

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

перший (бакалаврський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Вдосконалення технологічного процесу виготовлення вала-шестерні
двоступінчастого редуктора»

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи Мз-111сп

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
«Технології машинобудування»

ПАТРАБОЙ В.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГОНЧАР Н.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ФРОЛОВ М.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

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

Інститут, факультет машинобудівний
 Кафедра «Технологія машинобудування»
 Ступінь вищої освіти перший (бакалаврський)
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) «Технології машинобудування»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри ДЯДЯ С.І.
 « » 20 року

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

- ПАТРАБОЯ Віталія Васильовича
(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)
1. Тема проєкту (роботи) Вдосконалення технологічного процесу виготовлення вала-шестерні двоступінчастого редуктора
- керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. ГОНЧАР Наталя Вікторівна,
(науковий ступінь, ім'я по батькові, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)
- затверджені наказом закладу вищої освіти від «28» березня 2024 р. №97
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 11 червня 2024 р.
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення вала-шестерні, річна програма випуску N=7500шт
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина; 2 Конструкторська частина; 3. Організаційна частина планування дільниці; 4 Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки; 5. Охорона праці.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення деталі, креслення заготовки, плакат з твердотільними моделями, маршрут виготовлення вала-шестерні, плакат зображення етапів підготовки управляючої програми, креслення робочого пристосування, плакат розрахунків деталі на міцність.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3, 5	ГОНЧАР Н.В., доцент		
4	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., доцент		
нормоконтр.	ДЯДЯ С.І., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання 01 травня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	20.05.2024	
2	Конструкторська частина	27.05.2024	
3	Розробка планування ділянки	29.05.2024	
4	Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки	03.06.2024	
5	Оформлення пояснювальної записки, креслень, технологічних карт	05.06.2024	
6	Нормоконтроль і рецензія	07.06.2024	
7	Захист дипломного проекту	14.06.2024	

Студент

(підпис) Віталій ПАТРАБОЙ
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

(підпис) Наталя ГОНЧАР
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 85 с., 21 рис., 24 табл., 2 додатки, 10 джерел.

ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ, ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ,
МАРШРУТ ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ,
РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження – вал-шестерня двоступінчастого редуктора.

Мета роботи – вдосконалити технологічний процес виготовлення вала-шестерні двоступінчастого редуктора.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

В дипломному проекті вдосконалено технологічний процес виготовлення «Вал-шестерні», запропоновано більш ефективний метод отримання заготовки за вимогами серійного виробництва, розраховано економічний ефект від впровадження верстатів з ЧПК, розраховано режими різання, норми часу, за допомогою САПР розроблено керуючу програму на операцію з ЧПК, спроектовано робоче та запропоновано контрольне пристосування, досліджено міцнісні характеристики деталі, виконано розрахунок щодо організаційних питань і кількості технологічного обладнання та робітників на дільниці, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....	9
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	10
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	11
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	14
1.4.1 Вибір технологічних баз.....	14
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	15
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	17
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	19
1.6 Розрахунок режимів різання.....	25
1.6.1 Операція 090 – шліфувальна.....	25
1.6.2 Операція 050 – зубофрезерна	27
1.6.3 Операція 040 – фрезерна.....	30
1.7 Технічне нормування операцій.....	33
1.7.1 Технічне нормування операції 090	33
1.7.2 Технічне нормування операції 050.....	35
1.7.3 Технічне нормування операції 040.....	36
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	38
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	41
2.1 Проектування та розрахунок пристрою для фрезерування пазу.....	41
2.1.1 Опис конструкції та принципу роботи пристрою.....	41
2.1.2 Обґрунтування способу базування.....	41
2.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску деталі.....	43
2.1.4 Розрахунок пристосування на точність.....	46

2.2 Проектування контрольного пристосування.....	48
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	48
2.3 Розрахунок на міцність деталі «Вал-шестерня».....	49
3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ.....	51
4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ.....	54
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	66
5.1 Основні правила техніки безпеки при роботі на верстатах з ЧПК.....	66
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	70
Додаток А. Специфікація робочого пристосування.....	72
Додаток Б. Технологічні карти.....	74

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЗОТС – змащувально-охолоджувальне технічне середовище

КГШП – кривошипний гаряче штампувальний прес

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

ТО – термічна обробка

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

Сучасне машинобудування є однією з ключових галузей промисловості, яка значною мірою визначає рівень економічного розвитку країни. Зокрема, створення високоякісних та надійних редукторів є важливим завданням, оскільки вони знаходять широке застосування у різних галузях: від автомобільної до авіаційної промисловості, від енергетики до харчової індустрії.

Одним з основних елементів редуктора є вал-шестерня, яка забезпечує передачу крутного моменту та зміну швидкості обертання. Якість виготовлення вал-шестерні безпосередньо впливає на ефективність і надійність роботи всього механізму. Тому вдосконалення технологічного процесу виготовлення вал-шестерні двоступінчастого редуктора є актуальним завданням для підвищення конкурентоспроможності продукції та зниження виробничих витрат.

У даній дипломній роботі розглядаються шляхи вдосконалення технологічного процесу виготовлення вал-шестерні двоступінчастого редуктора. Основна увага приділяється аналізу сучасних методів обробки, вибору оптимальних матеріалів та інструментів, а також застосуванню інноваційних технологій та автоматизації виробничих процесів. Метою роботи є внесення змін в технологічний процес виготовлення вала-шестерні для покращення якості та зниження собівартості деталі.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю постійного вдосконалення виробничих процесів у контексті швидкого розвитку технологій та зростаючих вимог до якості продукції. Науково-технічний прогрес вимагає від підприємств впровадження нових підходів і рішень, які дозволяють досягти високих техніко-економічних показників.

Технічні вимоги до деталей:

- твердість – 28...32 HRC;
- термічна обробка – гартування, відпал;
- заготовка - штамповка за ГОСТ 7505-89. Клас точності виготовлення – Т3; ступінь складності – С2; група сталі – М2; вихідний індекс – 13;
- допуск овальності та конусності поверхонь В та Г - 0,008 мм;
- невказані граничні відхилення: Н12, h12, ІТ12/2;
- гострі краї зкруглити радіусом або фаскою 0,5 мм.

Механічні властивості сталі 40Х [1]:

- щільність – 7870 кг/м³;
- межа міцності при розтягуванні – 980 МПа;
- межа плинності – 785 МПа;
- відносне подовження – 14%;
- ударна в'язкість – 590 кДж/м².

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Маса деталі «Вал-шестерня» становить 0,23 кг, враховуючи річну програму випуску 7500 штук, тип виробництва призначаємо згідно методики [2], як серійний, а форму організації труда – змінно-потокову.

Кількість партії оброблюваних деталей (чисельна характеристика серійного виробництва), яка періодично запускається у виробництво, розраховується за формулою:

$$n = \frac{a \cdot N}{A}, \text{ шт} \quad (1.1)$$

де N – річна програма випуску, N=7500 шт;

α – періодичність запуску деталей в виробництво, $\alpha=3$ дні;

A – кількість робочих днів на рік, A=250 днів.

$$n = \frac{3 \cdot 7500}{250} = 90 \text{ шт}$$

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Згідно аналізу конструкції деталі, маси, програми випуску в якості методу отримання заготовки обираємо:

- штамповка на кривошипному гаряче штампувальному пресі (КГШП);
- прокат.

Для штампованої заготовки встановлюємо наступні характеристики [3]:

- клас точності – Т3;
- група сталі – М2;
- ступінь складності – С2;
- нахили для зовнішніх поверхонь – 7°;
- радіуси заокруглень – 2,5 мм;
- припуски на всі поверхні приймаються згідно [4].

Маса заготовки визначається за допомогою програмного забезпечення NX шляхом виміру масово-центровочних характеристик. 3D-моделі заготовок наведено на рис. 1.2-1.3.

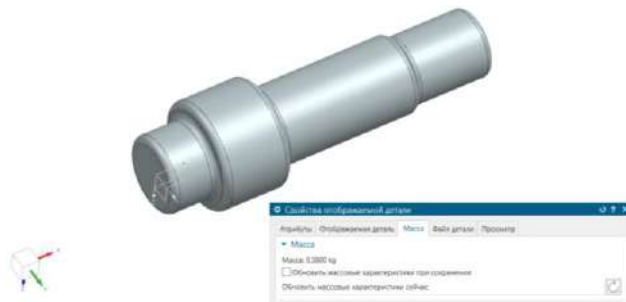


Рисунок 1.2 – 3D-модель заготовки, отриманої на КГШП

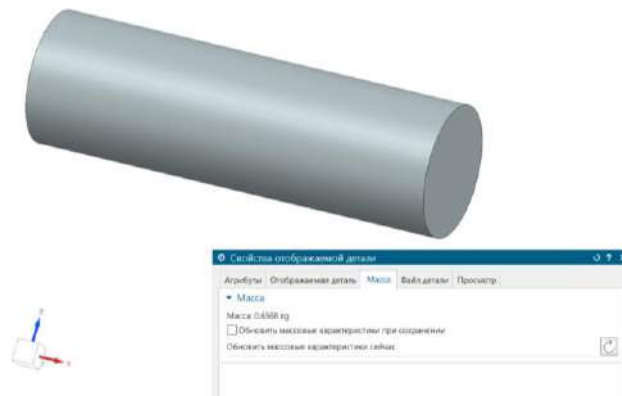


Рисунок 1.3 – 3D-модель заготовки з прокату

Собівартість виготовлення однієї заготовки B , грн, розраховується за формулою [4]:

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{B_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \frac{B_{\text{Відх}}}{1000}, \quad (1.2)$$

$$B_{\Pi} = \frac{B_B}{1000} \cdot Q - (Q - q) \frac{B_{\text{Відх}}}{1000}, \quad (1.3)$$

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

B_B – базова собівартість виготовлення 1 т заготовок, грн [4];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [4];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [4];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [4];

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [4];

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [4];

$B_{\text{Відх}}$ – вартість 1 т стружки [4].

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{3500}{1000} \cdot 0,38 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 - (0,38 - 0,23) \cdot \frac{140}{1000} = 1,94 \text{ грн}$$

$$B_{\Pi} = \frac{1260}{1000} \cdot 0,66 - (0,66 - 0,23) \cdot \frac{140}{1000} = 0,77 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою [4]:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (1.4)$$

$$\eta_{\text{КГШП}} = \frac{0,23}{0,38} = 0,6$$

$$\eta_{\text{п}} = \frac{0,23}{0,66} = 0,35$$

Так як отримане значення $V_{\text{п}} < V_{\text{КГШП}}$, і $\eta_{\text{п}} < \eta_{\text{КГШП}}$, тому необхідно порівняти додаткові витрати згідно формули:

$$D_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}}{1000} \cdot M_{\text{п}} \quad (1.5)$$

$$D_{\text{п}} = \frac{1260}{1000} \cdot 2053,6 = 3587,5 \text{ грн}$$

Додаткові витрати методу отримання на КГШП:

$$D_{\text{КГШП}} = (V_{\text{КГШП}} - V_{\text{п}}) \cdot N, \quad (1.6)$$

$$D_{\text{КГШП}} = (1,94 - 0,77) \cdot 7500 = 2775 \text{ грн}$$

Порівняльні показники обраних методів виготовлення заготовок заносяться в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			КГШП	Прокат
Вага заготовки	Q	кг	0,38	0,66
Базова вартість 1 т заготовки	$V_{\text{Б}}$	грн	3500	1260
Коефіцієнти	$K_{\text{Т}}$		1	
	$K_{\text{М}}$		1,51	
	$K_{\text{С}}$		0,77	
	$K_{\text{З}}$		1,27	
	$K_{\text{П}}$		1	
Вартість 1 т стружки	$V_{\text{відх}}$	грн	140	140
Собівартість заготовки	$V_{\text{з}}$	грн	1,94	0,77
КВМ	η		0,6	0,35

Додаткові витрати матеріалу метода отримання з прокату:

$$M_{\Pi} = \frac{q(\eta_{\text{кгшп}} - \eta_{\Pi})}{\eta_{\text{кгшп}} \cdot \eta_{\Pi}} \cdot N \quad (1.7)$$

$$M_{\Pi} = \frac{0,23 \cdot (0,6 - 0,35)}{0,6 \cdot 0,35} \cdot 7500 = 2053,6 \text{ кг}$$

Додаткові витрати при отриманні заготовки прокатом $D_{\Pi} = 3587,5$ грн більші ніж додаткові витрати при отриманні заготовок на пресах $D_{\text{кгшп}} = 2775$ грн, тому обираємо кращим варіантом отримання заготовки: штампування на КГШП.

Річне заощадження знаходимо за формулою:

$$E_p = D_{\Pi} - D_{\text{кгшп}} \quad (1.8)$$

$$E_p = 3587,5 - 2775 = 812,5 \text{ грн}$$

1.4 Проєктування технологічного маршруту виготовлення деталі

1.4.1 Вибір технологічних баз

В якості чорнових баз, на першій фрезерно-центрувальній операції, обираємо шийки $\varnothing 20k6$ та торець (розмір 25 мм). На токарних та фрезерних операціях в якості баз обираємо: зовнішню циліндричну поверхню, торець та протилежний центрувальний отвір. При шліфуванні, зубофрезеруванні та зубошліфуванні в якості баз обираємо штучні технологічні бази центрувальні отвори. При такому виборі баз забезпечується найменша похибка установки та точність обробки.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Розробимо послідовність переходів обробки поверхонь, для цього складемо маршрут обробки поверхні (МОП). Перед цим виконаємо технологічну нумерацію поверхонь (рис. 1.4).

Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні розраховується за формулами:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (1.9)$$

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (1.10)$$

де Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (1.11)$$

де Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

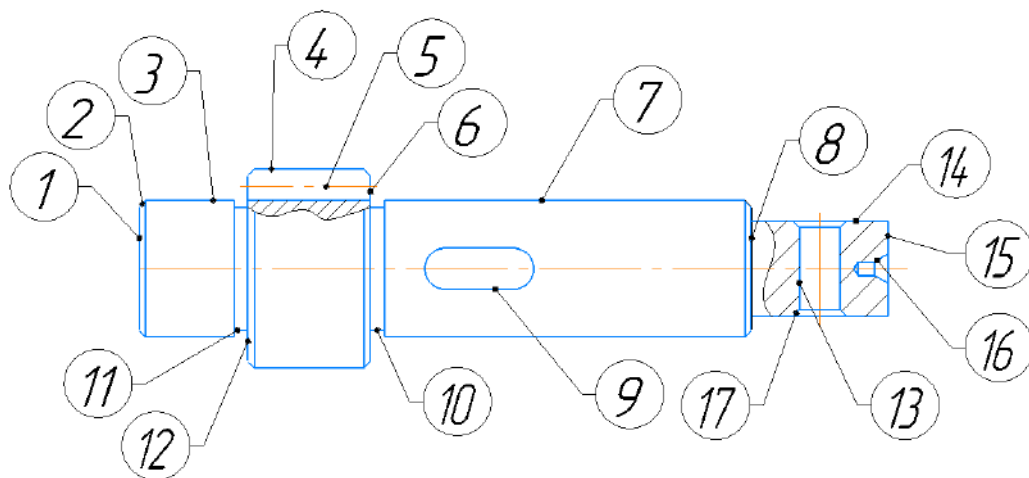


Рисунок 1.4 – Технологічна розмітка поверхонь вала-шестерні

Поверхня 3, 7 – $\varnothing 20k6^{+0,015}_{+0,002}$

Загальне уточнення за показниками якості:

$$\varepsilon_{d_0} = \frac{1,2}{0,013} = 92,3,$$

$$\varepsilon_{\Delta_0} = \frac{0,6}{0,016} = 37,5,$$

$$\varepsilon_{Ra_0} = \frac{40}{1,25} = 32,$$

Кількість переходів розраховується за превалюючим показником ε_{d_0} за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (1.12)$$

$$k = 2 \cdot \lg 92,3 = 3,9$$

Приймаємо $k=4$ переходи. Визначаємо різницю показників якості та розподіляємо цю різницю між $k=4$ переходами за законом прогресивного зменшення: $IT=IT17-k6=11=5+3+2+1$.

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

1) для допуску – $IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h9 \rightarrow TO \rightarrow h7 \rightarrow k6$;

2) для шорсткості – $Ra40 \rightarrow Ra10 \rightarrow Ra5 \rightarrow TO \rightarrow Ra2,5 \rightarrow Ra1,25$.

Перший перехід – точіння чорнове: $T_{D1}=210$ мкм; $T_{Ra1}=10$ мкм [5].

Уточнення:

$$E_{d1}=1200/210=5,7$$

$$E_{Rz}=40/10=4$$

Другий перехід – точіння чистове: $T_{D2}=52$ мкм; $T_{Ra2}=5$ мкм [5].

Уточнення:

$$E_{d2}=210/52=4$$

$$E_{Rz}=10/5=2$$

$$E_{dj}=5,7 \cdot 4=23 < E_d=92,3$$

$$E_{Rzj}=4 \cdot 2=8 < E_{Rz}=32$$

Четвертий перехід – шліфування чорнове: $T_{D4}=21$ мкм; $T_{Ra4}=2,5$ мкм.

Уточнення:

$$E_{d4}=52/21=2,5$$

$$E_{Rz4}=5/2,5=2$$

$$E_{dj}=23 \cdot 2,5=57,5 < E_d=92,3$$

$$E_{Rzj}=8 \cdot 2=16 < E_{Rz}=32$$

П'ятий перехід – чистове шліфування: $T_{D5}=13$ мкм; $T_{Ra5}=1,25$ мкм [5].

Уточнення:

$$E_{d5}=21/13=1,6$$

$$E_{Rz}=2,5/1,25=2$$

$$E_{dj}=57,5 \cdot 1,6=92 < E_d=92,3$$

$$E_{Rzj}=16 \cdot 2=32 < E_{Rz}=32$$

Таким же методом робимо розрахунки і для інших поверхонь. Отримані дані заносимо до таблиці 1.3.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Складаємо загальну етапну схему виготовлення вал-шестерні – етапний маршрут виготовлення деталі (МВД):

1 етап – отримання заготовки, термічна обробка (ТО) – нормалізація.

Таблиця 1.3 – Маршрут обробки поверхонь деталі

Характеристика поверхонь	МОП		Допуски			Уточнення		
	IT	Метод обробки	Геометричні розміри, мм	Шорсткість	Биття, мм	Геометричні розміри	Шорсткість	Биття
Ø20к6 Ra=1,25 ↑=0,016	17	Заготовка	1,200	40	0,6	-	-	-
	12	Точіння чорнове	0,210	10	0,1	5,7	4	6
	9	Точіння чистове	0,052	5	0,04	4	2	2,5
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	7	Шліфування чорнове	0,021	2,5	0,02	2,5	2	2
	6	Шліфування чистове	0,013	1,25	0,016	1,6	1,5	1,2
Ø29,2h11 Ra=2,5 ↑=0,05	17	Заготовка	1,200	40	0,6	-	-	-
	14	Точіння чорнове	0,520	10	0,2	2,3	4	4
	12	Точіння чистове	0,210	5	0,1	2,4	2	2
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	11	Шліфування	0,130	2,5	0,05	1,5	2	2
18±0,2 Ra=2,5 ↑=0,025	17	Заготовка	1,200	40	0,6	-	-	-
	15	Точіння чорнове	0,700	10	0,1	1,7	4	6
	14	Точіння чистове	0,430	5	0,05	1,6	2	2
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	13	Шліфування	0,400	2,5	0,025	1,1	2	2
Ø6H8 Ra=5 ↑=0,09	17	Заготовка	-	-	-	-	-	-
	15	Свердління	0,750	10	0,35	-	-	-
	14	Зенкерування	0,180	5	0,09	4,1	2	3,9
	-	ТО	-	-	-	-	-	-

1 етап – отримання заготовки, термічна обробка (ТО) – нормалізація.

2 етап – механічна обробка:

- токарна обробка (чорнова, чистова);
- фрезерна обробка;
- свердлильна обробка;
- зубофрезерна обробка;
- слюсарна;

3 етап – ТО (гартування, відпуск);

4 етап – механічна обробка:

- шліфування (чорнове, чистове);
- зубошліфування;
- слюсарна;

5 етап – мийка, контроль.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахуємо припуск для поверхні $\varnothing 20k6^{+0,015}_{+0,002}$ розрахунково-аналітичним методом. Значення шорсткості та глибини дефектного шару для заготовки: $Rz_1=160$ мкм та $h_1=200$ мкм [5]. Просторові відхилення розраховують за формулою:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (1.13)$$

де $\rho_{зм}$ – відхилення від соосності, $\rho_{зм} = 0,4$ мм [5];

$\rho_{кор}$ – похибка від короблення.

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (1.14)$$

де $\Delta_{кор}$ – кривизна штамповки, $\Delta_{кор} = 0,003$ мм [5].

$$\rho_{кор} = 0,003 \cdot 104 = 0,312 \text{ мм}$$

$$\rho_1 = \sqrt{0,4^2 + 0,312^2} = 0,507 \text{ мм}$$

Для чорнового точіння значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо: $Rz_2=40$ мкм та $h_2=40$ мкм [5]. Просторова похибка для механічних переходів розраховується за формулою:

$$\rho_j = K_{yt} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (1.15)$$

де K_{yt} – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки [5].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 0,507 = 30 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{\text{заг}}^2 + 1} \quad (1.16)$$

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{1,2^2 + 1} = 0,4 \text{ мм}$$

Для чистового точіння значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо: $Rz_3=20$ мкм та $h_3=20$ мкм [5]. Просторова похибка:

$$\rho_3 = 0,06 \cdot 30 = 1,8 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_j = K_{yt} \cdot \varepsilon_i, \text{ мм} \quad (1.17)$$

$$\varepsilon_3 = 0,06 \cdot 400 = 24 \text{ мкм}$$

Просторова похибка для ТО:

$$\rho_4 = \Delta_k \cdot L \quad (1.18)$$

де $\Delta_{\text{кор}}$ – кривизна після ТО, $\Delta_{\text{кор}}=0,1$ мм [6].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 100 = 10 \text{ мкм}$$

Для шліфування чорнового значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо: $Rz_5=10$ мкм та $h_5=15$ мкм [5].

Просторова похибка:

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (1,8 + 10) = 0,3 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 24 = 0,7 \text{ мкм}$$

Для шліфування чистового значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо: $Rz_5=6,3$ мкм та $h_5=5$ мкм [5].

Просторова похибка:

$$\rho_6 = 0,02 \cdot 0,3 = 0 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_6 = 0,02 \cdot 0,7 = 0 \text{ мкм}$$

Мінімальні припуски для переходів механічної обробки:

$$2z_i^{\min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (1.19)$$

$$2z_2^{\min} = 2(160 + 200 + \sqrt{507^2 + 400^2}) = 2011 \text{ мкм}$$

$$2z_3^{\min} = 2(40 + 40 + \sqrt{30^2 + 24^2}) = 236 \text{ мкм}$$

$$2z_5^{\min} = 2(20 + 20 + \sqrt{1,8^2 + 0,7^2}) = 84 \text{ мкм}$$

$$2z_6^{\min} = 2(10 + 15 + \sqrt{0,3^2 + 0^2}) = 50 \text{ мкм}$$

Максимальний розмір поверхні деталі – останнього переходу розраховується за формулою:

$$d_6^{\max} = d_6^{\min} + ES_{d6} \quad (1.20)$$

$$d_6^{\max} = 20,002 + 0,013 = 20,015 \text{ мм}$$

Максимальні розміри для механічних переходів розраховується за формулою:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (1.21)$$

$$d_5^{\max} = 20,015 + 0,05 + 0,021 = 20,086 \text{ мкм}$$

$$d_3^{\max} = 20,086 + 0,084 + 0,052 = 20,222 \text{ мкм}$$

$$d_2^{\max} = 20,222 + 0,21 + 0,236 = 20,668 \text{ мкм}$$

$$d_1^{\max} = 20,668 + 2,011 + 1,2 = 23,879 \rightarrow 23,9 \text{ мкм}$$

Мінімальні розміри поверхні розраховуються за формулою:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (1.22)$$

$$d_6^{\min} = 20,015 - 0,013 = 20,002 \text{ мм}$$

$$d_5^{\min} = 20,086 - 0,033 = 20,053 \text{ мм}$$

$$d_3^{\min} = 20,222 - 0,084 = 20,138 \text{ мм}$$

$$d_2^{\min} = 20,668 - 0,21 = 20,458 \text{ мм}$$

$$d_1^{\min} = 23,9 - 1,2 = 22,7 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків розраховуються за формулою:

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

$$2z_2^{\max} = 23,9 - 20,458 = 3,442 \text{ мм}$$

$$2z_3^{\max} = 20,668 - 20,138 = 0,53 \text{ мм}$$

$$2z_5^{\max} = 20,222 - 20,053 = 0,169 \text{ мм}$$

$$2z_6^{\max} = 20,086 - 20,002 = 0,084 \text{ мм}$$

Перевірка правильності розрахунків виконується за формулами:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{заг}} + TD_{\text{дет}} \quad (1.24)$$

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min} \quad (1.25)$$

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max} \quad (1.26)$$

$$2z_0^{\max} = 23,9 - 20,002 = 3,898 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\min} = 22,7 - 20,015 = 2,685 \text{ мм}$$

$$TD_0 = 1,2 + 0,013 = 1,213 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 3,898 - 2,685 = 1,213 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 23,1^{+0,8}_{-0,4}$ мм.

Результати розрахунку припусків та технологічних розмірів наведено в таблиці 1.4, схематичне зображення на рис. 1.5.

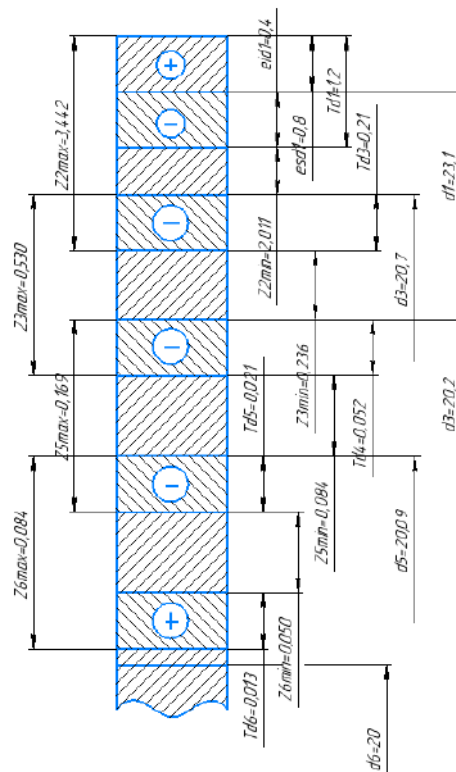


Рисунок 1.5 – Схематичне зображення припусків

Таблиця 1.4 – Розрахунок припусків на обробку та технологічні операційні розміри по технологічним переходам.

Характерис- тики поверхонь	МОП		Складові припуску				До- пуск	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуску		Виконавчий розмір
	IT	Метод обробки	R _{zi}	h _i	ρ _i	ε _i	Td, мм	d _i ^{max} , мм	d _i ^{min} , мм	2z _i ^{max} мкм	2z _i ^{min} мкм	
Поверхня 3, 7 Ø20k6 Ra=1,6 ↑=0,025	17	Заготовка	160	200	507	-	1,2	23,9	22,7	-	-	Ø23,1 ^{+0,8} _{-0,4}
	12	Точіння чорнове	40	40	30	400	0,21	20,668	20,458	3442	2011	Ø 20,7 _{-0,21}
	9	Точіння чистове	20	20	1,8	24	0,052	20,222	20,138	530	236	Ø 20,2 _{-0,052}
	-	ТО	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-
	7	Шліфування чорнове	10	15	0,3	0,7	0,021	20,086	20,053	169	84	Ø 20,09 _{-0,021}
	6	Шліфування чистове	6,3	5	0	0	0,013	20,015	20,002	84	50	Ø 20 ^{+0.015} _{+0.002}
							3,898-2,685=1,2+0,013					
							1,213=1,213			3,898	2,685	

1.6 Розрахунок режимів різання

1.6.1 Операція 090 – шліфувальна

Чистове шліфування крайньої шийки виконуємо на круглошліфувальному верстаті моделі 3У10В. Інструмент: шліфувальне круг 1 250x20x76 15А 40Н СТ1 6 К8 А 50 м/с ГОСТ 2424-83 [6]. Пристосування – центр, хомутик повідковий. Операційний ескіз зображено на рис. 1.6.

Технічні характеристики верстата:

- 1) найбільший діаметр оброблюваної деталі – 100 мм;
- 2) найбільша довжина оброблюваної деталі – 160 мм;
- 3) частота обертання круга – 2800 об/хв;
- 4) частота обертання шпинделя (безступінчаста) – 85...1000 об/хв;
- 5) потужність – 1,1 кВт.

Припуск на обробку $Z_{\max}=0,084/2=0,042$ мм згідно таблиці 1.4.

Так як ширина круга більше ширини шліфування, то повздовжня подача не використовується. Подача радіальна розраховуємо по формулі:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_S, \text{ мм/об} \quad (1.27)$$

де S_{0T} – табличне значення подачі, $S_{0T} = 0,018$ мм/об [6];

K_S – коефіцієнт на подачу

$$K_S = K_{SK} \cdot K_{Sy} \cdot K_{S\phi} \cdot K_{Sr} \cdot K_{SM} \quad (1.28)$$

де K_D – коефіцієнт, враховуючий діаметр круга, $K_D=0,42$ [6];

K_R – коефіцієнт, враховуючий радіус галтелі, $K_R=0,85$ [6];

K_T – коефіцієнт, враховуючий стійкість круга, $K_T=1,0$ [6];

K_h – коефіцієнт, враховуючий припуск на обробку, $K_h=1,0$ [6];

K_{IT} – коефіцієнт, враховуючий квалітет виконання розміру, $K_{IT}=0,5$ [6];

K_M – коефіцієнт, враховуючий матеріал деталі, $K_M=1,0$ [6].

$$K_S = 0,42 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,178$$

$$S_{\text{поп}} = 0,018 \cdot 0,178 = 0,0032 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S=0,0025$ мм/об.

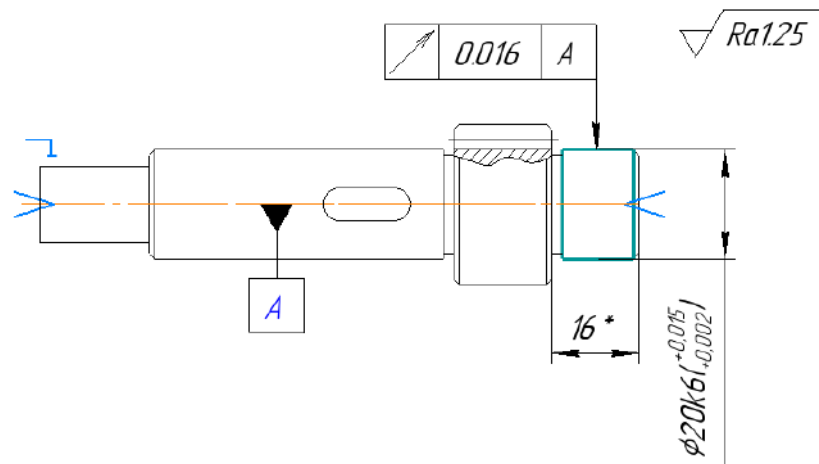


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз

Табличне значення швидкості обертання деталі – $V_{ш.дет.}=50$ м/хв [7]:

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

$$n_{дет.}^p = \frac{1000 \cdot V_{ш.дет.}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (1.29)$$

$$n_{дет.}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 20} = 796 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстату $n_{ш.кр.}=2800$ об/хв, $n_{дет.}=750$ об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулами:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (1.30)$$

$$V_{ш.кр.} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000 \cdot 60} \quad (1.31)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 750}{1000} = 47 \text{ м/хв}$$

$$V_{ш.кр.} = \frac{3,14 \cdot 250 \cdot 2800}{1000 \cdot 60} = 37 \text{ м/с}$$

Визначаємо основний час:

$$T_o = \frac{z \cdot k}{n_{\text{дет}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (1.32)$$

де $k=1,7$ – коефіцієнт уточнення.

$$T_o = \frac{0,042 \cdot 1,7}{750 \cdot 0,0025} = 0,04 \text{ хв}$$

1.6.2 Операція 050 – зубофрезерна

Для фрезерування зубчастого вінця обираємо зубофрезерний верстат моделі 5К324А. Операційний ескіз зображено на рис. 1.7. В якості інструменту вибираємо черв'ячну фрезу $D=100$ мм, $L=100$ мм, $z=14$, $m=2$ мм по ГОСТ 9324-80.

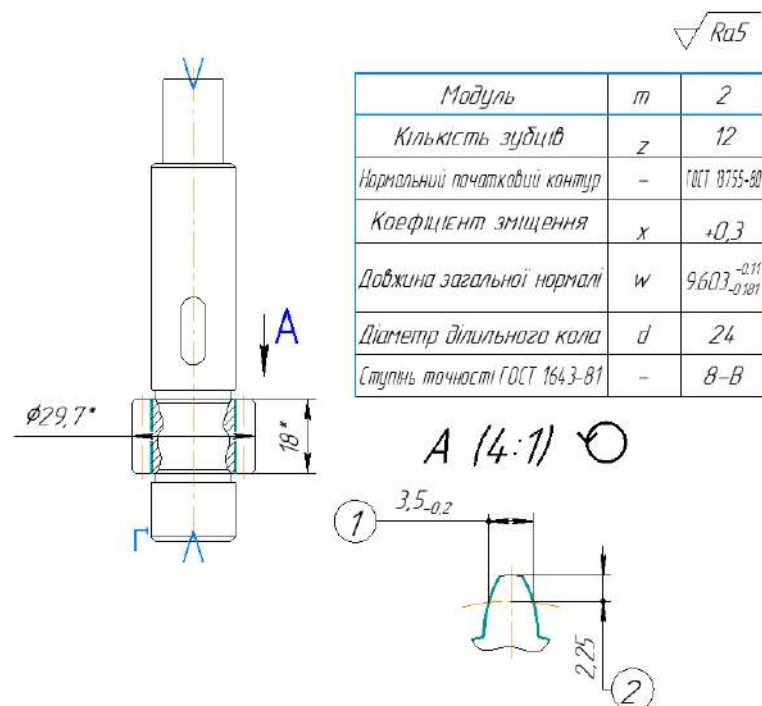


Рисунок 1.7 – Операційний ескіз

Технічні характеристики верстата:

- 1) найбільший діаметр деталі – 500 мм;
- 2) найбільший діаметр вінця деталі – 300 мм;
- 3) частота обертання фрези – 50...310 об/хв;
- 4) подача повздовжня – 0,8...5 мм/об;
- 5) подача тангенційна – 0,17...3,7 мм/хв;
- 6) подача радіальна – 0,27...1,67 мм/об;
- 7) потужність верстата – 7,5 кВт.

Розраховуємо подачу за формулами (1.27), (1.28):

де $S_T=0,6$ мм/об – табличне значення подачі [6];

$K_{HB}=0,8$ – коефіцієнт, що залежить від твердості оброблюваного матеріалу [6];

$K_{ЗОТС}=1$ – коефіцієнт, що залежить від використання змащувально-охолоджувального технічного середовища (ЗОТС) [6];

$K_S=1$ – коефіцієнт, що враховує напрям руху подачі [6];

$K_{HP}=0,9$ – коефіцієнт, що враховує клас точності фрези [6];

$K_{PI}=1$ – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези [6].

$$S_p = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,86 \text{ мм/об}$$

Подачу приймаємо 0,8 мм/об за паспортом верстата.

Швидкість різання розраховуємо за формулою:

$$V_p = V^{табл} \cdot K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{V\phi} \cdot K_{VT} \cdot K_{VЖ} \cdot K_{V\Pi} \cdot K_{VO} \quad (1.33)$$

де $V_m=33,5$ м/хв – табличне значення швидкості [6];

$K_{PI} = 1$ – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал [6];

$K_{CT}=0,9$ – коефіцієнт, що враховує стійкість фрези [6];

$K_{II}=1$ – коефіцієнт, що залежить від виду обробки [6];

$K_C = 0,75$ – коефіцієнт, що залежить від використання ЗОТС [6];

$K_L=1$ – коефіцієнт, що залежить від глибини різання [6].

$$V_p = 33,5 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 = 22 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.29):

$$n = \frac{1000 \cdot 22}{3,14 \cdot 100} = 75 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_d=80$ об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.30):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 80}{1000} = 25 \text{ м/хв}$$

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{(b + L_{вр} + L_{пер}) \cdot Z}{S \cdot n \cdot K}, \text{ хв} \quad (1.34)$$

де $b=18$ мм – ширина вінця, мм;

$L_{пер}$ – величина перебігу, мм;

$L_{вр}$ – величина врізання, мм.

$K=1$ – кількість заходів фрези;

$Z=12$ – кількість зубів колеса.

$$L_{вр} = \sqrt{t \cdot (D_\phi - t)}, \text{ мм} \quad (1.35)$$

де $t=4,4$ мм – глибина западини;

$$L_{вр} = \sqrt{4,4 \cdot (100 - 4,4)} = 20,5 \text{ мм}$$

$$L_{пер} = 3 \cdot m + tg(\beta - \omega) + 4, \text{ мм} \quad (1.36)$$

де $\omega=2^\circ$ – кут підйому витка фрези,

$m=2$ – модуль, мм,

$\beta=0$ – кут нахилу зубців.

$$L_{пер} = 3 \cdot 2 + tg(0 - 2) + 4 = 10 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{(18 + 20,5 + 10) \cdot 12}{0,8 \cdot 80 \cdot 1} = 9,1 \text{ хв}$$

1.6.3 Операція 040 – фрезерна

Для операції фрезерування шпонкового пазу, враховуючи малі розміри деталі, вибираємо верстат шпоночно-фрезерний вертикальний моделі 692Д. В якості інструменту обираємо кінцеву фрезу, діаметром $D = 6$ мм з числом зубів $z = 2$ з швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73. Операційний ескіз представлений на рис. 1.8.

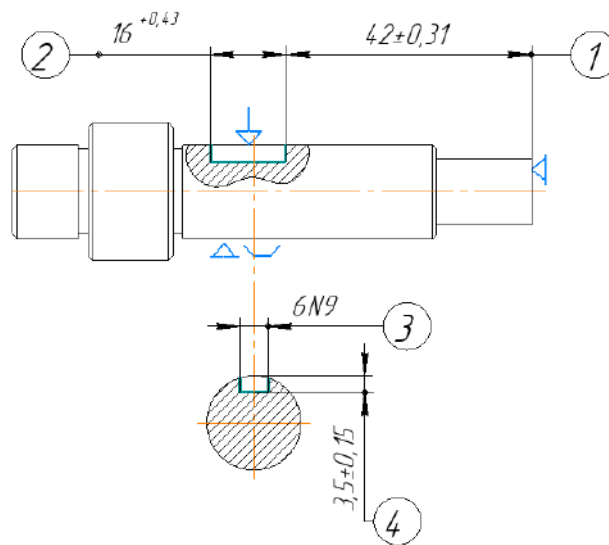


Рисунок 1.8 – Ескіз для фрезерної операції

Технічна характеристика верстата:

- 1) Ширина оброблюваного паза – 4...25 мм;
- 2) Найбільша глибина паза, що обробляється – 9 мм;
- 3) Найбільший діаметр фрези, що встановлюється на верстаті – 25 мм;
- 4) Поздовжнє переміщення фрезерної головки – 5...400 мм;

- 5) Розміри робочої поверхні столу – 1000x250 мм;
- 6) Частота обертання шпинделя – 400 ... 4000 об / хв;
- 7) Робоча поздовжня подача – 20...1400 мм/хв;
- 8) Робоча вертикальна подача – 16...140 мм/хв;
- 9) Потужність приводу головного руху – 2,2 кВт.

Глибина різання на один прохід: $t = 1,16$ мм.

Подача згідно формул (1.27), (1.28):

де $S_{\text{табл}} = 0,022$ мм/зуб – табличне значення подачі [6].

$K_{S\Pi} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вид оброблюваної поверхні [6];

$K_{Si} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує матеріал різальної частини інструменту [6];

$K_{S\phi} = 1,0$ – коефіцієнт, враховує форму оброблюваної поверхні [6];

$$S_p = 0,022 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,022 \text{ мм/зуб}$$

Розраховуємо швидкість різання по формулі (1.33):

де $V_{\text{табл}} = 53$ м/хв – табличне значення швидкості [6].

$K_{VM} = 1,0$ - коефіцієнт оброблюваності матеріалу [6];

$K_{VII} = 1,0$ – коефіцієнт, враховує властивості матеріалу різальної частини інструменту [6];

$K_{V\phi} = 1,0$ – коефіцієнт, враховує вид обробки [6];

$K_{VT} = 0,57$ – коефіцієнт, враховує жорсткість деталі [6];

$K_{VK} = 1,13$ – коефіцієнт, враховує стан поверхні заготовки [6];

$K_{VO} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОТС [6];

$$V_p = 53 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,13 \cdot 1 = 35 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.29):

$$n = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 6} = 1857 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстату: $n=1800$ об/хв.

Дійсна швидкість різання за формулою (1.30):

$$V = \frac{3,14 \cdot 6 \cdot 1800}{10000} = 34 \quad \text{м/хв}$$

Визначення хвилинної подачі інструменту.

$$S_M = S_Z \cdot n \cdot z: \quad (1.37)$$

$$S_M = 0,022 \cdot 1800 \cdot 2 = 79 \text{ мм/хв}$$

Вибираємо значення: $S_M = 80$ мм/хв

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{t + l_1}{S_M} + \frac{l}{S_M} \cdot i; \quad (1.38)$$

де l – довжина фрезерування, $l=10$ мм;

l_1 – величина врізання;

i – число проходів, $i=3$;

$$l_1 = 0,5D \sin(\arccos(1 - \frac{2t}{D})) \quad (1.39)$$

$$l_1 = 0,5 \cdot 6 \cdot \sin(\arccos(1 - \frac{2 \cdot 3,5}{6})) = 2,6 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{3,5 + 2,6}{80} + \frac{10}{80} \cdot 3 = 0,2 \text{ хв}$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Результати розрахунку режимів різання

Номер та назва операції	Номер переходу	Режими різання				
		глибина різання t , мм	кіль- кість прохо- дів i	подача S , мм/об	швидкість різання V , м/хв	частота обертів шпинделя n , об/хв
015 Фрезерно-центрувальна	01	1,5	1	50	105	650
	02	1	1	0,1	15	1100
020 Токарна	01	1,5	2	0,2	105	1150
025Токарна	02	1,5	2	0,2	125	1150
030 Токарна	01	0,5	2	0,1	125	1400
	02	2	1	0,05	125	1400
035 Токарна	01	0,5	2	0,1	125	1400
	02	2	1	0,05	125	1400
040 Фрезерна	01	3,5	3	80	34	1800
045 Фрезерна	01	2	4	50	35	500
	02	3	1	0,1	20	1000
	03	1	2	0,1	22	800
050 Зубофрезерна	01	4,4	12	0,8	25	80
075 Круглошліфувальна	01	20	1	0,0025	40/45	2800/750
080 Круглошліфувальна	01	0,03	3	0,1	40/48	2800/750
085 Круглошліфувальна	01	0,015	3	0,1	47/37	2800/750
090 Круглошліфувальна	01	20	1	0,0025	47/37	2800/750
095 Зубошліфувальна	01	0,1	1	0,001	40/37	1272/400

1.7 Технічне нормування операцій

1.7.1 Технічне нормування операції 090

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{мд}} + t_{\text{контр}} , \quad (1.40)$$

де $t_{\text{вст}} = 0,3$ хв – час на встановлення та зняття деталі [8];

$t_{\text{мд}} = 0,5$ хв – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь [8];

$t_{\text{контр}}$ – час на контроль деталі, хв.

$$t_{\text{контр}} = t_{\text{вим}} \cdot K_n, \quad (1.41)$$

де $t_{\text{вим}} = 0,2$ хв – час на вимірювання [8];

$K_n = 0,4$ – періодичність вимірювань [8].

$$t_{\text{контр}} = 0,2 \cdot 0,4 = 0,08 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,3 + 0,5 + 0,08 = 0,88 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{доп}} \quad (1.42)$$

$$t_{\text{оп}} = 0,04 + 0,88 = 0,92 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (1.43)$$

де $\alpha = 10\%$ – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби [8].

$$t_{\text{дод}} = 0,92 \cdot 0,1 = 0,09 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (1.44)$$

$$t_{\text{шт}} = 0,92 + 0,09 = 1,01 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за формулою:

$$t_{пз} = t_{пз1} + t_{пз2} \quad (1.45)$$

де $t_{пз1} = 12$ хв – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни [8];

$t_{пз2} = 4 + 2 + 7 = 13$ хв – час на додаткові прийоми, що не увійшли в комплекс вище [8];

$$t_{пз} = 12 + 13 = 25 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n} \quad (1.46)$$

$$t_{шт-к} = 1,01 + \frac{25}{90} = 1,29 \text{ хв}$$

1.7.2 Технічне нормування операції 050

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.40), (1.41):

де $t_{вст} = 0,4$ хв – час на встановлення та зняття деталі [8];

$t_{мд} = 0,65$ хв – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь [8];

$t_{вим} = 0,1$ хв – час на вимірювання [8];

$K_n = 1$ – періодичність вимірювань [8].

$$t_{контр} = 0,1 \cdot 1 = 0,1 \text{ хв}$$

$$t_{доп} = 0,4 + 0,65 + 0,1 = 1,15 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.42):

$$t_{оп} = 9,1 + 1,15 = 10,25 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.43):

де $\alpha = 10\%$ – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби [8].

$$t_{\text{дод}} = 10,25 \cdot 0,1 = 1,02 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.44):

$$t_{\text{шт}} = 1,02 + 10,25 = 11,27 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.45):

де $t_{\text{пз1}} = 12 \text{ хв}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни [8];

$t_{\text{пз2}} = 13 \text{ хв}$ – час на додаткові прийоми, що не увійшли в комплекс [8];

$t_{\text{пз3}} = 5 \text{ хв}$ – час на пробну обробку деталі [8].

$$t_{\text{пз}} = 12 + 13 + 5 = 30 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.46):

$$t_{\text{шт-к}} = 11,27 + \frac{30}{90} = 11,6 \text{ хв}$$

1.7.3 Технічне нормування операції 040

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.40), (1.41):

де $t_{\text{вст}} = 0,4 \text{ хв}$ – час на встановлення та зняття деталі [8];

$t_{\text{мд}} = 0,4 \text{ хв}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь [8];

$t_{\text{вим}} = 0,2 \text{ хв}$ – час на вимірювання [8];

$K_n = 0,5$ – періодичність вимірювань [8].

$$t_{\text{контр}} = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,4 + 0,1 = 0,9 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.42):

$$t_{\text{оп}} = 0,2 + 0,9 = 1,1 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.43):

де $\alpha = 10\%$ – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби [8].

$$t_{\text{дод}} = 1,1 \cdot 0,1 = 0,11 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.44):

$$t_{\text{шт}} = 1,1 + 0,11 = 1,21 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.45):

де $t_{\text{пз1}} = 12 \text{ хв}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни [8];

$t_{\text{пз2}} = 13 \text{ хв}$ – час на додаткові прийоми, що не увійшли в комплекс [8];

$t_{\text{пз3}} = 2 \text{ хв}$ – час на пробну обробку деталі [8].

$$t_{\text{пз}} = 12 + 13 + 2 = 27 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.46):

$$t_{\text{шт-к}} = 1,21 + \frac{27}{90} = 1,51 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_o , хв	$t_{доп}$, хв	$t_{дод}$, хв	$t_{шт}$, хв	$t_{пз}$, хв	$t_{шт-к}$, хв
015 Фрезерно-центрувальна	1,08	1,2	0,23	2,51	18	2,71
020 Токарна	3,5	1,4	0,49	5,39	17	5,58
025Токарна	2,5	1,4	0,39	4,29	17	4,48
030 Токарна	4,2	1,4	0,56	6,16	17	6,35
035 Токарна	2,4	1,4	0,38	4,18	17	4,37
040 Фрезерна	0,2	0,9	0,11	1,21	27	1,51
045 Фрезерна	6,5	1,3	0,78	8,58	22	8,82
050 Зубофрезерна	9,1	1,15	1,02	11,27	30	11,60
075 Круглошліфувальна	0,8	0,88	0,17	1,85	25	2,13
080 Круглошліфувальна	0,65	0,88	0,15	1,68	25	1,96
085 Круглошліфувальна	0,1	0,88	0,10	1,08	25	1,36
090 Круглошліфувальна	0,04	0,88	0,09	1,01	25	1,29
095 Зубошліфувальна	12	1,1	1,31	14,41	30	14,74

1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

Для фрезерної операції №045 з ЧПК, яка включає фрезерування двох пар лисок для отримання прямокутного перерізу, свердління отвору та зенкування фасок на вході і виході з отвору, розроблюємо керуючу програму в програмному забезпеченні NX CAM. Спочатку було об'єднано 3D-моделі деталі до і після обробки на даній операції (рис. 1.9).

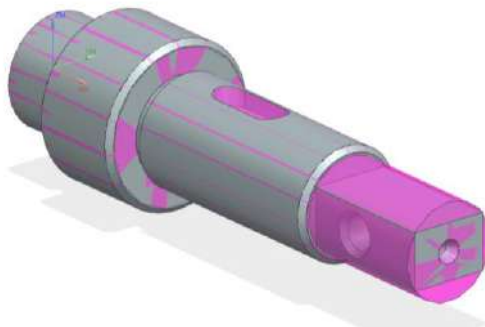


Рисунок 1.9 – Поєднання 3D-моделей деталі до і після обробки на оп. 045

Далі було обрано в базі (рис. 1.10) необхідний інструмент для всіх переходів даної операції (фрезу, свердло, зенківку).

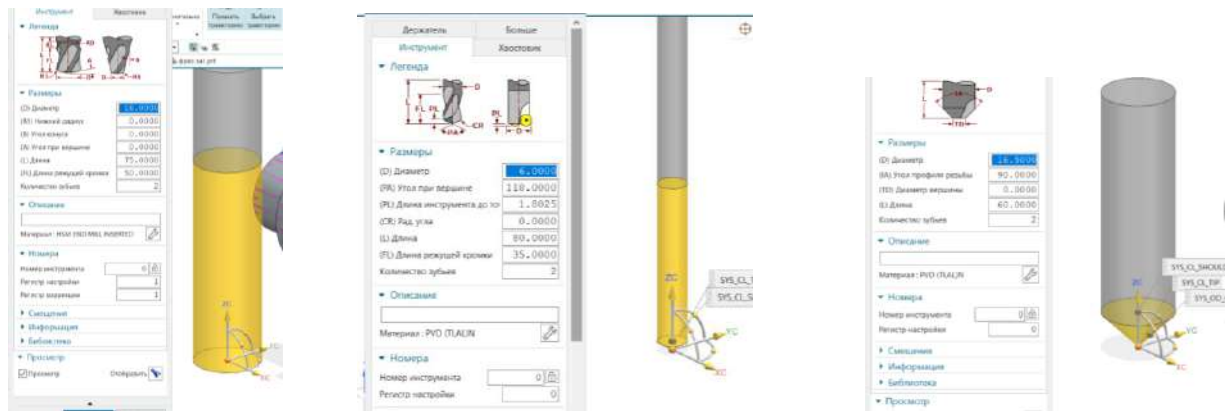


Рисунок 1.10 – Вибір інструментів з визначеними параметрами

Після цього було створено три переходи обробки: фрезерування лисок, свердління отвору, зенкування фаски з двох сторін отвору. Визначено положення системи координат, задані режими різання та згенеровано траєкторії (рис. 1.11).

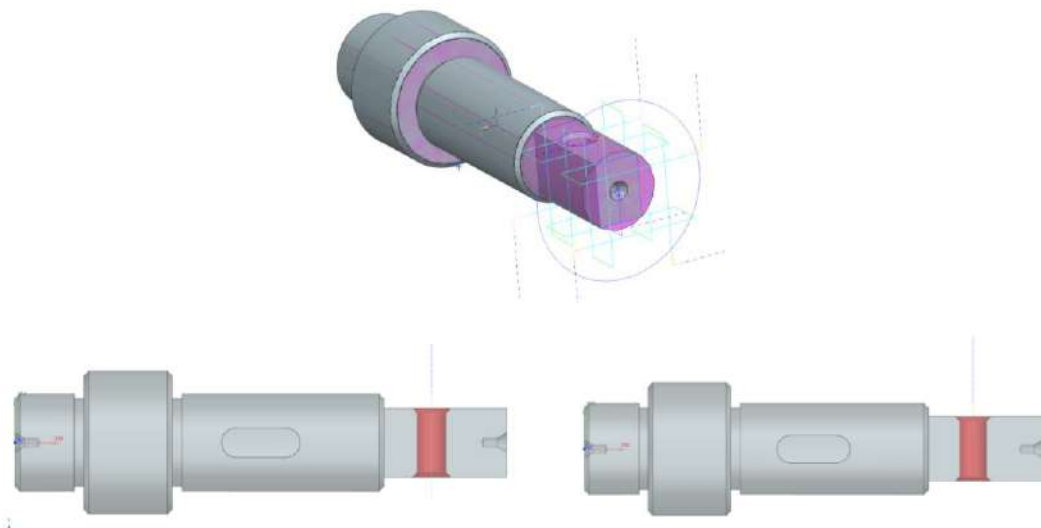


Рисунок 1.11 – Траєкторії обробки

Після перевірки траєкторій була проведена симуляція процесу оброблення (рис. 1.12).

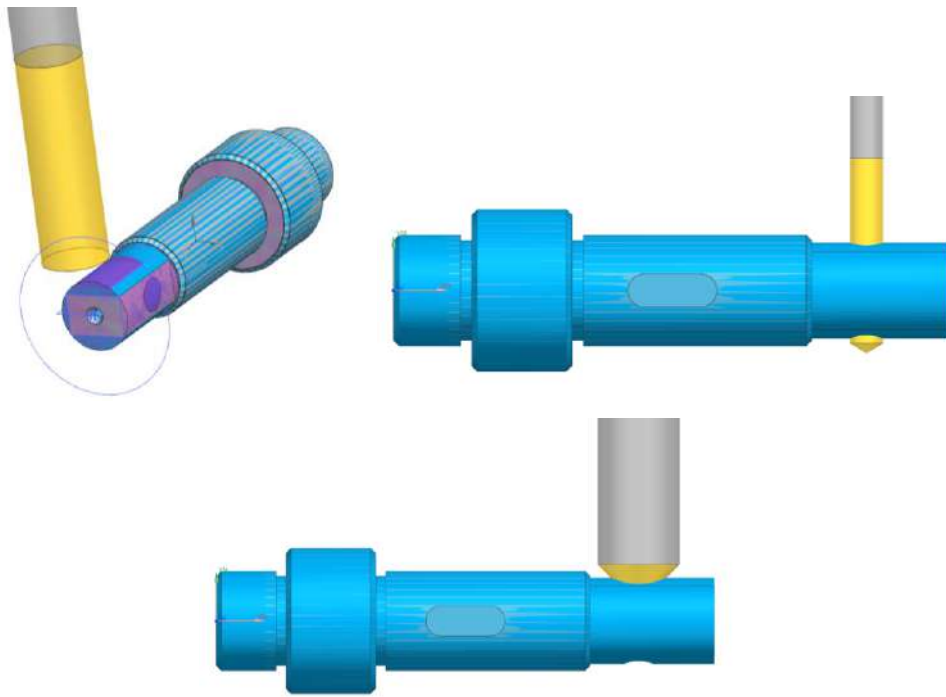


Рисунок 1.12 – Скріншоти симуляції переходів

Результат розробки керуючої програми операції з ЧПК в модулі NX CAM наведено на форматі A1.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування та розрахунок пристрою для фрезерування пазу

2.1.1 Опис конструкції та принципу роботи пристрою

Спроекований пристрій (рис. 2.1) призначений для фрезерування шпонкового пазу в деталі «Вал-шестерня». Деталь, що обробляється, встановлюється на призму 2. У корпусі 1 встановлений гідроциліндр. При переміщенні поршню 3 шток 4 тисне на клин 8, який у свою чергу рухає важелі 6. Заходячи на оброблювану деталь важелі 6 скосом затискають її. Після закінчення обробки поршень 3 та шток 4 гідроциліндра переміщається ліворуч, важелі 6 вивільняються від тиску на них пальців 10, і, за допомогою пружини 9 розтискаються та звільняють оброблену деталь. Для налаштування фрези використовується установ 13.

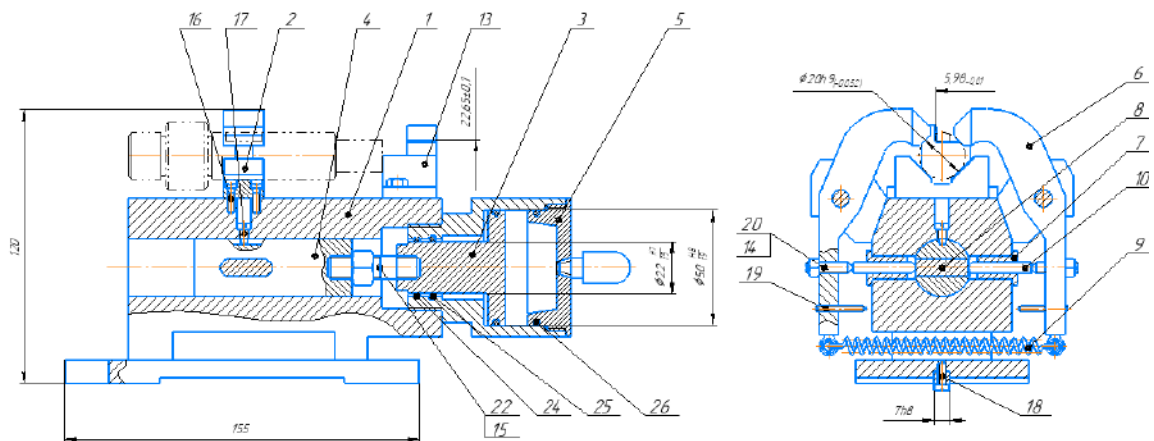


Рисунок 2.1 – Пристосування з гідроприводом

2.1.2 Обґрунтування способу базування

Похибка встановлення – одна із складових загальної похибки виконавчого розміру, виражає похибку встановлення деталі та розраховує-

ться за формулою [9]:

$$\varepsilon_{\delta} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2} \quad (2.1)$$

де ε_{δ} – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення

Деталь встановлюється на призму з кутом 90° по поверхні $\varnothing 20,2_{-0,052}$ (рис. 2.2). Для такого базування похибка дорівнює [9]:

$$\varepsilon_{\delta} = K_1 \cdot TD \quad (2.2)$$

де $T_D = 0.052\text{мм}$ - допуск;

$K_1 = 1,21$ – коефіцієнт.

$$\varepsilon_{\delta} = 1.21 \cdot 0,052 = 0,063\text{мм}$$

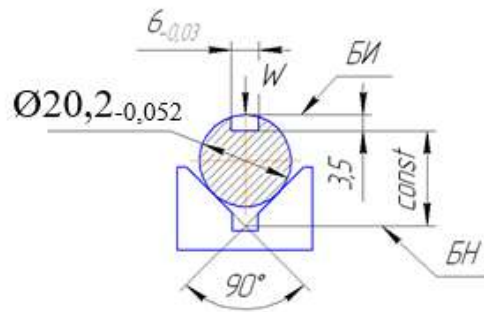


Рисунок 2.2 – Схема встановлення у призму

Похибка закріплення [9]:

$$\varepsilon_3 = R \cdot \sin 45 \quad (2.3)$$

де $R=0.04\text{мм}$ – похибка закріплення для горизонтальної площини.

$$\varepsilon_3 = 0,04 \cdot \sin 45 = 0.03\text{мм}$$

Похибка встановлення згідно формули (2.1):

$$\varepsilon_y = \sqrt{0,03^2 + 0,063^2} = 0,07 \text{ мм}$$

2.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску деталі

Схема для розрахунку сили затиску зображена на рис. 2.3.

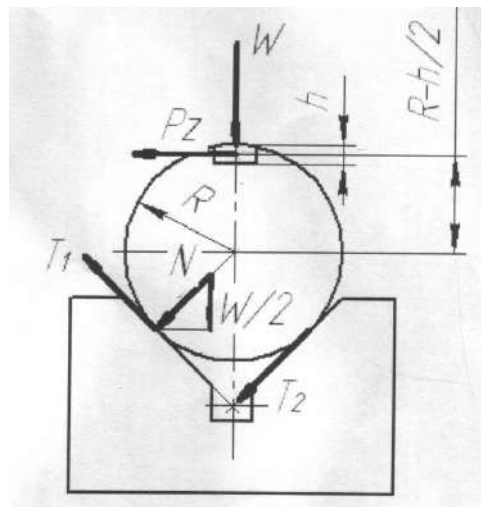


Рисунок 2.3 – Схема до визначення сили закріплення [9]

Сила затиску дорівнює [9]:

$$W = \frac{P_z \cdot \left(R - \frac{h}{2}\right) \cdot \sin(\alpha/2)}{f \cdot R}, \quad (2.4)$$

де P_z – сила різання, Н;

R, h – конструктивні розміри, м;

$f = 0,15$ – коефіцієнт тертя.

Дійсна сила затиску [9]:

$$W_d = W \cdot k \quad (2.5)$$

де k – коефіцієнт запасу закріплення.

$$k=k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (2.6)$$

де $k_0=1,5$ – гарантований коефіцієнт запасу;

$k_1=1$ – коефіцієнт нерівномірності сил різання через непостійність припуску, що знімається при обробці;

$k_2=1,7$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту.

$k_3=1$ – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання;

$k_4=1$ – коефіцієнт, що враховує мінливість сил затиску, що розвиваються приводами;

$k_5=1$ – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток;

$k_6=1$ – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту.

$$k=1,5 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,55$$

Визначення сили різання при фрезеруванні:

$$P_Z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^z \cdot z}{D^q \cdot n^w} K_{mp} \quad (2.7)$$

де, t , S_z , B , z , D , n – параметри різання;

C_p , x , y , z , q , w – коефіцієнти [7].

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{610}{750} \right)^{0,35} = 0,93 \quad (2.8)$$

$$P_Z = \frac{10 \cdot 82 \cdot 3,5^{0,75} \cdot 0,015^{0,6} \cdot 6^{1,2}}{6^{0,86} \cdot 1600^0} 0,93 = 433,3 \text{ H}$$

Дійсна сила закріплення по формулам (2.1), (2.2):

$$W = \frac{433,3 \cdot \left(0,01 - \frac{0,0035}{2} \right) \sin 45}{0,15 \cdot 0,01} = 1684 \text{ H}$$

$$W_{\text{д}} = 1684 \cdot 2,55 = 4296 \text{ H}$$

На рис. 2.4 зображена схема для розрахунку сили на штоці [9].

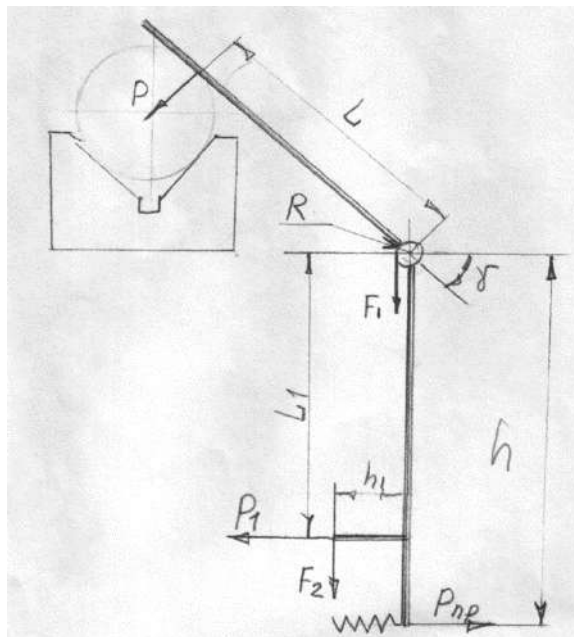


Рисунок 2.4 – Схема важільного механізму [9]

Визначаємо силу на штоку гідроциліндра [9]. Через те, що деталь не напряму затискається силою W , а розподіленими на дві сили затиску P (під кутом 70°) через систему важелів і клину, то:

$$P = \frac{W}{2 \cos 70} \quad (2.9)$$

$$P = \frac{4296}{2 \cdot 0.34} = 6318 H \quad (2.10)$$

$$P_1 = \frac{P \cdot (L + f \cdot \sin \gamma \cdot R) + P_{np} \cdot (h - f \cdot R)}{L_1 - f \cdot (R - h_1)} \quad (2.11)$$

$$Q = 2 P_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta); \quad (2.12)$$

$$P_1 = \frac{6318 \cdot (0.045 + 0.15 \sin 70 \cdot 0.0037) + 4(0.064 - 0.15 \cdot 0.0037)}{0.03 - 0.15(0.0037 - 0.004)} = 9595 H$$

$$Q = 2 \cdot 9595 \cdot \operatorname{tg}(20) = 6984 H ;$$

Мінімальний діаметр штока [9]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (2.13)$$

де $\alpha=2,25$ – коефіцієнт затягування [9];

$[\sigma]=100$ МПа – допустиме напруження на розтягання для сталі 40Х [1].

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 6984}{3,14 \cdot 100 \cdot 10^6}} = 0,014 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штоку 22 мм.

Діаметр циліндра [9]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{p \cdot \eta \cdot \pi} + d^2} \quad (2.14)$$

де $\eta = 0,85 \dots 0,9$ – коефіцієнт корисної дії (ККД), що враховує втрати на тертя [9];

$p=5 \dots 10$ МПа – тиск в гідросистемі [9];

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 6984}{3,14 \cdot 7 \cdot 10^6 \cdot 0,85}} + 0,022^2 = 0,045 \text{ м}$$

Приймаємо значення діаметру гідроциліндру 50 мм.

2.1.4 Розрахунок пристосування на точність

Налаштування інструменту на розмір обробки здійснюється за допомогою установу. Схема для розрахунку на точність зображена на рис. 2.5. Розміри установу розраховуємо за формулою [9]:

$$D_{cp} = D - TD/2 \quad (2.15)$$

$$D_{cp}=20,252+0.052/2=20,226\text{MM}$$

$$R_{cp} = D_{cp}/2 \quad (2.16)$$

$$R_{cp}=20,226/2=10,113\text{MM}$$

$$B_{2cp} = R_{cp} / \sin 45 \quad (2.17)$$

$$B_{2cp} = 10,113 / 0.7 = 14,3 \text{ MM}$$

$$TB_{2cp} = \pm TD/4\sin 45 \quad (2.18)$$

$$TB_{2cp} = \pm 0.052 / 4 \sin 45 = \pm 0.018 \rightarrow \pm 0.02 \text{ mm}$$

$$B_{1cp} = R_{cp} - A_{cp} \quad (2.19)$$

$$B_{1cp} = 10,113 - 3,5 = 6,613 \text{ MM}$$

$$T_{B1}=T_A-T_R=T_A-T_D/2 \quad (2.20)$$

$$T_{B1}=0.3-0.052/2=0.274\text{MM}\rightarrow\pm 0,137\rightarrow\pm 0,1\text{MM}$$

$$S_{cp}=S-TS/2 \quad (2.21)$$

$$S_{cp} = 3 - 0.006/2 = 2.997 \text{ MM}$$

$$H = B_{1cp} + B_{2cp} - S_{cp}$$

$$H = 14,3 + 6,613 - 2,997 = 17,9 \text{ MM}$$

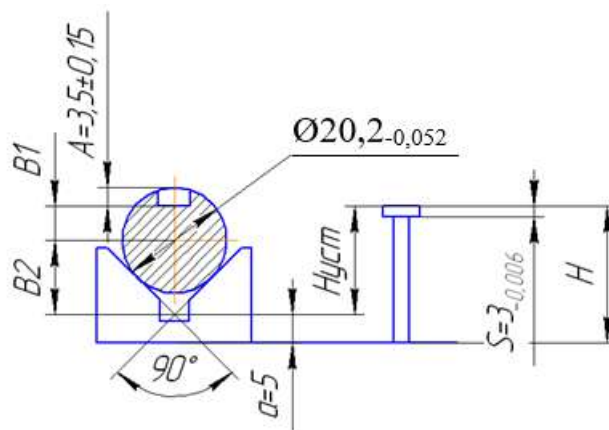


Рисунок 2.5 – Схема розрахунку на точність

Визначення допуску на установ [9]:

$$TH_{ycm} \leq TA - (K_1 \cdot \varepsilon_{\bar{\theta}} + \varepsilon_3 + K_2 \cdot \omega) \quad (2.22)$$

де T_A - допуск на розмір обробки;

$K_1=0,8..0,85$ - коефіцієнт, що враховує реальну похибку базування [9];

$K_2=0,6..0,65$ - коефіцієнт, що враховує частку середньої економічної точності обробки і залежить від конструкції пристосування [9];

$\omega=0,016\text{мм}$ - середня економічна точність обробки [9].

$$TH_{уст} \leq 0,3 - (0,8 \cdot 0,015 + 0,03 + 0,6 \cdot 0,016) = 0,25 \rightarrow \pm 0,1\text{мм}$$

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування (рис. 2.6) призначено для контролю биття зубів вал-шестерні. Деталь при контролі базується на центрові отвори. Контрольне пристосування складається зі корпусу, на якому встановлюється два центри та штанга. Штанга має можливість переміщення перпендикулярно до осі деталі. Центри мають можливість повздовжнього переміщення на напрямних корпусу. На штанзі розміщений індикаторний годинник з модульним щупом. При контролі щуп вводиться у западину зубів. Шляхом обертання деталі та зміни положення модульного щупа по індикаторному годиннику знімають значення радіального биття.

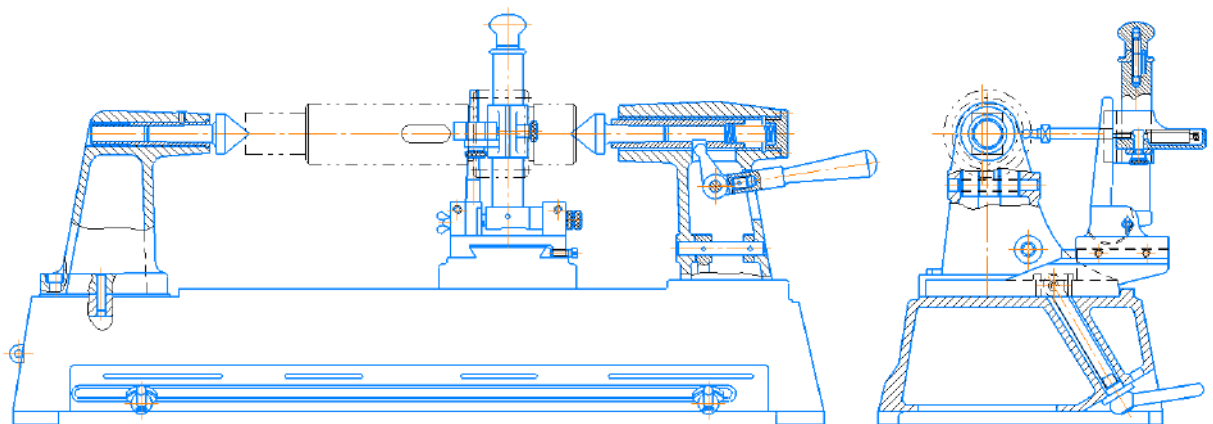


Рисунок 2.6 – Контрольне пристосування

2.3 Розрахунок на міцність деталі «Вал-шестерня»

Перевірку деталі «Вал-шестерня» (рис. 2.7) на міцність виконаємо на основі міцнісного розрахунку в програмному забезпеченні NX CAE. Для оцінки міцності необхідно розрахувати коефіцієнт запасу міцності за формулою [2]:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\max}} = 1,5 \dots 3 \quad (2.23)$$

де $[\sigma]$ – допустиме значення границі міцності сталі 40Х, $[\sigma]=785$ МПа [1];

$\sigma_{\max}$ – максимальне напруження згідно комп'ютерного розрахунку.

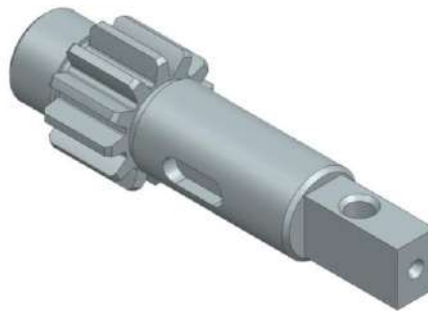


Рисунок 2.7 – Деталь «Вал-шестерня»

Під час роботи у вузлі деталь «Вал-шестерня» отримує через зубчасте зачеплення крутний момент та передає його через шпонкове з'єднання на шестерню. Тому обмеження на деталь у вигляді закріплення накладаємо по шпонковому отвору, на зуб прикладаємо радіальне та тангенціальне зусилля (рис. 2.8).

Після комп'ютерного розрахунку в програмі NX CAE було отримано графічне зображення розподілу напружень (рис. 2.9) та значення максимальних напружень. Найбільші напруження в деталі виникають в основі зуба та по дну шпонкового пазу, максимальне значення сягає 464,63 МПа.

Розрахунковий коефіцієнт запасу міцності згідно формули (2.23):

$$k = \frac{785}{464,63} = 1,7$$

Згідно результатів розрахунку деталь має достатній запас міцності, тому конструкцію та розміри її можна вважати прийнятими.

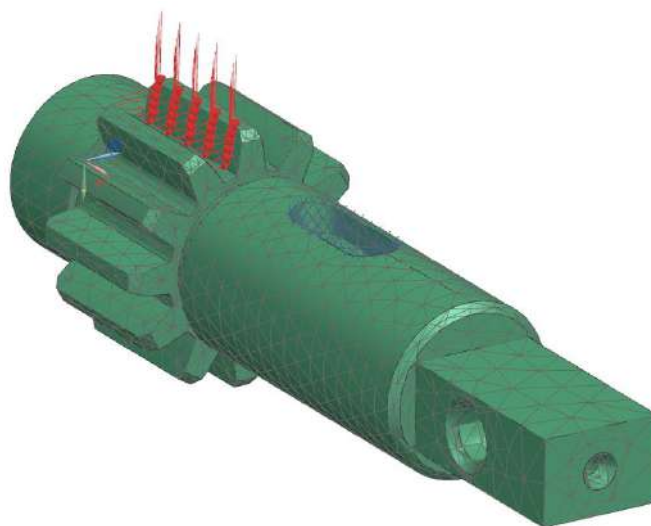


Рисунок 2.8 – Модель деталі з накладеними обмеженнями

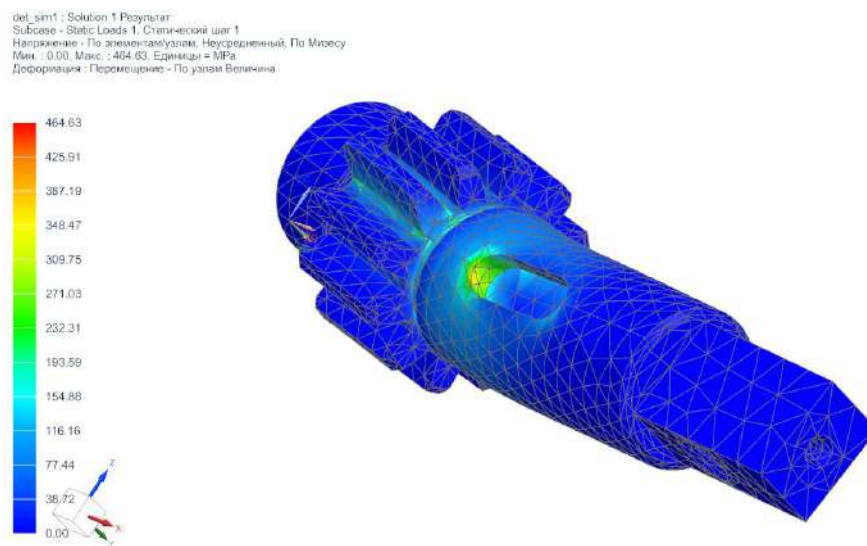


Рисунок 2.9 – Розподіл напружень

3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

Розраховуємо кількість верстатів, необхідних для виконання операцій за формулою:

$$S_{p_j} = \frac{\sum_{j=1}^n (t_{ш-к_j} \cdot N_j)}{F_g \cdot m \cdot 60} \quad (3.1)$$

де $F_g \cdot m = 4000$ год – фонд часу роботи верстата за рік.

Результати розрахунку за формулою (3.2) приведено в таблиці 3.1.

Річна верстатоемність розраховуємо для кожної операції за формулою:

$$T_j = t_{ш-к_j} \cdot N \quad (3.2)$$

Результати розрахунку за формулою (3.1) приведено в таблиці 3.1.

Значення розрахункової кількості верстатів (S_p) округлюємо до цілого значення і приймаємо його (S_n) для подальших розрахунків.

Коефіцієнт завантаження верстата визначаємо за формулою:

$$K_{з_j} = \frac{S_p}{S_n} \quad (3.3)$$

Результати розрахунку за формулою (3.3) приведено в таблиці 3.1.

Визначаємо середній коефіцієнт завантаження верстатів за формулою:

$$\overline{K_3} = \frac{\sum S_p}{\sum S_n} \quad (3.4)$$

$$\overline{K_3} = \frac{2,09}{13} = 0,16$$

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку

Номер операції	Модель верстата	$t_{\text{ш-к, хв}}$	$T, \text{хв}$	$S_p, \text{шт}$	$S_n, \text{шт}$	K_3
015	MP71M	2,71	20325	0,08	1	0,08
020	16K20T1	5,58	41850	0,17	1	0,17
025	16K20T1	4,48	33600	0,14	1	0,14
030	16K20T1	6,35	47625	0,2	1	0,2
035	16K20T1	4,37	32775	0,14	1	0,14
040	692Д	1,51	11325	0,05	1	0,05
045	ГФ2171С5	8,82	66150	0,28	1	0,28
050	5K324A	11,6	87000	0,36	1	0,36
075	3У10В	2,13	15975	0,07	1	0,07
080	3У10В	1,96	14700	0,06	1	0,06
085	3У10В	1,36	10200	0,04	1	0,04
090	3У10В	1,29	9675	0,04	1	0,04
095	5В833	14,74	110550	0,46	1	0,46

Розрахована кількість операцій, що виконуються на технологічній лінії обробки деталей дорівнює 13, тобто це кількість необхідних верстатів для виготовлення вала-шестерні.

Призначаємо багатOVERстатну обробку на токарній групі верстатів (операції 020...035). Токарній операції 030 відповідає максимальний основний час токарної групи – 4,2 хв.

Розрахуємо кількість верстатів, яку може обслужити один оператор, за формулою:

$$m_z = \frac{t_{a \max} + t_{\text{доп}}}{t_{\text{доп}} + t_{\text{пер}}} \quad (3.5)$$

де $t_{a \max}$ – максимальний основний час на верстатах об'єднаних в багатOVERстатну зону обслуговування, хв;

$t_{пер}=0,15$ хв – час на перехід від верстата до верстата.

$$m_s = \frac{4,2 + 1,4}{0,56 + 0,15} = 7,9$$

Число операторів у зоні обслуговування розраховуємо за формулою:

$$R_j = \frac{\sum s_n}{m_{sj}} \quad (3.6)$$

$$R_1 = \frac{4}{7,9} = 0,5$$

Згідно розрахунків для роботи на чотирьох токарних верстатах призначаємо одного оператора. Таким чином, для обслуговування 13 верстатів необхідно 10 робітників (верстатників та операторів верстатів з ЧПК).

4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

При вдосконаленні технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня» було запропоновано змінити базову обробку на універсальних токарно-гвинторізних верстатах обробкою на токарних верстатах з ЧПК згідно таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

Розрахункові параметри	Базова технологія						Нова технологія			
Модель верстата	1K20	1K20	1K20	1K20	1K20	1K20	16K20T1	16K20T1	16K20T1	16K20T1
Штучний час $t_{шт}$, хв	15	15	10	10	8	7	5,39	4,29	6,16	4,18
Розряд верстатника	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4
Розряд наладчика	-	-	-	-	-	-	5	5	5	5
Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладчиком	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	57,5	57,5	57,5	57,5
Тарифна ставка наладчика, грн/год	-	-	-	-	-	-	57,7	57,7	57,7	57,7
Число змін m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Оптова ціна верстата F , грн	291840						1504800			
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань N_a , %	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	12,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів N , кВт	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників по формулі [10]:

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_б \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (4.1)$$

де $m_{оп}$ – кількість операцій у технологічному процесі;

$t_{умі}$ – норма штучного часу виконання і-ой операції, год;

$C_{тар}$ – годинна тарифна ставка виробничого робітника на операції, грн/год;

$K_б$ – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатOVERCLOCKING обслуговуванні, $K_б=0,39$;

$k_{доп}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату, $k_{доп} = 1,2$;

$k_{соц}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, $k_{соц} = 1,4$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.2, 4.3.

Таблиця 4.2 – Заробітна плата верстатника за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
010	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
015	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
020	Токарна	10	76,6	1,2	1,4	21,45
025	Токарна	10	76,6	1,2	1,4	21,45
030	Токарна	8	76,6	1,2	1,4	17,16
035	Токарна	7	76,6	1,2	1,4	15,01
					Σ	139,41

Таблиця 4.3 – Заробітна плата верстатника за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
020	Токарна	5,39	57,5	1,2	1,4	8,68
025	Токарна	4,29	57,5	1,2	1,4	6,91
030	Токарна	6,16	57,5	1,2	1,4	9,92
035	Токарна	4,18	57,5	1,2	1,4	6,73
					Σ	32,23

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою [10]:

$$З_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{\text{тар}} \cdot Ч_n \cdot k_{\text{доп}} \cdot k_{\text{соц}}}{N} \quad (4.2)$$

де $C_{\text{тар.н}}$ – годинна тарифна ставка, грн;

$Ч_n$ – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

Φ_p – річний фонд часу одного, $\Phi_p = 2028$ год;

m_{on} – кількість операцій у технологічному процесі.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	Φ_p , год	$C_{\text{тар}}$, грн	$Ч_n$	$k_{\text{доп}}$	$k_{\text{соц}}$	$З_o$, грн
015	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	6,77
020	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	6,77
025	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	6,77
030	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	6,77
						Σ	27,09

Визначимо амортизацію на обладнання за формулою [10]:

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{on}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{\text{шт-кі}}}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (4.3)$$

де K_i – первісна вартість обладнання на i -ої операції, грн;

H_{ai} – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на i -ої операції, %.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.5, 6.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою [10]:

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{on}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{Ц_{\text{ін}ij} \cdot t_{\text{шт}ij} \cdot \eta_m}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (4.4)$$

де C_{inij} – ціна інструменту j -го виду на i -ої операції, грн/шт;

t_{umij} – штучний час роботи j -го інструменту на i -ої операції, хв;

η_m – коефіцієнт машинного часу, що визначається як відношення t_{mach}/t_{um} ;

T_{ij} – період стійкості інструменту j -го виду на i -ої операції, хв;

n_{in} – номенклатура інструментів на i -ої операції;

n_j – число переточок інструменту j -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.7, 4.8.

Таблиця 4.5 – Відрахування на амортизацію обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
010	Токарна	15	101087	14,2	4015	0,89
015	Токарна	15	101087	14,2	4015	0,89
020	Токарна	10	101087	14,2	4015	0,60
025	Токарна	10	101087	14,2	4015	0,60
030	Токарна	8	101087	14,2	4015	0,48
035	Токарна	7	101087	14,2	4015	0,42
					Σ	3,87

Таблиця 4.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
015	Токарна	5,39	1504800	12,2	4015	4,11
020	Токарна	4,29	1504800	12,2	4015	3,27
025	Токарна	6,16	1504800	12,2	4015	4,69
030	Токарна	4,18	1504800	12,2	4015	3,19
					Σ	15,26

Таблиця 4.7 – Витрати на інструмент за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ц _i грн	n _{ін}	T, хв	n _j	η _{МІ}	S _{ін} грн
010	Токарна	15	Різець прохід.	150	1	60	10	0,4	1,36
015	Токарна	15	Різець прохід.	150	1	60	10	0,4	1,36
020	Токарна	10	Різець розточ.	150	1	60	10	0,4	0,91
025	Токарна	10	Різець прохід.	150	1	60	10	0,4	0,91
030	Токарна	8	Різець канав.	150	1	60	10	0,4	0,73
030	Токарна	7	Різець канав.	150	1	60	10	0,4	0,64
								Σ	5,91

Таблиця 4.8 – Витрати на інструмент за новою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ц _i грн	n _{ін}	T, хв	n _j	η _{МІ}	S _{ін} грн
020	Токарна	5,39	Різець прохід.	250	1	180	4	0,4	0,60
025	Токарна	4,29	Різець прохід.	250	1	180	4	0,4	0,48
030	Токарна	6,16	Різець прохід.	250	1	180	4	0,4	0,35
			Різець канав.	250	1	180	4	0,4	0,33
035	Токарна	4,18	Різець прохід.	250	1	180	4	0,4	0,24
			Різець канав.	250	1	180	4	0,4	0,22
								Σ	2,22

Визначимо витрати на електроенергію за формулою [10]:

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_q \cdot k_{од} \cdot k_W \cdot t_{шт-к}}{\eta \cdot k_B \cdot 60} \cdot C_e \quad (4.5)$$

де N_B – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

k_N – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю (для верстатів з ЧПК – 0,9, для решти обладнання – 0,8);

k_q – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом (для верстатів з ЧПК – 0,7, для решти обладнання – 0,6);

$k_{од}$ – середній коефіцієнт одночасності роботи всіх електродвигунів верстата (для верстатів з ЧПК – 1, для решти обладнання – 0,6);

k_w – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії, $k_w = 1,08$;

η – коефіцієнт корисної дії обладнання;

$k_с$ – коефіцієнт виконання норм часу;

C_e – вартість електроенергії, $C_e = 3,45$ грн/кВт×год.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.9, 4.10.

Таблиця 4.9 – Витрати на електроенергію за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	C_e грн	N_e кВт	k_N	$k_ч$	$k_{од}$	k_w	η_e	k_b	S_e , грн
010	Токарна	15	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,98
015	Токарна	15	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,98
020	Токарна	10	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,99
025	Токарна	10	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,99
030	Токарна	8	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,59
035	Токарна	7	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,39
										Σ	12,92

Таблиця 4.10 – Витрати на електроенергію за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	C_e грн	N_e кВт	k_N	$k_ч$	$k_{од}$	k_w	η_e	k_b	S_e , грн
020	Токарна	5,39	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,64
025	Токарна	4,29	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,10
030	Токарна	6,16	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	3,01
035	Токарна	4,18	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,04
										Σ	9,79

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою [10]:

$$S_p = \frac{Ц_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N} \quad (4.6)$$

де $Ц_{то}$ – залишкова вартість обладнання, грн

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду, $K_p = 0,02$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.11, 4.12.

Таблиця 4.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
010	Токарна	291840	0,02	0,64	0,50
015	Токарна	291840	0,02	0,64	0,50
020	Токарна	291840	0,02	0,64	0,50
025	Токарна	291840	0,02	0,64	0,50
030	Токарна	291840	0,02	0,64	0,50
035	Токарна	291840	0,02	0,64	0,50
				Σ	3,0

Таблиця 4.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
020	Токарна	1504800	0,02	0,78	3,13
025	Токарна	1504800	0,02	0,78	3,13
030	Токарна	1504800	0,02	0,78	3,13
035	Токарна	1504800	0,02	0,78	3,13
				Σ	12,52

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули [10]:

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{гн} \cdot t_{ин} \cdot t_o \cdot K_T}{T_M \cdot m \cdot 60} \quad (4.7)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує випадковий спад інструменту, $\varphi = 1,3$;

$C_{гн}$ – середньогодинна заробітна плата наладчиків, грн./год;

$t_{ин}$ – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ($t_{ин} = 4$ хв – для токарних верстатів з ЧПК; $t_{ин} = 5$ хв – для верстатів з ЧПК свердлильної, фрезерної та розточувальної груп).

t_o – основний час роботи інструменту на операції, хв;

K_m – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі;

T_M – середня стійкість інструменту, хв.;

m – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

№ опер	Найменування операції	Тип інструменту	t_o , хв	$C_{гн}$, грн/год	n_i	$t_{ин}$, хв	K_T	T_M	m	S_H грн
020	Токарна	Різець прохід.	5,39	50,9	6	4	0,9	180	4	0,03
025	Токарна	Різець прохід.	4,29	50,9	6	4	0,9	180	4	0,02
030	Токарна	Різець прохід.	6,16	50,9	6	4	0,9	180	4	0,02
		Різець канав.		50,9	6	4	0,9	180	4	0,02
035	Токарна	Різець прохід.	4,18	50,9	6	4	0,9	180	4	0,01
		Різець канав.		50,9	6	5	0,9	180	4	0,01
									Σ	0,11

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою [10]:

$$I_H = Z_o \cdot k_{заг} \quad (4.8)$$

де $k_{заг}$ – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати, віднесені до заробітної плати основних виробничих робітників, $k_{заг} = 0,20 \dots 0,25$.

$$I_{H1} = 139,41 \cdot 0,2 = 27,88 \text{ грн}$$

$$I_{H2} = 32,23 \cdot 0,2 = 6,44 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою [10]:

$$C_T = Z_o + Z_H + A_{\text{від}} + S_{\text{ін}} + S_e + S_p + S_H + I_H \quad (4.9)$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у табл. 4.14.

Таблиця 4.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Новий
Заробітна плата верстатника	Z_o	139,41	32,23
Заробітна плата наладчика	Z_H		27,09
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{\text{від}}$	3,87	15,26
Витрати на різальний інструмент	$S_{\text{ін}}$	5,91	2,22
Витрати на електроенергію	S_e	12,92	9,79
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	3	12,52
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_H		0,11
Витрати інші	I_H	27,88	6,44
Технологічна собівартість	C_T	192,99	105,66

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою [10]:

$$E_{yp} = (C_{T1} - C_{T2}) \cdot N \quad (4.10)$$

$$E_{yp} = (192,99 - 105,66) \cdot 7500 = 654975 \text{ грн}$$

Таким чином, річна економія від впровадження другого ТП за статтею собівартість може становити 654975 грн., що свідчить про ефективність запропонованої технологічної інновації.

Здійсимо розрахунок технологічної собівартості поелементним методом для випадку придбання технологічного обладнання. Зіставимо величини капітальних витрат за варіантами.

Капітальні вкладення обладнання, віднесені до одиниці продукції, визначаються за наступним рівнянням:

$$K_o = \frac{C_{об} \cdot t_{шт.к.}}{60 \cdot F_d} \quad (4.11)$$

У табл. 4.15-4.16 розраховані капітальні витрати за формулою (4.11).

Таблиця 4.15 - Капітальні витрати на обладнання за базовим ТП

№ опер	Найменування операції	$T_{шт}$, хв	Ц, грн	F_d	K_o , грн
010	Токарна	15	291840	4015	18,17
015	Токарна	15	291840	4015	18,17
020	Токарна	10	291840	4015	12,11
025	Токарна	10	291840	4015	12,11
030	Токарна	8	291840	4015	9,69
035	Токарна	7	291840	4015	8,48
		Σ	1751040	Σ	78,74

Таблиця 4.16 - Капітальні витрати на обладнання за новим ТП

№ опер	Найменування операції	$T_{шт}$, хв	Ц, грн	F_d	K_o , грн
015	Токарна	5,39	1504800	4015	33,67
020	Токарна	4,29	1504800	4015	26,80
025	Токарна	6,16	1504800	4015	38,48
030	Токарна	4,18	1504800	4015	26,11
		Σ	6019200	Σ	125,06

Оскільки капітальні витрати є суттєво різними, оцінювати ефективність варіантів ТП слід на основі мінімуму наведених витрат за формулою:

$$B_{\text{нав}} = C + E_n K, \quad (4.12)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності, показує, яка частина капітальних вкладень має окупатися за один рік. Для застосування вибирається варіант із мінімальним значенням $B_{\text{нав}}$.

У таблиці 4.17 наведено результати порівняння.

Таблиця 4.17 - Порівняння варіантів ТП за наведеними витратами

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Новий
Технологічна собівартість деталі	C_T	192,99	105,66
Капітальні витрати на деталь	K_o	78,74	125,06
Наведені витрати на деталь	W_o	204,80	124,42
Собівартість річної програми	C_p	1447425,00	792450,00
Капітальні витрати на програму	$K_{\text{оріч}}$	590585,31	937923,29
Наведені витрати на програму	$W_{\text{річ}}$	1536012,80	933138,49
Річна економія (збиток), грн	ΔW	602874,3	

Аналіз таблиці 4.17 показує, що придбання та використання високотехнологічного дорогого обладнання з найменшими поточними витратами на виробництво продукції в умовах багатосерійного типу виробництва часто є перешкодою для впровадження нових інноваційних технологій.

Розрахуємо критичний обсяг виробництва, при якому наведені витрати за варіантами рівні за формулою:

$$N_{\text{кр}} = \frac{(C_{2\text{пост}} - C_{1\text{пост}}) + 0,15 \cdot (K_2 - K_1)}{C_{13\text{м}} - C_{23\text{м}}} = \text{шт} \quad (4.13)$$

де $N_{\text{кр}}$ – критичний обсяг діяльності;

$C_{1\text{пост}}$ - умовно-постійні витрати на річний обсяг виробництва;

$C_{2\text{пост}}$ - умовно-постійні витрати на річний обсяг виробництва;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності;

K_1 – капітальні витрати за першим варіантом;

K_2 – капітальні витрати за другим варіантом;

$C_{1\text{зм}}$ - умовно-змінні витрати на 1 деталь за першим варіантом;

$C_{2\text{зм}}$ - умовно-змінні витрати на 1 деталь за другим варіантом.

$$N_{\text{кр}} = \frac{0,15 \cdot (6019200 - 1751040)}{192,99 - 105,66} = 7331,09 \text{ шт}$$

Таким чином, якщо програма випуску менше $N_{\text{кр}}$, то більш вигідний базовий варіант ТП. Якщо більше – 7331 шт, то більш вигідний новий варіант ТП.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Основні правила техніки безпеки при роботі на верстатах з ЧПК

У той час як виробники верстатів з ЧПК прагнуть забезпечити безпеку при майбутній роботі на їх обладнанні, відповідальність, як і раніше, лежить на операторах, які мають проявляти особливу обережність [11]. Щоб уникнути нещасних випадків, пов'язаних з роботою на верстатах з ЧПК, треба виконувати основні правила техніки безпеки під час роботи на таких верстатах:

а) завжди необхідно використовувати засоби індивідуального захисту. Незважаючи на свою ефективність, захисні екрани, встановлені на деяких верстатах із ЧПК, не можуть гарантувати 100% безпеку. Крім того, є ймовірність проходження через секції механічного цеху, в яких розміщені машини, які не мають захисного екрану. До того ж, деяке шліфувальне обладнання, в якому використовуються шліфувальні диски, при руйнуванні інструменту на великих обертових швидкостях можуть зруйнувати захисний екран. При цьому у цеху зазвичай досить шумно. І є ймовірність втрати слуху, яка збільшується з часом, проведеним у приміщенні з перевищення допустимого рівня шуму. У зв'язку з вище перерахованим рекомендується використовувати засоби індивідуального захисту, такі як захисні окуляри, щитки на обличчя, рукавички та засоби захисту органів слуху.

б) належним чином треба закріплювати заготовки. Незакріплені заготовки можуть зірватися і вилетіти з робочої зони верстата, зачепивши та пошкодивши важливі компоненти всередині верстата з ЧПК або захисний екран. Вони також можуть пошкодити різальні інструменти та призвести до неякісної обробки. Таким чином, правильне закріплення всіх заготовок може звести до мінімуму ризик нещасних випадків, підтримуючи безпеку роботи на верстаті з ЧПК;

в) необхідно вдягати добре пригнаний одяг без виступаючих частин.

Робота поруч із рухомими механізмами становить ризик. Тому завжди рекомендується захищати себе, одягнувши одяг, що добре сидить, який не заплутуватиметься в рухомих частинах. На одязі не повинно бути рукавів, кишень або шнурків, що звисають. Крім того, необхідно завжди заправляти сорочки;

г) одяг має бути з натуральних волокон. Натуральні волокна, такі як шерсть або бавовна в одязі, забезпечують захисний бар'єр від гарячого пару і стружок, що летять. Вони не прогорають при зіткненні зі стружкою. Синтетичні волокна навпроти прогорають та плавляться;

д) завжди треба носити черевики. Незалежно від того, наскільки робітник обережний, треба передбачати певні ризики, такі, наприклад, як падіння важких предметів. Тому краще носити чоботи зі сталевим носком, вони можуть захистити пальці ніг, запобігаючи травмам. До того ж підошва має бути твердою, щоб можлива стружка з підлоги не застрягала в ній;

є) не можна носити аксесуари, такі як намисто та браслети, які можуть зачепитися за рухомі механізми., або впасти в робочу зону верстата;

е) для запобігання затягування волосся в обертальні частини машини необхідно завжди зав'язувати волосся або прибирати його під щільний головний убір;

ж) треба мати план дій у надзвичайних ситуаціях. Враховуючи, що машини у цехах великогабаритні, важкі та працюють з великими швидкостями, аварійні ситуації не рідкість. Тим не менш, здатність оператора долати ці проблеми, наслідуючи план, залежить від попереднього планування та практики. Проблеми можна поділити на три рівні. До першого належать неекстренні інциденти, які згодом можуть призвести до проблем. Другий рівень охоплює аварійні ситуації низького рівня, такі як нарощування стружки, які з часом можуть спричинити небезпечну ситуацію. Третій рівень охоплює ситуації, надзвичайно небезпечні для машини та оператора. Для кожного з цих інцидентів має бути план дій, причому третій рівень вимагає від оператора негайного натискання кнопки екстреної зупинки;

з) необхідно ретельно слідкувати за ходом різання. Прозорий захисний екран верстата з ЧПК призначений для того, щоб оператор міг контролювати процес обробки. У випадках, коли огляд утруднений сумішшю стружки, що летить, і охолоджуючої рідини, передбачена відеокамера. Але це не єдині можливості, за допомогою яких можна стежити за процесом. Також слід звернути увагу на звук, що видається. Логіка постійного спостереження за процесом полягає у тому, щоб помічати ненормальні рухи чи звуки, які можуть загрожувати вашому здоров'ю та безпеці. Потім, залежно від серйозності проблеми, можна виконати передбачені заходи або натиснути на кнопку екстреної зупинки;

і) виконання регулярного огляду і технічного обслуговування. Регулярне технічне обслуговування може допомогти вам запобігти ескалації певних проблем та вирішити їх на стадії зародження. Наприклад, регулярне технічне обслуговування конвеєра для стружки може допомогти уникнути поломок, яка може призвести до накопичення стружки, що є проблемою другого рівня. Простіше кажучи, планове технічне обслуговування сприяє безпеці верстатів з ЧПК та робітників, що на них і поряд із ними працюють.

Нещасні випадки у механічних цехах нерідкі, враховуючи, що верстати з ЧПК важкі та обробляють матеріал на високих швидкостях. Тому вкрай важливо дотримуватись правил техніки безпеки на верстатах з ЧПК та передового досвіду для запобігання таким нещасним випадкам. Крім того, навчання з техніки безпеки має вирішальне значення для підтримки безпечного середовища в верстатному цеху з верстатами з ЧПК.

ВИСНОВКИ

Було вдосконалено технологічний процес виготовлення вала-шестерні двоступінчастого редуктора. Було запропоновано і економічно обґрунтовано отримання заготовки штампуванням на пресі замість заготовки з прокату, що дало річний економічний ефект від впровадження отримання заготовки штампуванням на КГШП становив 812,5 грн за рахунок економії матеріалу.

Вдосконалений маршрут виготовлення деталі, який містив замість токарної обробки на універсальних верстатах обробку на верстатах з ЧПК дозволив зменшити тривалість оброблення деталі та отримати економічний ефект майже 603 тис грн.

Для фрезерної операції з ЧПК була отримана керуюча програма в програмному забезпеченні NX CAM та перевірена за допомогою симуляції процесу обробки.

Було спроектовано верстатне пристосування для фрезерування шпонкового пазу, проведені необхідні розрахунки: визначено різноманітні похибки, був проведений розрахунок на точність, зусилля затиску і запропоновано гідропривід з визначеними параметрами. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю радіального биття зубців зубчатого вінця вала-шестерні.

В організаційній частині були виконані розрахунки щодо планування дільниці з виробництва деталі «Вал-шестерня», кількість технологічного обладнання – 13 верстатів, чисельність основних виробничих робітників – 10 осіб.

Через те, що найбільш навантаженими в деталі є зубці, їх було перевірено на міцність за допомогою міцностного модулю комп'ютерного пакету NX. При прикладені навантаження і граничних умов, еквівалентних експлуатаційним, запас міцності по напруженнях склав 1,7, що входить в допустимий інтервал коефіцієнта запасу міцності.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Характеристика матеріала 40Х [Електронний ресурс] // МАРОЧНИК СТАЛИ І СПЛАВОВ. – Режим доступу: https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=32 (дата звернення: 10.06.2024). – Назва з екрана.
2. Богуслаєв В.О. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / В.О. Богуслаєв, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.
3. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 57 с.
4. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми (спеціалізації) «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / Укл. : Гончар Н.В., Тришин П.Р. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 61 с.
5. Сторож Б.Д., Палійчук І.І., Копей В.Б. Технологічні основи машинобудування: Лабораторний практикум. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 50 с.
6. Булига Ю.В. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум / Булига Ю.В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 67 с.
7. Сторож Б.Д., Палійчук І.І., Копей В.Б. Технологічні основи машинобудування: Лабораторний практикум. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 50 с.
8. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Технологія машинобудування», для студентів спеціальності 133 Галузеве

машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія всіх форм навчання / Укл.: Тришин П.Р. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 80с.

9. Богуслаев В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 430 с.

10. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 43 с.

11. Ярошевська В.М. Безпека життєдіяльності: Підручник. -Київ: ВД "Професіонал", 2004. -559 с.

ДОДАТОК А

Специфікація робочого пристосування

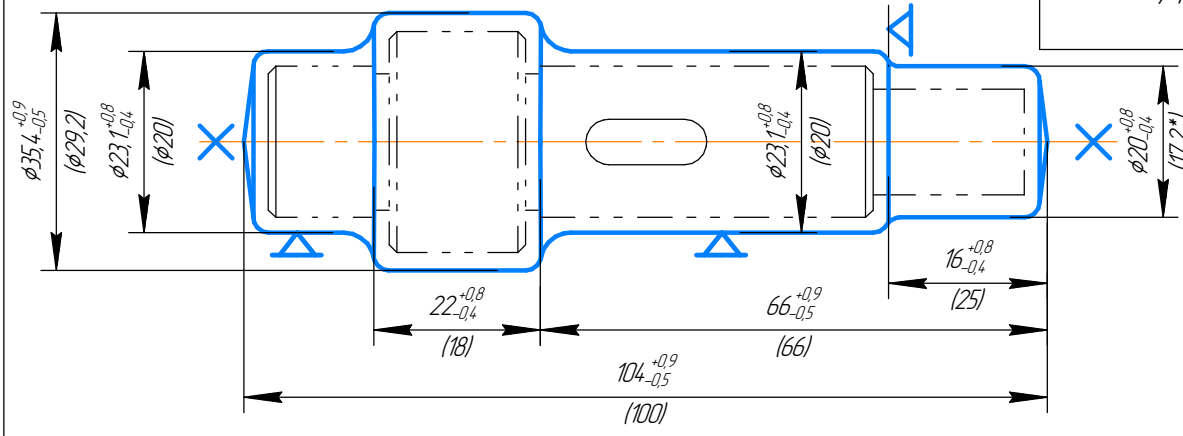
Формат Знак		Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перв. примен.						
				Документация		
			НУЗП 293226.027	Складальне креслення		
Спроб. №						
				Детали		
		1		Корпус	1	
		2		Призма	2	
		3		Поршень	1	
		4		Штак	1	
		5		Кришка	1	
		6		Вахіль	2	
		7		Втулка	2	
		8		Клин	1	
		9		Пружина	1	
		10		Палець	2	
		11		Штуцер	1	
		12		Штуцер	1	
	13		Установ	1		
Подп. и дата						
				Стандартные изделия		
Взам. инв. №						
Инв. № дубл.						
Подп. и дата		14		Гайка М5 ГОСТ5915-70	2	
		15		Гайка М10 ГОСТ 5915-70	1	
Инв. № подл.				НУЗП 293226.027		
	Изм. / Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
	Разработ.	Патрабоді				
	Проб.	Ганчар				
	Н.контр.	Дядя				
Утв.	Утв.	Дядя				
					Лист	Лист
					1	2
				НУЗП		
				Мз-111сп		
				Формат А4		

ДОДАТОК Б
Технологічні карти

					НУЗП 0214.124027		1	1
Розроб.	Патрабай			НУЗП	НУЗП 721323.027	Мз-111сп.6014.1.00005		
Перевір.	Гончар							
Н.контр.	Дядя			Вал-шестерня				005

✓ Ra40

Технічні умови на заготовку				
Матеріал		Заготовка		
Найменування та марка		Код	Код і вид	Профіль і розмір
Сталь 40Х			Штамповка на КГШП	φ35,4x104
Технічні умови		Маркування	Твердість	Маса деталі
ДСТУ 7806:2015			280...320 НВ	0,23
Сортамент		Допустима кривизна		КВЗ
				0,6
Розмір вихідного матеріалу		Кільк. із заг.	Норма розходу	
			Розм. листа, прутка	Маса
φ40x70		1		0,38



1. Заготовка – штамповка за ГОСТ 7505-89. Клас точності виготовлення – Т3; ступінь складності – С2; група сталі – М2; вихідний індекс – 13.
3. Невказані радіуси заокруглення – 2,5 мм, формувальні нахили – 7°.
4. Допустима задирка після обрізання облою – 1,5 мм; зміщення по лінії роз'єму штампа до 1,2 мм.
5. * Розмір для довідок

Дудл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--	--

НУЗП 0214.124.027 1 1

Розроб. Патрабоді

НУЗП

НУЗП 721323.027

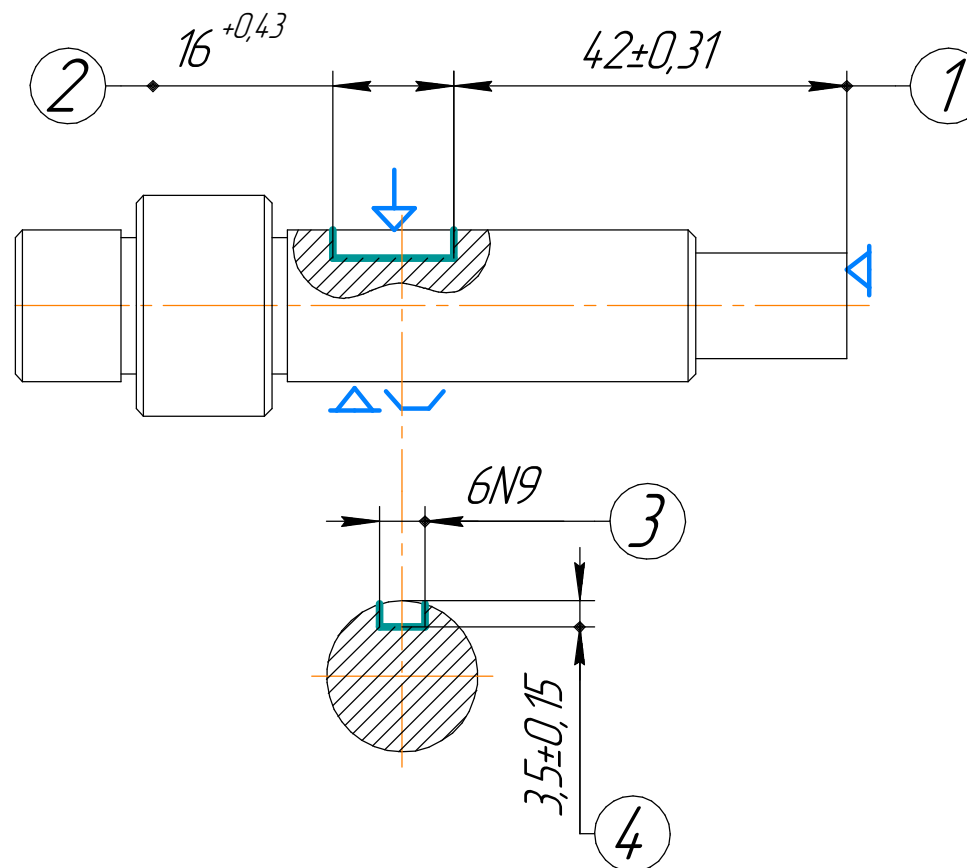
Мз-111сп.2014.100040

Перевір. Гончар

Н. контр. Дядя

Вал-шестерня

040

 $Ra5$ 

* Розмір для довідок

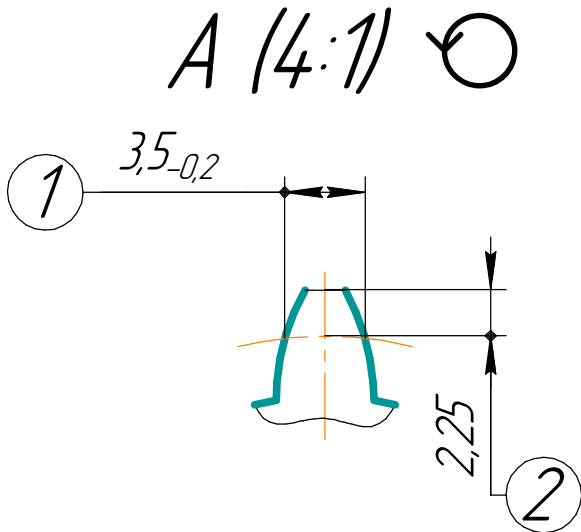
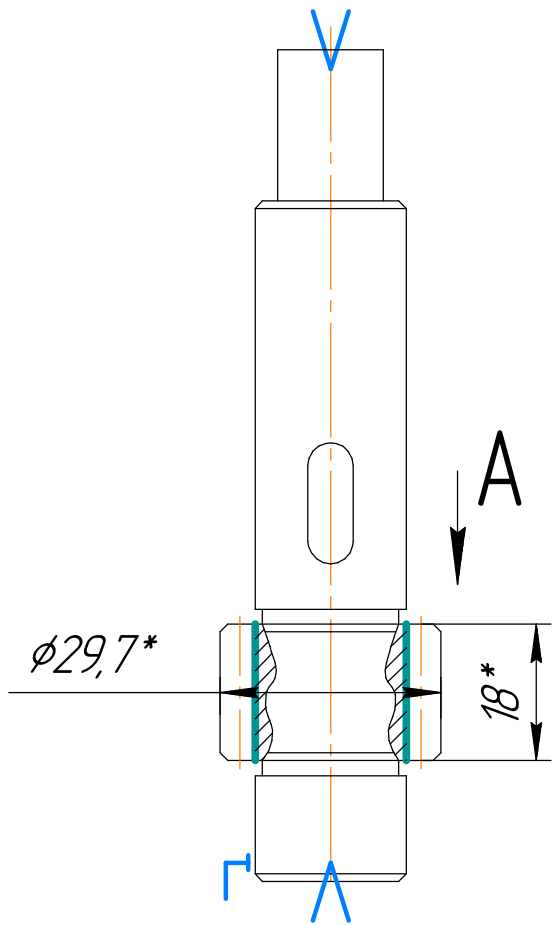
Дудл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--

ГОСТ 3.1105-84	Форма 7

						НУЗП 0214.124027		1	1
Розроб.	Патрабоді			НУЗП	НУЗП 721323.027				Мз-111сп.2014.1.00050
Перевір.	Гончар								
Н. контр.	Дядя				Вал-шестерня				050

✓ Ra5



Модуль	<i>m</i>	2
Кількість зубців	<i>z</i>	12
Нормальний початковий контур	—	ГОСТ 13755-80
Коефіцієнт зміщення	<i>x</i>	+0,3
Довжина загальної нормалі	<i>w</i>	9.603 ^{-0.111} _{-0.181}
Діаметр ділильного кола	<i>d</i>	24
Ступінь точності ГОСТ 1643-81	—	8-B

* Розмір для довідок

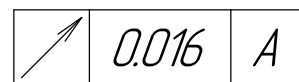
КЗ			
----	--	--	--

1981-2-1953-6				1981-7

1

090

Ra1,25



A

16 *

 $\phi 20k6(+0.015/+0.002)$

* Розмір для довідок

Дудл.			
Вэам.			
Підл.			

				НУЗП 0214.124027				Листів 1		Лист 1	
Розроб.	Патрабоді			НУЗП	НУЗП 721323.027		Мз-111сп.6014.1.00090				
Перевір.	Гончар										
				Вал-шестерня							090
Н.контр.	Дядя										

Найменування операції	Матеріал	Твердість	ОВ	МД	Проф. і розм.	МЗ	КВЗ
Круглошліфувальна	Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015	28...32 НRC	к2	0,23		0,38	0,6
Устаткування, пристрій ЧПК	Позначення програми	То	Тв	Тп.з.	Тш-к	30ТС	
Круглошліфувальний 3У10В	-	0,04	0,88	25	1,29	5% емульсія "Укріол-1" ТУ-38-101197-76	

[illegible]

--	--