деталь було розбито на сітку скінчених елементів (рисунок 4.1) з розміром елементів 10 мм.

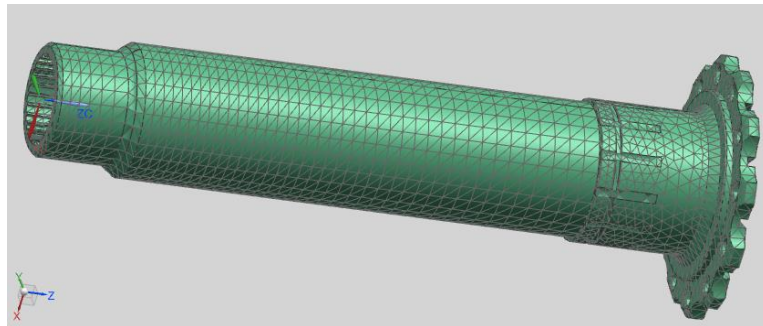


Рисунок 4.1 – Модель деталі з 3D тетраедральною сіткою

При роботі деталь закріплюється по отворах $\varnothing 12$ і сприймає напруження по шліцам. Закріплення деталі і навантаження на деталь зображено на рисунку 4.2. Прикладена сила дорівнює 120 кН.

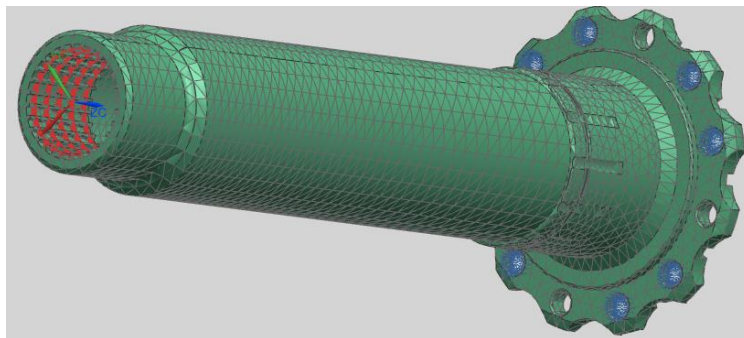


Рисунок 4.2 – Модель деталі зі схематичним зображенням закріплення та навантаження

Після цього було проведено розрахунок і отримано результати (рисунок 4.3).

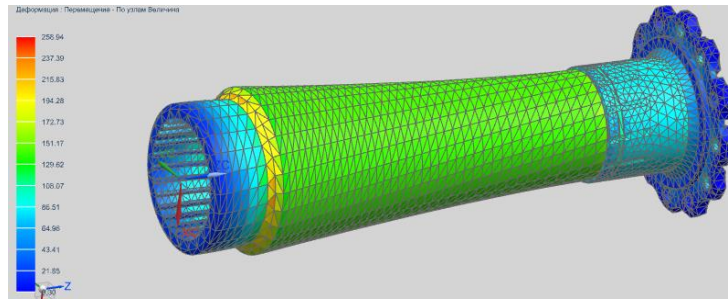


Рисунок 4.3 – Результати розрахунку напружено-деформованого стану деталі

Можна зробити висновок, що мінімальні навантаження на деталі виникають у місці закріплення.

4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції

В якості зміни конструкції деталі було запропоновано зміну внутрішнього радіуса у місці виникнення максимальних напружень. Замість радіусу R3, було запропоновано конструкцію деталі за радіусами R4 та R5.

Для деталей з оновленою конструкцією обираємо аналогічний матеріал і проводимо розбиття на сітку з розміром елементів 10 мм. Також проводимо аналогічне закріплення і прикладення сили величиною 120 кН. Оновлені деталі мають аналогічну схему прикладення навантаження і закріплення (рисунок 4.2)

Проводимо розрахунок. Результати розрахунку для першого випадку зображено на рисунку 4.4, для другого – на рисунку 4.5.

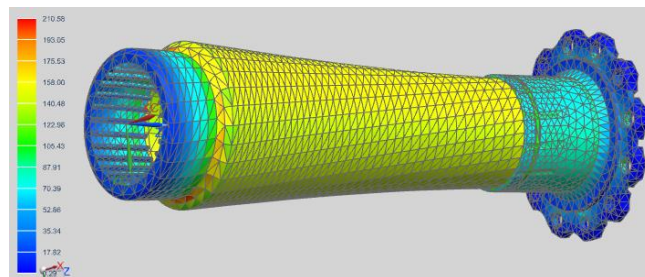


Рисунок 4.4 – Результати розрахунку напружено-деформованого стану для деталі з радіусом R4

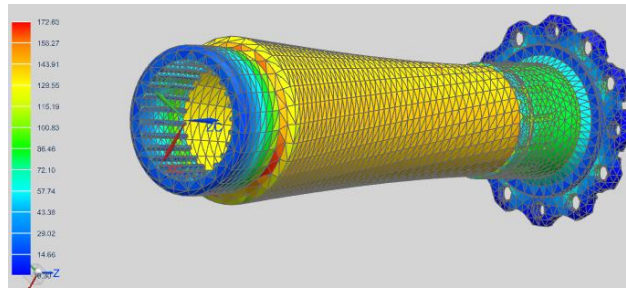


Рисунок 4.5 – Результати розрахунку напружено-деформованого стану для деталі з радіусом R5

4.3 Оптимізація геометрії деталі

За результатами проведених розрахунків заповнюємо таблицю 4.1 і будуємо графік (рисунок 4.6).

Таблиця 4.1 – Залежність напружень від радіусу заокруглення

№ експерименту	Радіус R, мм	Напруження σ , МПа	Зменшення значення σ_{max} , %
Вихідний	3	256	-
1	4	210	17,9
2	5	172	32,8

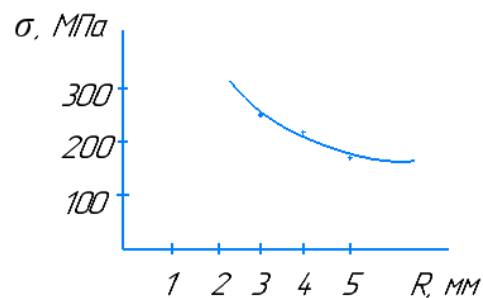


Рисунок 4.6 – Графік залежності напружень від радіусу

Отже, зі збільшенням радіусу заокруглення напруження зменшуються, тому можна рекомендувати конструкцію деталі з радіусом R5, що підвищить міцність деталі і дозволить її використання з більшими навантаженнями без руйнування.

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ГТД

Аналіз відмов газотурбінних двигунів у процесі експлуатації показує, що більшість ушкоджень деталей носить втомлений характер, тому практичне значення проблеми забезпечення їх несучої здатності важко переоцінити. Постійно зростають вимоги до надійності й матеріалоемності ГТД, усе більш значними стають умови роботи й режими експлуатаційної навантаженості.

При створенні нових ГТД доводиться зустрічатися з необхідністю забезпечення максимального резерву міцності кожної деталі з урахуванням умов експлуатації й конструктивних особливостей.

Найбільш навантаженими й важкооброблюваними деталями сучасних ГТД є лопатки, вали й диски. У процесі роботи двигуна ці деталі зазнають впливу знакозмінних і відцентрових навантажень, додаткових навантажень від високочастотних вібрацій при наявності корозійного середовища й підвищених температур.

При розробці технологічного процесу виготовлення високонавантажених деталей ГТД необхідно виходити із завдання забезпечення необхідної точності й форми поверхонь, а також сприятливої комбінації властивостей поверхневого шару.

Для підвищення несучої здатності деталей ГТД і зниження їх матеріалоемності в галузі широко застосовуються методи поверхневого пластичного деформування (ППД), що дозволяють регулювати властивості поверхневого шару.

Для фінішної обробки валів, лопаток і дисків ГТД усе більш широке застосування знаходять такі методи ППД як алмазне вигладжування, пневмодробострумове й ультразвукове зміцнення кульками та інше [10].

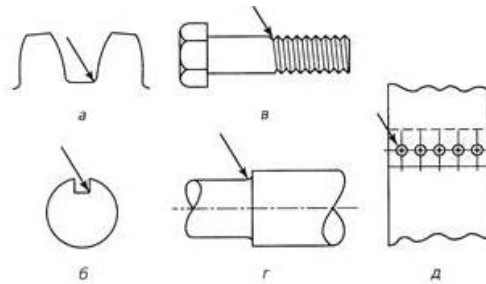
Найбільше часто відбувається руйнування:

1. У місцях концентрації напруг від змінних навантажень, коли експлуатаційні напруги вищі за допустимі для обраного матеріалу.

Причини:

- а) неточність (недосконалість) методики розрахунку напруг;
- б) не урахування можливих перевантажень матеріалу деталі в експлуатації;
- в) можливі дефекти матеріалу в місцях концентрації напруг;

Основні концентратори (рисунок 5.1): жолобники малих радіусів; отвори біля жолобників і в місцях максимальних деформацій матеріалу; різьбові елементи; шліци.



а - корінь зуба шестерні; б- шпонковий паз вала; в - різьблення болта;
г - уступ вала; д - заклепкове або болтове з'єднання

Рисунок 5.1 – Концентратори напруження

2. У місцях максимальних напруг, що виникають від експлуатаційних навантажень при відсутності концентраторів напруг.

Причини:

- а) недосконалість методики розрахунків при проектуванні;
- б) поява додаткових навантажень при реальній експлуатації, які не могли бути встановлені при визначенні запасу міцності.

3. Руйнування від високих контактних напруг, що супроводжуються розвитком фретинг-корозії, з наступним утвором мікротріщин:

- а) у шліцевих з'єднаннях;
- б) у місцях гладких з'єднань, що сполучають деталі: підшипників кочення, втулок, кілець.

Шляхи усунення: підбір сумісних матеріалів і посадок; рясне охолодження й змащення.

4. Руйнування від не виявлених дефектів у матеріалі заготовок валів: неметалічних включень, окисних плівок та ін.

Методи підвищення надійності деталей ГТД:

- 1.Металургійні.
- 2.Конструкторські.
- 3.Технологічні.
- 4.Експлуатаційні.

1. Металургійні методи включають [10]:

- а) підвищення якості матеріалу:
 - 1) міцнісних характеристик;

2) пластичності шляхом електрошлакового й вакуумно-дугового переплаву.

б) розробку прогресивних методів одержання заготовок – з текстурою й напрямком волокон відповідних до конфігурації деталі, що виключають утворення неоднорідності, пористості й інших дефектів у матеріалі.

в) підвищення якості заготовок і надійний контроль: рентгенівський, ультразвуковий, методом кольорової дефектоскопії.

г) вибір оптимальних режимів різання.

2. Конструкторські [10]:

а) вибір матеріалу деталі:

- з високими міцнісними характеристиками;
- з високою корозійною стійкістю;
- що виключає утворення внутрішніх дефектів у заготовках;
- з високою циклічною міцністю зносостійкістю.

б) точність прогнозування – визначення номінальних розмірів зовнішніх елементів конструкції, що забезпечують необхідний запас міцності при можливих максимальних перевантаженнях:

- при розрахунках на міцність;
- при доведенні шляхом тензометрування.

в) Виключення елементів конструкції – можливих концентраторів напруг у найбільш «небезпечних» місцях при експлуатаційних навантаженнях;

г) розробка оптимальної конструкції, що забезпечує максимальне використання резервів міцності матеріалу – конфігурацій, розмірів;

д) призначення оптимальної точності і якості поверхні, що дозволяють використовувати сучасні технологічні методи для підвищення несучої здатності матеріалу за рахунок резервів міцності:

- оздоблювальної обробки;
- зміцнюючої обробки;
- захисних покриттів.

3. Технологічні методи [10]:

а) забезпечення високої якості поверхні:

1) невеликої шорсткості й сприятливого мікрорельєфу з більшими радіусами дна западин;

2) підвищення ступеня й збільшення глибини наклепу;

3) наведення залишкових напруг стиску, особливо в місцях концентрації напруг;

б) застосування ефективних методів зміцнення поверхні:

- термозміцнюючих: об'ємна термообробка (рисунок 5.2), загартування й відпуск; поверхнева термообробка, цементація, азотування, ціанування;



Рисунок 5.2 – Об'ємна термообробка ООО «Термаль»

- деформаційне зміцнення ППД (рисунок 5.3);

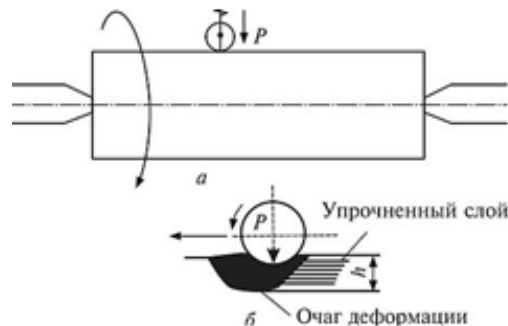


Рисунок 5.3 – Поверхнєве зміцнення деталі пластичним деформуванням

- криогенний вплив на поверхневий шар: глибоке охолодження за допомогою низкикиплячих рідин (рисунок 5.4);

в) застосування захисних покриттів: корозійно-стійких; ерозійно-стійких; зносостійких (в умовах контактних з'єднань, у середовищі вільного абразиву); жаростійких (нанесні: дифузійним способом, напилюванням, електролітичним способом, хімічним методом, з неметалічних матеріалів, електроферромагнітним способом).



Рисунок 5.4 – Криогенне зміцнення поверхні

4. Експлуатаційні методи [10].

- а) виключення перевантажень: статичних, динамічних, термічних;
- б) своєчасне проведення регламентних робіт з метою виявлення руйнування на ранній стадії.
- в) своєчасний і якісний ремонт із метою відновлення:
 - геометрії й точності деталі;
 - якості поверхні й міцнісних характеристик деталі.

Окрім цього існують оздоблювальні методи обробки, призначені для поліпшення шорсткості поверхні:

- зменшення висоти мікронерівностей;
- отримання мікрорельєфу з великою площею контакту і більшими радіусами дна западин, що знижують концентрацію напруг;
- отримання сприятливої орієнтації слідів обробки, що не викликає зниження несучої здатності матеріалу навантажених деталей.

По своїй природі й сутності застосовувані методи оздоблювальної обробки можна розділити на дві групи:

- абразивно-механічні, засновані на знятті мікронерівностей поверхні за допомогою абразивних зерен;
- електричні – електрохімічне полірування, засноване на розчиненні вершин виступів мікронерівностей, внаслідок більш високої щільності струму на вершинах виступів;
- електромеханічні – електроферомагнітне полірування, сутність якого полягає в знятті вершин виступів спеціальним порошком з орієнтуванням магнітним полем гострих кромek вздовж обробки поверхні без якого-небудь механічного силового впливу.

По призначенню, з погляду формування якості поверхні, їх розглядають як методи:

а) що забезпечують тільки поліпшення шорсткості без істотного впливу на фізико-механічні властивості матеріалу в поверхневому шарі;

б) поліпшуючі шорсткість, що впливають суттєво, часто несприятливо, на формування параметрів поверхневого шару – наклепу, залишкових напруг, структурних і фазових перетворень.

До ерозійно-механічних методів оздоблювальної обробки можна віднести надтонку обробку: суперфініш – для зовнішніх поверхонь; хонінгування – для внутрішніх поверхонь обертання; притирання – тонка абразивна обробка зовнішніх і внутрішніх поверхонь обертання, а також плоских і фасонних; полірування [11].

Застосовують їх:

- для видалення слідів – рисок від попередньої обробки, як то: шліфування, чистове точіння, фрезерування, а також концентраторів напруг, що знижують міцнісні характеристики матеріалу;

- для зменшення шорсткості;

- для видалення дефектного шару від попередньої обробки.

Усі перераховані вище методи полірування зменшують шорсткість, але не підвищують точність поверхні, яка залежить від попередньої обробки.

Серед технологічних заходів, спрямованих на підвищення надійності навантажених деталей ГТД, що працюють при більших статичних, знакозмінних і динамічних навантаженнях, особливе місце займає зміцнення поверхневим пластичним деформуванням. Застосовувані для цієї мети методи показані на рисунку 5.5.

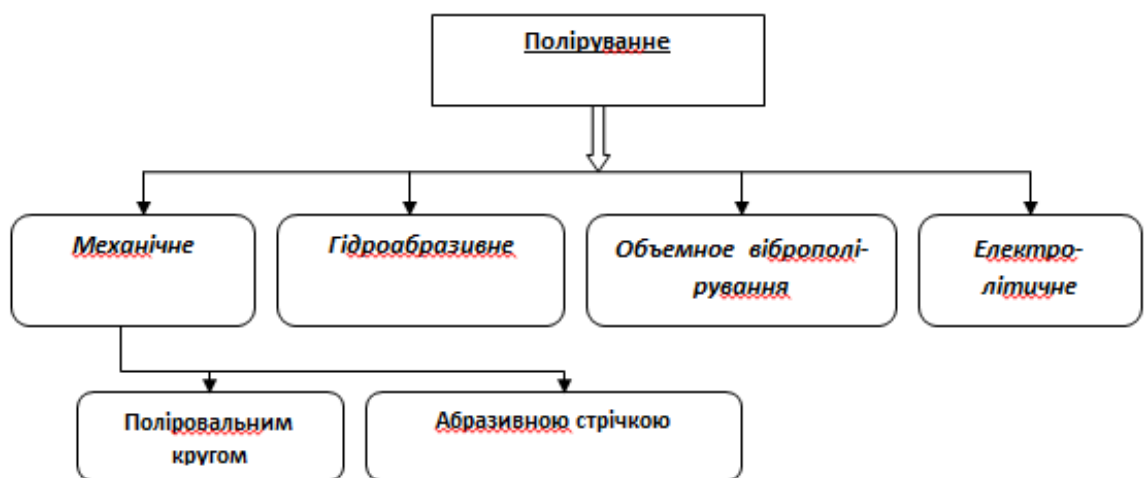


Рисунок 5.5 – Методи полірування, застосовувані в авіадвигунобудуванні.

Більшість із цих методів, незалежно від виду повідомлення енергії в зону пластичної деформації, супроводжується зменшенням шорсткості й поліпшенням мікрорельєфу поверхні, що знижує концентрацію напруг і підвищує опір матеріалу руйнуванню.

В усіх випадках цьому сприяє збільшення наклепу й сприятливий перерозподіл залишкових напруг від попередньої обробки при одночасній зміні микро- і дислокаційної структури матеріалу в поверхневому шарі.

Зміцнення ППД здійснюється:

- при твердому зв'язку інструмента із джерелом енергії;
- вільним дробом або кульками шляхом реалізації кінетичної енергії, отриманої від джерела.

При твердому зв'язку інструмента із джерелом енергії звичайно зміцнюють: зовнішні й внутрішні поверхні обертання деталей типу валів, втулок, дисків та ін., циліндричні, конічні, фасонні, торцеві, радіуси переходу (жолобники) від циліндричних поверхонь до торцевих, індивідуальні неосьові отвори [11].

Дорнування (рисунок 5.6) – це калібрування отворів: оправленням (дорном) або кулькою, які поступально переміщаються щодо оброблюваної поверхні з натягом. Застосовують при обробці товстостінних деталей з відношенням товщини стінки до радіуса отвору, що калібрується $\frac{h}{r} \leq 0.5$

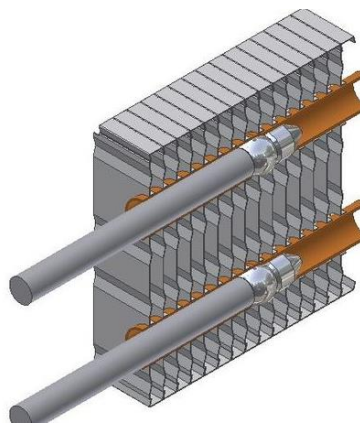


Рисунок 5.6 – Дорнування отворів

Обкатування й розкочування (рисунок 5.7) – здійснюється роликми й кульками. Обробляють зовнішні й внутрішні поверхні обертання, жолобники, канавки, торцеві поверхні. Таким методом зміцнюють тверді вали: турбін, компресорів, гвинтів і вентиляторів. Докладніше розкочування внутрішньої поверхні вала гвинта буде розглянуто нижче.

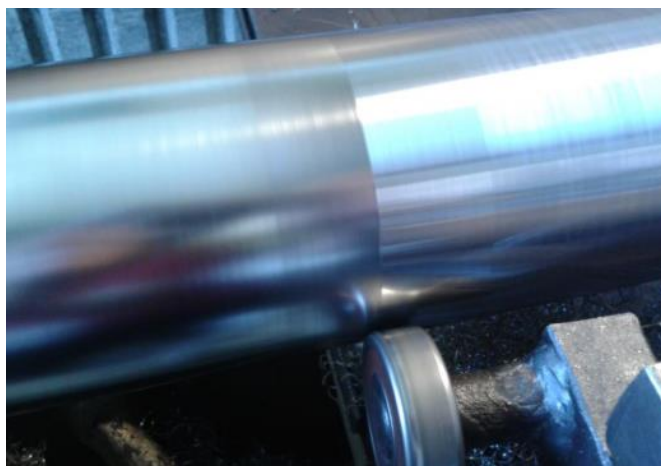


Рисунок 5.7 – Зміцнення обкатуванням

Алмазне вигладжування (рисунок 5.8) – здійснюється натуральним алмазом за допомогою алмазної державки на токарно-гвинторізних, токарних гідрокопіювальних верстатах з ЧПК. Через велику твердість алмаза, нормальна складова сили обробки – P_y різко зменшується у порівнянні з накочуванням роликом і кулькою при досягненні того ж ефекту. Деформується лише тонкий поверхневий шар, що важливо при зміцненні тонкостінних деталей і деталей із твердими покриттями, а також для деталей після термообробки.

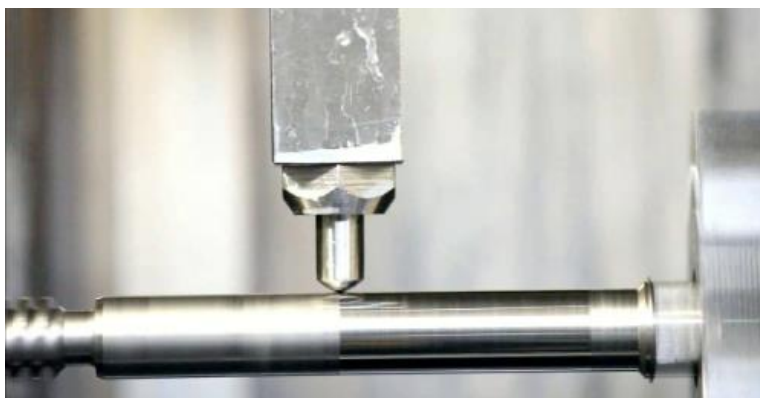


Рисунок 5.8 – Алмазне вигладжування деталі

Наклеп інструментом відцентрово-ударної дії. Інструмент – кулькова головка для наклепу. У результаті деформації чистота поверхні підвищується з 5..7 класу до 7...10 відповідно. Доцільно застосовувати для деталей з кольорових сплавів і чавунів і для сталевих деталей твердістю до HRC₂ 58..64. Можна обробляти зовнішні й внутрішні поверхні обертання, у тому числі й переривчасті [11].

Дробострумова обробка застосовується для зміцнення деталей із сталі, чавуну й кольорових сплавів – шестірень, пружин, ресор. Енергоносії – сталевий дріб $\varnothing 0.6...0.8$ мм. Джерела енергії – відцентрові механічні й ежекторні. Перевага – простота. Недолік – нерівномірний, важкорекульований процес: можливий перенаклеп і ушкодження точних елементів деталі. На рисунку 5.9 зображено схему установки для обробки.

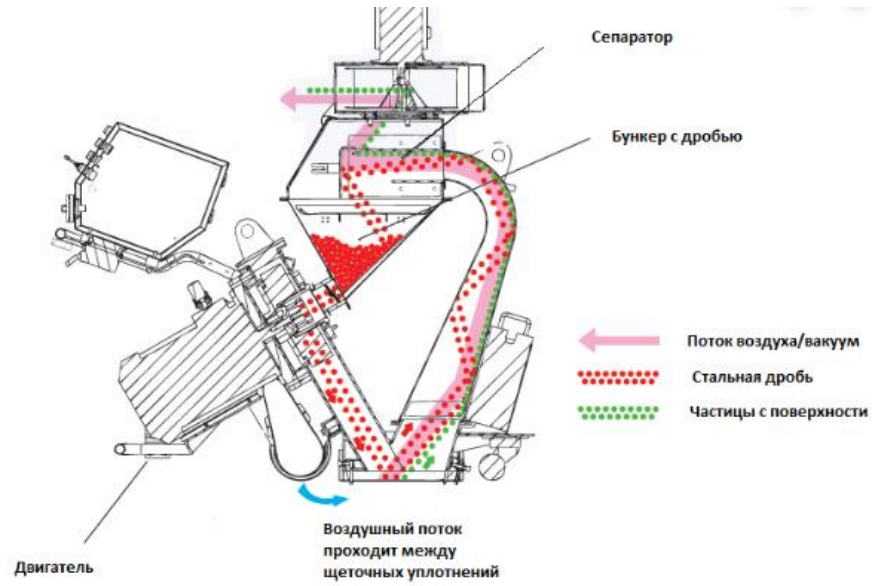


Рисунок 5.9 – Схема пристосування для дробострумової обробки

Гідродинамічний і пневмогідродинамічний способи ППД є більш досконалим різновидом дробострумового наклепу. Дробострумовий наклеп – сталевими кульками або дробом, що розганяють за допомогою стисненого повітря на установках ежекторного типу в закритому обсязі. Наявність рідкого наповнювача пом'якшує удар дробу по деталі, не викликаючи перенаклепу. Застосування цих способів зміцнення обмежене наявністю більш технологічних і ефективних, серед яких вібро- і гідрогалтовка [11].

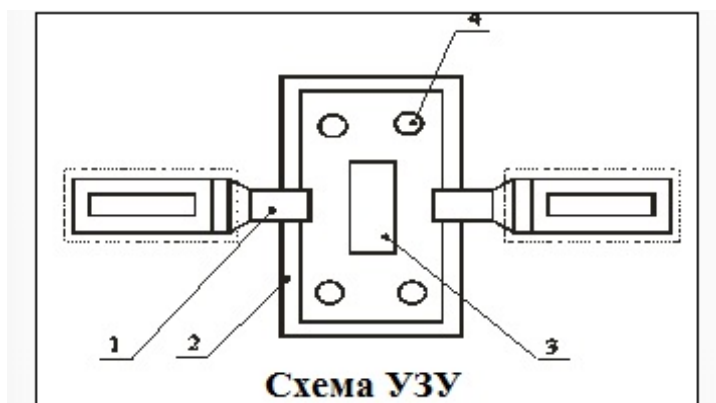
Віброгалтовка – застосовується для лопаток з титанових сплавів і легированих сталей, дисків компресорів і інших деталей ГТД. Поряд з ущільнюючим має також і полірувальний ефект. Застосування цього методу обмежене великою тривалістю процесу, що досягає 1.5...4.0 години й відносно невисокою надійністю установок при збільшенні перевантажень із метою зниження трудомісткості. Установку зображено на рисунку 5.10.



Рисунок 5.10 – Віброгалтовка Fasko – 3

Гідрогалтовка сталевим дробом із сульфофрезолом або трансформаторним маслом за допомогою спеціальних планетарних пристосувань помітно поліпшує мікропрофіль поверхні, параметри наклепу й характер перерозподілу залишкових напруг. Недолік – нерівномірний наклеп і обмежена можливість застосування для зміцнення інших деталей [11].

Зміцнення на УЗУ (рисунок 5.11) – найбільш ефективний метод зміцнення широкої номенклатури деталей ГТД. Докладно цей метод для зміцнення шліців вала гвинта буде розглянутий нижче.



1 – концентратор; 2 – камера; 3 – деталь; 4 – металеві кульки

Рисунок 5.11 – Установка УЗУ

Це один з методів ППД, який заснований на твердому зв'язку інструмента й привода – розкочування. Розкочування здійснюється кульками, що виявляють тиск на поверхню оброблюваної деталі. При певному (робочому) зусиллі в зоні контакту деформуючих елементів і деталі, інтенсивність на-

пруг перевищує границю текучості, у результаті чого відбувається пластична деформація мікронерівностей, змінюються фізико-механічні властивості і структура поверхневого шару. Об'ємна деформація деталі звичайно незначна [12].

Зміна розміру поверхні при розкочуванні зв'язане зі зминанням мікронерівностей і пластичною об'ємною деформацією деталі. Точність обробленої деталі буде залежати від її конструкції й конструкції інструмента, режимів обробки, а також від точності розмірів, форми і якості поверхні деталі, отриманої на попередньому переході. Величина зміни розмірів залежить від стану вихідної поверхні.

Шорсткість поверхні при розкочуванні досягає величини $Ra = 0.2 - 0.8$ мкм при вихідних значеннях цих величин $0.8 - 6.3$ мкм. Ступінь зменшення шорсткості оброблюваної поверхні залежить від матеріалу, робочого зусилля або натягу, подачі, вихідної шорсткості, конструкції інструмента. У дипломному проекті вихідна шорсткість поверхні після шліфування, перед розкочуванням, становила $Ra = 0.8$ мкм, відповідно після розкочування вона становить $Ra = 0.2$ мкм.

Розкочування слід робити так, щоб задані результати досягалися за один прохід. Не слід використовувати зворотний хід як робочий, тому що повторні проходи в протилежних напрямках можуть привести до зайвого деформування поверхневого шару.

Швидкість не виявляє помітного впливу на результати обробки і обирається з урахуванням необхідної продуктивності, конструктивних особливостей деталі і устаткування. Зазвичай швидкість становить $30 - 150$ м/хв.

У даному дипломному проекті швидкість розкочування становить 50 м/хв.

Оптимальне зусилля P_v (Н), відповідне до максимальної межі витривалості, визначають по формулі (5.1):

$$P_v = 10(50 + \frac{D_d^2}{6}) \quad (5.1)$$

де D_d – діаметр поверхні деталі, що зміцнюється;

$$P_v = 10(50 + \frac{88^2}{6}) = 13406.67 \text{ Н}$$

Подача на один оберт кульки (8 кульок) складає 0.03 мм/об, подача на один оберт деталі складає: $0.03 \cdot 8 = 0.24$ мм/об.

При обробці необхідно підвищити поверхневу твердість деталі на 25 - 40%. Глибина h наклепаного шару для великих деталей повинна перебувати в межах $0.02R_d \leq h_H \leq 0.1R_d$, де R_d – радіус поверхні деталі, що зміцнюється.

У даному дипломному проєкті глибина наклепаного шару 1мм.

$$0.02 \cdot 44 \leq h_H \leq 0.1 \cdot 44$$

$$0.88 \leq h_H \leq 4.4$$

Ступінь наклепу 15%.

Залишкові напруги стиску $\sigma = 50 \text{ кгс/мм}^2$.

ЗОТС при розкочуванні масло індустріальне МІ-20.

Шліцеві з'єднання деталей, у газотурбінних двигунах, працюють із високими навантаженнями. Вони передають дуже високий крутний момент. Протягом роботи шліцевих з'єднань деталей ГТД відбувається поступове руйнування шліців. Причиною такого руйнування є наявність більших контактних напруг у шліцевих з'єднаннях деталей і відносно мала зносостійкість самих шліців.

Одним з основних технологічних прийомів підвищення міцності, надійності й довговічності шліцевих з'єднань, у сучаснім авіабудуванні, є зміцнення методом поверхневого пластичного деформування.

Існує багато методів деформаційного зміцнення шліців, заснованих на статичному й динамічному впливі на поверхневий шар, що викликає в ньому пластичну деформацію. Устаткування для ППД деталей традиційним способом має низьку продуктивність і універсальність та не забезпечує необхідної точності обробки, вимагає більших витрат праці при впровадженні у виробництво, а наявні методики контролю й стабільності відтворення режимів зміцнення недосконалі [12].

Усе це стримує широке застосування процесів ППД у виробництві.

У результаті аналізу й ретельних досліджень можливостей сучасних способів ППД і технічних засобів для їхнього здійснення, а також з обліком усього комплексу вимог, пропонованих до технології ППД деталей ГТД, був розроблений більш ефективний спосіб ППД шліців деталей за допомогою ультразвуку.

Цей спосіб здійснюється за рахунок кінетичної енергії сталевих кульок, що інтенсивно переміщаються в робочій камері під впливом потужного ультразвукового поля, що вводиться в камеру.

Деталь, міститься в робочу камеру, зазнає обробки одночасно по всій поверхні шліців. Інші поверхні захищені від впливу кульок. Цей метод до-

зволяє значно (у десятки раз) підвищити продуктивність і одержати нову якість поверхонь шліців деталей газотурбінних двигунів.

Установлено, що ППД шліц деталей ГТД за допомогою ультразвуку, внаслідок багаторазового, але відносно “м'якого” удару, створює в поверхневому шарі структуру більш рівномірно розташованих дислокацій у порівнянні, наприклад, з обробкою роликми й тим самим знижує ймовірність появи потенційних місць для зароджень втомлених тріщини при експлуатації шліцевих з'єднань [12].

Використання стандартної ультразвукової апаратури, а також висока універсальність ультразвукових установок забезпечує обробку всіх типорозмірів шліцевих поверхонь валів і інших деталей, дозволяє різко, в 20 – 40 разів, зменшити працезатрати при впровадженні ППД у виробництво.

Висока питома працездатність (кількість роботи – деформації в одиницю часу, чиненої однією кулькою) кожного елемента робочого тіла, що міститься в ультразвуковому полі, дозволяє використовувати при об'ємному ультразвуковому ППД деталей набагато меншу кількість робочих тіл, чим це можливо при дробострумовій і вібраційній обробці.

Малі габаритні розміри установок для об'ємного ультразвукового ППД деталей ГТД, мала займана площа – не більш 2 м^2 , дозволяє скоротити потребу у виробничих площах, у порівнянні із застосуванням дробострумового і вібраційного устаткування в 10 – 15 разів.

Розроблені методи контролю параметрів ультразвукового поля й кінетичної енергії переміщення робочих тіл у процесі об'ємного ультразвукового ППД деталей дозволяє забезпечити високу якість і стабільність відтворення режимів зміцнення в умовах крупносерійного й масового виробництва [12].

Ефективність об'ємного ультразвукового ППД деталей перевірене численними стендовими випробуваннями й експлуатацією.

У результаті встановлено, що втомна міцність деталей, залежно від їх типорозміру й умов роботи, підвищується на 10 – 50%, а довговічність збільшується в середньому в 10 раз.

Технічна характеристика пристроїв для ультразвукового зміцнення

1. Кількість одночасна зміцнювальних деталей: 1- 90.
2. Маса робочих кульок, кг: 0.026 – 0.6.
3. Діаметр робочих кульок, мм: 0.9 – 3.
4. Споживана потужність не більш, кВт: 4.5.
5. Робоча частота, кГц: 16 – 20.

Залишкові стискаючі напруги – вирішальний фактор, завдяки якому якісно підвищуються міцнісні характеристики шліців, тому що паралельно із процесом зміцнення поверхні йде процес вигладжування різного роду задирок і мікронерівностей [12].

Сутність такого явища пояснюється тим, що в процесі експлуатації під навантаженням на поверхні шліців напруги будуть суттєво нижче, чим у тілі, а переважна більшість шліців починають руйнуватися саме з поверхні.

Це пояснюється тим, що на поверхні найбільше дефектів кристалічних ґраток, припалів, часто є присутнім дефектний шар і інші концентратори напружень.

Динаміка зміни мікрорельєфу.

Нехай маємо ідеально чисту ділянку поверхні. Спочатку кульки роблять на ній вирви. До певного моменту часу кількість таких вирв росте, отже росте шорсткість.

Після того, як окремі вирви будуть перекривати один одного, середня висота шорсткості буде зменшуватися, тобто буде йти процес вигладжування поверхні. Потім знову будуть виникати вирви, але вже меншої глибини, тому що поверхневий шар став міцніше.

Із часом ці процеси затихають і встановлюється певна шорсткість. При великому часі обробки будуть відбуватися елементарні процеси мікрівідшарування.

Вихідна середня шорсткість впливає на кінцевий результат.

Режим зміцнення шліців:

1. Час зміцнення: $t = 8 \text{ хв.}$
2. Частота вібрацій: 16 – 20 кГц.
3. Матеріал кульок: сталь ШХ – 15.
4. Діаметр кульок: $\varnothing 1.3 - 50\%$; $\varnothing 1.6 - 50\%$ ГОСТ 3722 – 84.
5. Маса кульок: $m = 200 \text{ г.}$
6. Охолоджуюче середовище: вода, натрій азотований 5%.

Окрім цього, в дипломному проекті проводяться операції алмазного вигладжування. Для них були підібрані режими:

1. Розмір індентора: 1-4 мм.
2. Сила тиску: 100-300 Н.
3. Подача: 0,5-1 мм/об.

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок:

1. Для зміцнення зовнішніх поверхонь обертання твердих деталей (товстостінних або без осьового отвору), доцільно застосовувати накочуван-

ня роликом, відцентрово-ударний метод накочування кулькою. При відсутності радіальних отворів, пазів доцільно використовувати алмазне вигладжування.

2. Для зміцнення внутрішніх, гладких поверхонь тонкостінних валів складної конфігурації можливе застосування розкочування кулькою або масою кульок у магнітнім полі при обертанні деталі..

3. При виготовленні тонкостінних нежорстких валів найбільш прийнятним методом ППД є алмазне вигладжування, яке проводиться при невеликих зусиллях.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ

В дипломному проекті було використано протягування шліц, замість довбання. Порівняльна характеристика довбального верстата і верстата для протягування наведена у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Характеристика обладнання

Модель верстата	Потужність верстата, кВт	Вартість верстата, грн	t _{шт.к} , хв
Довбання			
1В150	10	215000	1,5
Протягування			
7Б57	5,5	160000	1,69

Визначаємо такт випуску за формулою (6.1):

$$\tau = \frac{F_d \cdot 60}{\Pi} \quad (6.1)$$

де F_d – дійсний річний фонд роботи обладнання: $F_d = 4015$ год [13,с.92];

Π – програма випуску: $\Pi = 2000$ шт.

$$\tau = \frac{4015 \cdot 60}{2000} = 120,45 \text{ хв}$$

Розраховуємо кількість верстатів для операції з найбільшим значенням штучно-калькуляційного часу за формулою (6.2):

$$\eta_p = \frac{t_{\text{шт.к}}}{\tau} \quad (6.2)$$

де $t_{\text{шт.к}}$ – штучно-калькуляційний час: $t_{\text{шт.к}} = 1,69$ хв.

$$\eta_p = \frac{1,69}{120,45} = 0,01$$

Приймаємо η для обох випадків $\eta_1 = \eta_2 = 1$.

Розраховуємо заробітну плату робітників за хвилину за формулою (6.3):

$$З = З_t \cdot K_H \cdot n \quad (6.3)$$

де $З_T$ – табличне значення заробітної плати: $З_{T1} = 1,414$ коп/хв – для 6-го розряду, $З_{T2} = 1,293$ коп/хв – для 5-го розряду [13,с.94, т.2.18];

K_H – коефіцієнт перевиконання норми: $K_{H1} = K_{H2} = 1,2$ [13,с.93];

n – кількість верстатів: $n_1 = 1$ шт, $n_2 = 1$ шт.

$$З_1 = 1,414 \cdot 1,2 \cdot 1 = 1,69 \text{ коп/хв}$$

$$З_2 = 1,293 \cdot 1,2 \cdot 1 = 1,55 \text{ коп/хв}$$

Визначаємо витрати на електроенергію за формулою (6.4):

$$E = \frac{\sum N \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot C_e}{60} \quad (6.4)$$

де $\sum N$ – сумарна потужність електродвигунів верстатів: $\sum N_1 = 10$ кВт, $\sum N_2 = 5,5$ кВт (див.табл.6.1);

k_1 – коефіцієнт з потужності: $k_1 = 0,6$ [13,с.94, т.2.19];

k_2 – коефіцієнт по часу роботи $k_2 = 0,5$ [13,с.94, т.2.19];

C_e – вартість 1 кВт електроенергії: $C_e = 90$ коп [13,с.93].

$$E_1 = \frac{10 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 90}{60} = 4,5$$

$$E_2 = \frac{5,5 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 90}{60} = 2,47$$

Визначаємо витрати на амортизацію обладнання за формулами (6.5) – (6.6):

$$A_{\Gamma} = \frac{\alpha_1 \cdot 1,15 \cdot Ц}{100} \quad (6.5)$$

$$A = \frac{A_{\Gamma} \cdot 100}{F_d \cdot 60} \quad (6.6)$$

де α_1 – процент відрахування від балансової вартості обладнання: $\alpha_1 = 15$ [13,с.92];

$Ц$ – вартість обладнання: $Ц_1 = 215000$ грн, $Ц_2 = 160000$ грн (див.табл.6.1).

$$A_{\Gamma 1} = \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 215000}{100} = 37087,5$$

$$A_1 = \frac{37087,5 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 15,39$$

$$A_{\Gamma 2} = \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 160000}{100} = 27600$$

$$A_2 = \frac{27600 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 11,45$$

Визначаємо витрати на обслуговування обладнання за формулами (6.7) – (6.8):

$$O_{\Gamma} = \frac{\alpha_2 \cdot 1,15 \cdot \Pi}{100} \quad (6.7)$$

$$O = \frac{O_{\Gamma} \cdot 100}{F_d \cdot 60} \quad (6.8)$$

де α_2 – процент відрахування від балансової вартості обладнання:
 $\alpha_2 = 0,5$ [13,с.92];

$$O_{\Gamma 1} = \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 215000}{100} = 1236,25$$

$$O_1 = \frac{1236,25 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,51$$

$$O_{\Gamma 2} = \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 160000}{100} = 920$$

$$O_2 = \frac{920 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,38$$

Визначаємо витрати на ремонт обладнання за формулами (6.9) – (6.10):

$$P_{\Gamma} = \frac{\alpha_3 \cdot 1,15 \cdot \Pi}{100} \quad (6.9)$$

$$P = \frac{P_{\Gamma} \cdot 100}{F_d \cdot 60} \quad (6.10)$$

де α_3 – процент відрахування від балансової вартості обладнання:
 $\alpha_3 = 4,5$ [13,с.92];

$$P_{\Gamma 1} = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 215000}{100} = 11126,25$$

$$P_1 = \frac{11126,25 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 4,61$$

$$P_{\Gamma 2} = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 160000}{100} = 8280$$

$$P_2 = \frac{8280 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 3,43$$

Витрати на інструмент визначаємо за [13,с.94, т.2.20]: $I_1 = I_2 = 1,04$ грн

Витрати на пристосування визначаємо за [13,с.95,т.2.21]:
 $\Pi_1 = 0,013$ коп/хв, $\Pi_2 = 0,0036$ коп/хв.

Розраховуємо технологічну собівартість за формулою. (6.11):

$$C = (З + E + A + O + P + I + \Pi) \cdot t_{шт.к} \quad (6.11)$$
$$C_1 = (1,69 + 4,5 + 15,39 + 0,51 + 4,61 + 1,04 + 0,013) \cdot 1,5 = 41,62 \text{ коп}$$
$$C_2 = (1,55 + 2,47 + 11,45 + 0,38 + 3,43 + 1,04 + 0,0036) \cdot 1,69 =$$
$$= 34,34 \text{ коп}$$

Розраховуємо економічний ефект за формулою (6.12):

$$Еф = (C_1 \cdot \Pi + \epsilon \cdot Ц_1) - (C_2 \cdot \Pi + \epsilon \cdot Ц_2) \quad (6.12)$$

де ϵ – нормативний коефіцієнт ефективності: $\epsilon = 0,15$.

$$Еф = (0,41 \cdot 2000 + 0,15 \cdot 215000) - (0,34 \cdot 2000 + 0,15 \cdot 160000) =$$
$$= 8390 \text{ грн}$$

Отже, можна зробити висновок, що доцільно використовувати протягування, замість довбання для виготовлення шліц.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основним змістом охорони праці на підприємстві є здійснення заходів технічного, санітарно-гігієнічного, правового й організаційного порядку, спрямованих на оздоровлення умов праці.

Характеристика ділянки обробки деталі вала компресора турбіни з погляду аналізу потенційних небезпек

У дипломному проекті передбачається організація цеху (ділянки) по виробництві вала компресора двигуна АИ-24ВТ. Технологічний процес відповідає ГОСТ 12.3.002-75 «Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки» і ГОСТ 12.3.025-80 «Обробка металів різанням. Вимоги безпеки».

При роботі на даній ділянці можуть виникати небезпеки, перераховані в таблиці 7.1.

До найнебезпечніших факторів можна віднести наступні: опіки розпеченою деталлю, влучення стружки в особу. До небезпек середньої небезпеки можна віднести опіки гарячою водою, захват одягу обертовими частинами верстата, травми рук при роботі на пресі, влучення в робочого осколків шліфувального кола, що розірвалося.

Металорізальні верстати розташовані в ряд по технологічному процесі, що сприяє добрій вентиляції й освітленню.

Для забезпечення безпеки роботи передбачити додатково наступні заходи:

- провести додатковий інструктаж з техніки безпеки;
- установити додаткове огороження.

Таблиця 7.1 - Аналіз небезпек виникаючих при обробці вала

Технологічні операції	Небезпеки	Причини, що приводять до реалізації небезпеки	Заходу щодо запобігання нещасного випадку
1	2	3	4
Оп.001 Заготівельна	Опiк вiд розпеченої заготовки	Вiдсутнiсть огороженн- ня, порушення техноло- гiчної дисциплiни	Установка огорожень, механiзацiя робiт, видача спецодягу.
Оп. 005 Фрезерно- центруваль- на	Захват обертови- ми частинами верстата одягу робiтника. Влу- ченн- я стружки в особу.	Одяг має висячі частини. Вiдсутнiсть огороженн- я в зонi рiзнання.	Контроль над станом одя- гу. Не допускати до роботи на недоукомплектованих верстатах. Застосування захисних окулярiв для очей.
Оп. 010 То- карна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп. 015 То- карна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп. 020 То- карна зi ЧПК	Поломка рiзнц- я й травмування ро- бiтника осколка- ми деталi або iн- струмента	Збiй у керуючiй програ- мi. Не спрацювали кiн- цевi вимикачi. I дверцята залишилися вiдкритою.	Контроль над вiдсутнiстю помилки у програмi. Засто- сування двох кiнцевих ви- микачiв.
Оп. 025 Термiчна	Пекти, гарячі де- талi	Вiдсутнiсть огороженн- ня, порушення техноло- гiчної дисциплiни	Установка огорожень, механiзацiя робiт, видача спецодягу.
Оп. 030 То- карна зi ЧПК	Поломка рiзнц- я й травмування ро- бiтника осколка- ми деталi або iн- струмента	Збiй у керуючiй програ- мi. Не спрацювали кiн- цевi вимикачi. I дверцята залишилися вiдкритою.	Контроль над вiдсутнiстю помилки у програмi. Засто- сування двох кiнцевих ви- микачiв.
Оп. 035 То- карна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп. 040 То- карна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп.045 Токарна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп.050 Протяжна	Захват протяган- ням одягу робiт- ника. Влученн- я стружки в особу.	Одяг має висячі частини. Вiдсутнiсть огороженн- я в зонi рiзнання.	Контроль над станом одя- гу. Не допускати до роботи на недоукомплектованих верстатах. Застосування захисних окулярiв.

Продовження таблиці 7.1

Оп.055 Токарна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп.060 Токарна з ЧПК	Див.оп.020.	Див.оп.020.	Див.оп.020.
Оп.065 Токарна з ЧПК	Див.оп.020.	Див.оп.020.	Див.оп.020.
Оп.070 Фрезерна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп.075 Фрезерна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп.085 Круглошліфувальна	Див.оп.005. Влучення на тіло осколків кола, що розірвалося.	Див.оп.005. Розрив шліфувального кола.	Див.оп.005. Перед установкою на верстат перевірка шліф кола на розрив при швидкості в 1.5 рази вище робочої
Оп.090 Круглошліфувальна	Див.оп.085.	Див.оп.085.	Див.оп.085.
Оп. 095 Токарна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп. 100 Токарна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп.105 Внутрішншліфувальна	Див.оп.085.	Див.оп.085.	Див.оп.085.
Оп. 110 Токарна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп.115 Полірувальна	Див.оп.085.	Див.оп.085.	Див.оп.085.
Оп.120 Свердлильна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп.125 Токарна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.

Продовження таблиці 7.1

Оп.130 Свердлильна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп.140 Фрезерно-свердлильна	Див.оп.005.	Див.оп.005.	Див.оп.005.
Оп.160 Промивочна	Гаряча вода, пара - опіки	Лопнув бак від недостатньої міцності або переповнення	Виготовляти бак з достатнім запасом міцності. Активний контроль над рівнем води.
Оп.170 Промивочна	Див.оп.160.	Див.оп.160.	Див.оп.160.
Оп.180 Гальванічна (окисдування).	Поразка електричним струмом.	Порушення ізоляції.	Контроль над станом ізоляції. Застосування спецодягу.

Безпека технологічного встаткування забезпечується правильним вибором принципів дії, конструктивних схем, матеріалів і робочих процесів і відповідає ГОСТ12.2.061-81 «Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць». Крім того, безпека праці забезпечується:

- використанням у конструкціях технологічного встаткування спеціальних захисних засобів;
- дотриманням ергономічних вимог;
- включенням вимог безпеки в технічну документацію по монтажу, експлуатації, ремонті встаткування.

Категорія приміщення, згідно «Правил пристрою електроустановок» (ПУЕ), розділ 5. «Електрообладнання спеціальних установок» - без підвищеної небезпеки (сухе – відносна вологість не більш 60%, без пилу, з нормальною температурою – менш 30°C, з ізольованими підлогами.

Відповідно до ПЕУ в електроустановках використовуються такі системи заходів і засобів забезпечення їх безпечної експлуатації: захисне заземлення, ізоляція струмопровідних частин, захисне вимикання, малі напруги (42В) для висвітлення й живлення електроінструментів, неприступність неізольованих провідників. Заземлення (занулення) і захисні заходи безпеки електроустановок необхідно виконувати відповідно до вимог ПУЕ. Опір самостійного заземлюючого пристрою повинне відповідати вимогам підприємства-виготовлювача апаратури або відомчим нормам, але

не повинне бути вище 40м. У зв'язку з тим, що всі ці засоби не є універсальними й мають свої переваги й недоліки, то для забезпечення електробезпечності застосовуються не один, а кілька методів одночасно.

Матеріали, які використовуються в конструкціях устаткування не є шкідливими, а ті елементи, з якими безпосередньо контактує людей, не мають гострих кутів, країв, нерівних, гарячих або переохолоджених поверхонь.

частини, що рухаються, верстатів, які становлять небезпеку для людини, огорожені. Огороджувальні пристрої не погіршують спостереження за роботою встаткування й максимально захищають від проникнення небезпечних і шкідливих факторів у робочий простір.

Гальмування двигунів після зупинки привода здійснене за рахунок кінематичного тертя, тобто мимовільно. На всіх металорізальних верстатах ділянки передбачене блокування силового встаткування із системами пуску.

Блокувальні пристрої виконують фіксацію робочих частин устаткування у відповідній робочій або неробочій положенні.

При автоматичнім керуванні встаткуванням без участі оператора спрацьовує автоматична сигналізація (звукова або візуальна), яка сповіщає про небезпеку.

У цеху з метою зниження кількості важкої ручної праці встановлені балки-кран-балки, які призначені для транспортування пристосувань і переміщення тари з партією заготовок від верстата до верстата.

Активну безпеку піднімальних машин у процесі експлуатації підвищують пристроєм й приладами безпеки:

- обмежники ходу (пересування крана, підйому вантажу);
- пристрої, які забезпечують стійкість крана (обмежники вантажопідйомності);
- прилади сповіщення й сигналізації.

Важливою умовою в забезпеченні безпечної роботи балка^/-балки-балки-кран-балки є надійність гальмових пристроїв, як механізму підняття вантажу, так і механізму переміщення візка й крана.

Не допускається підняття вантажів з масою перевищуючою припустиму за технічними даними крана.

Клас пожежонебезпечної зони відповідно до ПУЕ -клас П-III. При розміщенні в приміщеннях або на відкритім повітрі одиночного пожежно небезпечного технологічного встаткування, якщо спеціальні заходи проти

поширення пожежі не передбачені, зона в границях до 3м по горизонталі й вертикалі від цього устаткування вважається пожежонебезпечною.

Оболонка з'єднується з основними частинами виробів у єдину конструкцію, закриває небезпечну зону й зніматися тільки за допомогою інструмента.

Не допускається, щоб гвинти (болти) для кріплення струмоведучих частин, що й рухаються, виробу й для кріплення його оболонки були загальними.

Відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 «Електробезпе́ність. Терміни й визначення» вид ізоляції встаткування містить у собі:

- робочу ізоляцію – електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу й захист від поразки електричним струмом;
- додаткову ізоляцію – електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від поразки електричним струмом у випадку ушкодження робочої ізоляції.

Клас електротехнічних виробів по способу захисту від людини від поразки електричним струмом відповідно до ГОСТ 12.2.007.0-75 «Виробу електротехнічний. Загальні вимоги безпеки» установлений як клас І.

Захисні заходи безпеки електроустановок будинків виконуються відповідно до вимог глави ПУЕ й ГОСТ 12.2.007.0-75. Для підвищення рівня захисту від загоряння при замиканні на заземлені частини, коли величина струму недостатня для спрацьовування максимального струмового захисту рекомендується установка УЗО зі струмом спрацьовування до 400 мА. УЗО передбачене для захисту від поразки електричним струмом і для захисту від загоряння, воно виключає як фазний, так і нульовий робітник провідники. У цих випадках захист від надструмів у нульовому робочому провіднику не потрібно.

На введенні виконана система вирівнювання потенціалів шляхом об'єднання наступних струмопровідних частин:

- основний (магістральний) захисний заземлюючий провідник;
- основний (магістральний) заземлюючий провідник або основний заземлюючий затискач;
- сталеві труби комунікацій;
- металеві частини будівельних конструкцій, захист від блискавок, системи центрального опалення, вентиляції й кондиціонування.

Такі струмопровідні частини з'єднані між собою. Протягом усієї мережі повторно виконане додаткове вирівнювання потенціалів. До додаткової системи вирівнювання потенціалів підключені всі доступні торканню відкриті струмопровідні частини стаціонарних електроустановок.

Заходу щодо забезпечення виробничої санітарії й гігієни праці відповідає вимогам ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу».

Відповідно до ДАНПН 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів» при наявності шкідливих виробничих факторів клас виробництва встановлюємо як четвертий.

Метеорологічні умови в робочім приміщенні цеху за ДСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» наведено в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Метеорологічні умови в робочім приміщенні цеху

Сезон року	Категорія робіт	Температура повітря, (З	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, м/хв
Холодний період	Середньої ваги	18-20	40-60	0,2
Теплий період		21-23	40-60	0,2

Для підтримки необхідної температури повітря й компенсації втрат у холодну пору року проектом передбачається пристрій системи опалення, сполученої із приточною вентиляцією.

Припустимі норми температури, вологості й швидкості руху повітря на робочім місці згідно ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» наведено в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Припустимі норми температури, вологості й швидкості руху повітря на робочім місці

Категорія робіт	Температура повітря, (З	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, м/хв	Температура повітря на робочім місці, (З
Середньої ваги	17-23	75	0,1-0,3	13-24

Норми освітленості робочих місць відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 «Природне й штучне висвітлення» представлено в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Норми освітленості робочих місць

Характеристика робіт	Розміри об'єкта відмінності, мм	Розряд зорових робіт	Висвітлення, ЛК	
			Комбінований-ное	Загальне
Високої точності	0,1-0,3	2	5000	400
Точна	0,3-1,0	3	4000	350
Малої точності	1,0-10	4	350	150
Груба	>10	5	100	100

Гранично припустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони у виробничих приміщеннях відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» представлено в таблиці 7.5.

Таблиця 7.5- Гранично припустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони у виробничих приміщеннях

Найменування речовини	ПДК,мг/м ³	Фактична концентрація, мг/м ³	Клас небезпеки
З	20,0	15,06	4
Pb	0,01	0,0071	1
Пари H ₂ SO ₄	1,0	0,54	2
Mn	0,2	0,072	1
Fe	6,0	2,77	4
Fe ₂ SO ₃	6,0	4,29	4
SiO ₂	1,0	0,25	3

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» рівень звуку на робочих місцях не повинен перевищувати 80 дба.

Таблиця 7.6 - Рівні звуку й звукового тиску

Робітники	Рівні звукового тиску в октавних смугах								Рівні звуку, дБа
Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Припустимі рівні, дБ	99	98	86	85	80	78	76	74	80
Фактичні рівні, дБ	98	96	84	82	78	74	75	73	78

Заходи й засоби захисту від вібрації відповідають вимогам ГОСТ 12.1.012-90 «Вібраційна безпека. Загальні вимоги», і ДСН 3.3.6.039-99 «Державні норми виробничої, загальної й локальної вібрації».

Відповідно ДО ГОСТУ 12.1.012-90 «Вібраційна безпека. Загальні вимоги», методи віброзахисту по організаційних ознаках діляться на колективні й індивідуальні.

Колективні методи віброзахисту передбачають такі заходи:

- зменшення вібрації в джерелах її виникнення – усі деталі, що рухаються, верстатів і агрегатів ретельно врівноважені, а для зменшення динамічних сил, які створюють вібрації, деталі змазуються;

- зменшення параметрів вібрації на шляхах її поширення від джерела порушення;

- організаційно-технічні – планово-запобіжний ремонт і контроль над вібраційними параметрами;

- гігієнічні й лікувально-профілактичні.

До засобами індивідуального віброзахисту ставляться виброгасящі рукавиці й спеціальне взуття – ГОСТІ 12.1.012-90.

Внутрішнє планування цеху розроблене відповідно до СНиП 2.09.02-85 «Виробничі будинки промислових підприємств».

Плануванням безпосередньо в робочого місця передбачені місця для зберігання тари із заготовками й готовою продукцією стелажі для зберігання технологічної документації й інструмента.

При розробці планування передбачається організація проходів, забезпечуючи вільний доступ до всіх робочих місць і які є шляхами евакуації особового складу на випадок надзвичайної ситуації.

Площа й обсяг, що доводиться на один робочої виробничої ділянки забезпечує виконання вимог мінімального обсягу 1,5м² на один робітника й мінімальні норми виробничої площі 4,5м² на один робітника й відповідає

вимогам СНиП 2.09.04-87 «Санітарно-побутові приміщення». Передбачені місця для утилізації й поховання промислових відходів.

на даній ділянці відсутні небезпечні джерела іонізуючого й іншого небезпечного випромінювання відповідно до норм НРБУ-97 «Норми радіаційної безпеки України».

На території проектного цеху повною мірою забезпечений захист персоналу від впливу електромагнітних полів згідно Дсанпин 3.3.6-096-2002 «Державні норми при роботі із джерелами електромагнітних полів», ДСН 476-2002 «Державні санітарні норми й правила при роботі з джерелами електромагнітних полів». Засоби захисту використовуються при всіх видах робіт згідно Дсанпин 3.3.6-096-2002 з дотриманням усіх норм і правил.

Захист персоналу досягається шляхом проведення організаційних, інженерно-технічних заходів, а також використанням індивідуальних засобів захисту.

До організаційних заходів ставляться: призначення режимів роботи установок, зменшення місць і часу перебування персоналу в зоні випромінювання й ін.

До інженерно-технічних заходів ставляться раціональне розміщення встаткування, використання засобів, які обмежують рівень випромінювання на робочім місці (поглинаючі матеріали, екрани).

До засобів індивідуального захисту відносимо захисні окуляри, щитки, шоломи, захисний одяг (комбінезони, халати, окуляри зі змістом металу). Спосіб захисту в кожному конкретному випадку визначається з урахуванням робочого діапазону частот, характеру роботи, необхідного рівня захисту.

Рівень електромагнітних полів контролюється й визначається перепадом потенціалів на робочім місці. Різниця в перепадах зон які контролюються встановлюється в 1кВ/м (для магнітного поля частотою 50Гц). Рівень напруженості магнітного поля частотою 50Гц при постійному впливі не повинен перевищувати 1,4 ка/м протягом робочого дня (8година.). Час перебування людини в магнітнім полі напруженістю більш 1,4 ка/м регламентується відповідно до Дсанпин 3.3.6-096-2002 і показано в таблиці 7.7.

Таблиця 7.7 - Час перебування людини в магнітнім полі напруженістю більш 1,4 ка/м

Час перебування персоналу, година	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруженість магнітного поля, ка/м	6,0	4,9	4,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,4
Магнітна індукція, мТл	7,5	6,13	5,0	4,0	3,13	2,5	2,0	1,75

Для вимірів у діапазоні частот 300МГц – 300ГГц використовуються прилади, призначені для визначення середніх значень щільності потоку енергії, з погрішністю 40% у діапазоні частот 300МГц – 2ГГц і 30% у діапазоні частот понад 2ГГц.

Відповідно до ГОСТ 12.1.006-84 «Електромагнітні поля радіочастот. Припустимі рівні напруженості й вимоги до проведення контролю на робочих місцях» виміру напруженості й щільності потоку енергії ЕМП проводяться не рідше одного разу в рік, а також у наступних випадках:

- при запровадженні в дію нових установок;
- при внесенні змін у конструкцію, розміщення й режим роботи діючих установок;
- під час і після проведення ремонтних робіт, які супроводжуються зміною випромінюваної потужності;
- при внесенні змін у засоби захисту від ЕМП;
- при організації нових робочих місць.

Виміру напруженості або щільності потоку енергії ЕМП допускається не проводити у випадках якщо: установка не працює в режимі випромінювання на відкритий хвилевід, антену або інший елемент, призначений для випромінювання ЕМП у навколишнє середовище, і її номінальна потужність згідно з паспортними даними не перевищує:

2,5Вт – у діапазоні частот 60кГц до 3МГц;

400мВт – у діапазоні частот понад 3МГц до 30МГц;

100мВт – у діапазоні частот понад 30МГц до 300МГц.

Заходи щодо пожежної безпеки виконані відповідно до вимог НАПБА.1.01.001-2004 – «Правила пожежної безпеки України». По ступеню пожежної небезпеки виробництва, відповідно до вимог СНиП 2.09.02-85 «Виробничі будинки промислових підприємств. Норми проектування» дана ділянка відноситься до пожежонебезпечної категорії Д, до виробництва, у яким в обігу перебувають неспаленні матеріали в холодному стані. Переходи, проїзди, евакуаційні виходи передбачені відповідно до вимог ДБН В.1.1.7-

2002 – «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Відстань від найбільш віддаленого місця до найближчого виходу без обмежень.

Згідно ДБН В.1.1.7-2002 – «Пожежна безпека об'єктів будівництва» для організації виробництва категорії Д у будинку забезпечений мінімальний ступінь вогнестійкості конструкцій – друга (див. таблицю 7.8).

Таблиця 7.8 - Ступінь вогнестійкості будинків і споруджень

Основні будівельні конструкції	Ступінь вогнестійкості II	
	Група займистості	Межавогнестійкості, година
Несучі стіни, колони, стіни сходових кліток	Неспаленні	2,0
Плити, перегородки й інші несучі конструкції	Неспаленні	0,75
Внутрішні перегородки, сходові клітки	Важкозаймисті	0,25
Брандмауери	Неспаленні	2,5

Вибір і розрахунки засобів пожежогасіння.

Із засобів пожежогасіння на ділянці передбачене:

1) Протипожежне постачання: норма витрати води на одну пожежа для будинків зі ступенем вогнестійкості II категорії виробництва Д при загальному обсязі ділянки 8000м^3 становить 15 літрів по ДБН В.1.1.7-2002 – «Пожежна безпека об'єктів будівництва».

Протипожежний водопровід розраховується на подачу зазначеного кількості води протягом трьох годин. На ділянці встановлено три пожежні кра-ни з рукавами й брансбойтами.

2) На кожні 600м^2 для механічних цехів прийняте:

- вогнегасник ОУ-5 – 2 шт.;
- ящик з піском – 2шт.;
- лопати залізні – 2 шт.

Ухвалюємо для цеху:

- вогнегасник ОУ-5 – 18 шт.;
- ящик з піском – 18 шт.;
- лопати залізні – 18 шт.

Вуглекислотні вогнегасники призначені для гасіння тільки електроустановок. В електроустановках передбачені наступні заходи пожежної безпеки:

– усі частини, що іскрять, устаткування укладені в пилонепроникні ковпаки;

– силове розведення виконане схованої в трубах;

– силова апаратура постачена захистом від короткого замикання.

У складськiм господарствi передбачаються наступнi заходи щодо пожежної безпеки:

– чітка організація зберігання матеріальних цінностей;

– забезпечення вільного доступу до всіх стелажів;

– строге дотримання правил спільного зберігання матеріалів, хімікатів;

– оснащення складів пожежною сигналізацією й засобами індивідуального пожежогасіння;

– поділ складів на відсіки протипожежними стінами за ознакою однорідності засобів пожежогасіння й можливості спільного зберігання матеріалів.

Проектом передбачений пристрій пожежної сигналізації на ділянці й у допоміжних приміщеннях, яка встановлюється (з розрахунку 1 гучномовець на 65 м^2 площі) і замикається на прийомну станцію пожежної сигналізації типу Т10Л-10/100.

Для захисту від блискавок передбачений пристрій блискавковідводів. З метою захисту від статичної електрики передбачене заземлення неструмоведучих електропровідних частин устаткування.

Металеві повітрепроводи встановлені через кожні 40-50 м.

Застосоване також зволоження повітря до 60-70%, що дозволяє знизити електризацію матеріалу.

У цеху ($V = 7500 \text{ м}^3$) проводять пайку й лудіння м'яким припоєм ПОС-40. За 1 годину роботи витрачається 1кг припою, до складу якого входить 0,6кг свинцю ($N=0,6\text{кг}$). При пайку й лудінні випаровується певна кількість припою. Визначимо яка кількість повітря, необхідно подати в приміщення для зниження концентрації пар свинцю до гранично припустимого. Зміст пар свинцю в проточнім повітрі дорівнює нулю. Кількість припою, що випаровується, $= 0,15\%$.

1. Кількість шкідливих речовин вступників у повітряний простір цеху, U (мг/година):

$$U = \frac{N \cdot n\%}{100\%} = \frac{0.6 \cdot 0.15}{100} = 0.009 \text{ мг / час}$$

де N – маса шкідливої речовини використовуваного в приміщенні за 1 годину;

n – кількість припою, що випарюється.

2. Повітрообмін у цеху з урахуванням кількості пар шкідливих речовин, що перебувають у робочій зоні з метою розведення їх до ПДК:

$$L = \frac{U}{k_1} = \frac{0.009}{0.01} = 0.09 \text{ м}^3 / \text{час},$$

3. Кількість повітря, необхідно подати в приміщення для зниження концентрації пар свинцю до гранично припустимого:

$$\Delta = \frac{L}{V} = \frac{0.09}{7500} = 12 \cdot 10^{-6}$$

Таким чином, передбачені заходи щодо охорони праці, виробничої санітарії, гігієні праці й пожежної безпеки забезпечують безпечні й комфортні умови праці персоналу.

ВИСНОВКИ

Метою даного дипломного проекту було закріплення й поглиблення отриманих знань, одержання навичок для самостійної інженерної діяльності по розробці технології механічної обробки деталей підвищеної точності, конструюванню технологічного оснащення, різального інструменту й контрольних пристосувань.

У технологічній частині проекту була розглянута деталь – вал турбіни компресора.

У проекті розроблено маршрут виготовлення деталі, проведено розрахунки режимів різання і технічного нормування, розраховано операційно-технологічні припуски на обробку. На їх підставі спроектована заготовка вала. Виготовлення її методом зворотного видавлювання дозволяє одержати річний економічний ефект 182980 грн.

Також було спроектовано верстатне пристосування для протягування шліців і контрольне пристосування для виміру радіального й торцевого биття.

Автоматизація, виконана у дипломному проекті, присвячувалась визначенню методів циклічного використання ЗОТС у верстатах з ЧПК, багатоцільових верстатах, обробних центрах, автоматичному очищенню, сепаруванню ЗОТС.

У спеціальному завданні було розглянуто методи підвищення надійності деталей ГТД.

Економічний ефект від використання протягування шліців, замість додання склав 8390 грн.

Також було виконано роботу з охорони праці по виявленню небезпечних факторів на виробництві і визначенню шляхів запобігання травматизму, професійним захворюванням та негативному впливу на оточуюче середовище, з урахуванням використаного обладнання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Алексеєнко, О.В. Методичні вказівки до практичних занять з дисциплін «Технології машинобудування», «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин» [Текст]:/ О.В. Алексеєнко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 86с.
2. А.Г. Косилова Справочник технолога-машиностроителя [Текст]:/ В 2т. Т.1./ под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова; 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
3. А.Г. Косилова Справочник технолога-машиностроителя [Текст]:/ В 2т. Т.2./ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова; 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
4. Горбачев А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения [Текст]: учебное пособие для вузов/ А.Ф. Горбачев, В.А. Шкред; 5-е издание, стереотипное. Перепечатка с четвертого издания. – М.: ООО ИД "Альянс", 2007. – 256 с.
5. Ачеркан Н.С. Справочник машиностроителя [Текст]:/ В 6т. Т.5./ Под ред. Э.А. Сателъ – М.: Машиностроение, 1964. – 470с.
6. Вардашкин Б.М. Станочные приспособления [Текст]: в 2 т. Т.1/ Под ред. Б.М. Вардашкина и А.А. Шатилова. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.
7. Выдрин А.И. Малая механизация и автоматизация в сборочном цехе [Текст]: учебное пособие для вузов / А.И. Выдрин, М.З. Гамус; под. общ. ред. Л.М. Резницкого. – М.: Машиностроение, 1961. – 436 с.
8. Електронний ресурс:
<https://greenologia.ru/othody/sinteticheskie/utilizasiya-soj.html>
9. Каменская А.А. Воздействие производств обработки металлов резанием машиностроительных предприятий на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба [Текст]: // А.А. Каменская, Р.И.Ковалова, В.М.Лабецкий. – ГПНТБ СО РАН, 1995. – 102с.
10. Електронний ресурс: <https://www.dissercat.com/content/povyshenie-nadezhnosti-gtd-na-osnove-kompyuternykh-tekhnologii-proektirovaniya-i-vibrodiagno>
11. Пейсахов А.М. Металловедение и технологии конструкционных материалов [Текст]: Учебник / А.М. Пейсахов, А.М.Кучер. – СПб.:Изд-во Михайлова В.А., 2003г. – 407с.

12. Арзамасов Б.Н. Металоведение [Текст]: Учебник для ВУЗов // Б.Н.Арзамасов, В.И.Макарова, Г.Г.Мухин, - 3-е издание. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 648 с.

13. Яценко В.К. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології авіадвигунобудування і машинобудування для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування» та «Технологія будування авіаційних двигунів» усіх форм навчання [Текст]/ В.К. Яценко, В.І. Ципак, Є.Я. Коренєвський, В.Д. Хорошков та ін. – М.: Запоріжжя, ЗНТУ, 2003. – 245 с.