

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

перший (бакалаврський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Розроблення технологічного процесу виготовлення вала ступінчастого»

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи М-112

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

КОЗАКОВСЬКИЙ О.С.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ТРИШИН П.Р.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент МАТЮХІН А.Ю.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

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

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 Сергій ДЯДЯ

« _____ » _____ 20__ року

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

КОЗАКОВСЬКИЙ Олександр Сергійович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розроблення технологічного процесу виготовлення вала ступінчастого

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент, ТРИШИН Павло Романович
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «12» травня 2026 року №233

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі; програма випуску N=5000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина; 2. Конструкторська частина; 3. Розробка планування дільниці; 4. Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки або заходів; 5. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Креслення деталі, заготовки; 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; креслення робочого пристосування; плакат розрахунку деталі на міцність. Кількість слайдів - 10

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	ТРИШИН П.Р., к.т.н ., доц.		
6	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., к.т.н ., доц.		
нормоконтроль	ДЯДЯ С.І., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання 01.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	11.05.2026	
2	Розрахунок режимів різання	13.05.2026	
3	Розробка керуючої програми	15.05.2026	
4	Розрахунок на міцність	18.05.2026	
5	Конструкторська частина	20.05.2026	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності	22.05.2026	
7	Охорона праці	25.05.2026	
8	Оформлення пояснювальної записки	27.05.2026	
9	Нормоконтроль і рецензія	29.05.2026	
10	Захист дипломного проекту	02.06.2026	

Студент _____
(підпис)

Олександр КОЗАКОВСЬКИЙ
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)

Павло ТРИШИН
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 85 с., 21 рис., 21 табл., 1 додаток, 10 джерел.

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

Об'єкт дослідження – вал ступінчатий.

Мета роботи – розробити технологічний процес виготовлення валу ступінчатого.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний розрахунково-аналітичний, комп'ютерне моделювання деталі.

В дипломному проєкті розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Вал ступінчатий», вибрано і економічно обґрунтовано метод отримання заготовки, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, розроблено керуючу програму для операцію з ЧПК, спроектовано робоче та запропоновано контрольне пристосування, досліджено міцносні характеристики деталі

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	
Вступ.....	8
1 Технологічна частина.....	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....	9
1.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт.....	11
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням.....	12
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	16
1.4.1 Вибір технологічних баз.....	16
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	18
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	21
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	24
1.6 Розрахунок режимів різання.....	22
1.6.1 Фрезерно-центрувальна операція.....	25
1.6.2 Шліфувальна операція.....	29
1.6.3 Фрезерна операція.....	31
1.7 Технічне нормування операцій.....	35
1.7.1 Технічне нормування фрезерно-центрувальної операції.....	35
1.7.2 Технічне нормування шліфувальної операції.....	36
1.7.3 Технічне нормування фрезерної операції.....	38
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	39
2 Конструкторська частина.....	45
2.1 Проектування робочого пристосування.....	45
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.....	45
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосувань на точність.....	46

2.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску. Вибір приводу.....	48
2.2 Проектування контрольного пристосування.....	50
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	50
2.3 Розрахунок деталі на міцність	51
3 Розробка планування ділянки.....	55
4 Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів.....	58
5 Охорона праці.....	68
Висновки	71
Перелік джерел посилання.....	73
Додаток А. Технологічні карти.....	75

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЗОТС – змащувально-охолоджувальне технологічне середовище

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КГШП – кривошипний горячештамповальний прес

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

РТК – розрахунково-технологічна карта

САПР – системи автоматизованого проектування

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

Сучасне машинобудування є однією з провідних галузей промисловості, яка визначає рівень технічного розвитку країни. Важливе місце у виробництві машин і механізмів займає виготовлення деталей типу тіл обертання, зокрема валів, що широко застосовуються в редукторах, приводах та інших механічних системах.

Ступінчасті вали є відповідальними деталями, які виконують функцію передачі крутного моменту та забезпечують взаємне розташування і закріплення елементів передачі, таких як підшипники, зубчасті колеса та муфти. Надійність роботи таких деталей безпосередньо залежить від точності їх виготовлення, якості поверхонь та правильності вибору технологічного процесу.

В умовах сучасного виробництва особливо актуальним є розроблення ефективних технологічних процесів, які забезпечують високу продуктивність, економічність та якість продукції. Це досягається шляхом раціонального вибору заготовки, обладнання, інструменту, режимів різання, а також застосування сучасних систем автоматизованого проектування та керування, зокрема верстатів з числовим програмним керуванням.

Метою даної дипломної роботи є розробка технологічного процесу виготовлення ступінчастого валу з урахуванням вимог точності, якості та економічної доцільності виробництва.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виготовлення ступінчастого валу, а предметом – методи та засоби забезпечення його ефективності та якості.

У результаті виконання дипломної роботи передбачається отримати раціональний технологічний процес, який забезпечить виготовлення деталі з необхідними технічними характеристиками при мінімальних витратах.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Ступінчастий вал (рис. 1.1) є однією з основних деталей механічної передачі та входить до складу редуктора конвеєра. Його службове призначення полягає у передачі крутного моменту від приводу до робочих органів машини, а також у забезпеченні взаємного розташування та кріплення елементів передачі, таких як підшипники, зубчасті колеса та муфти.

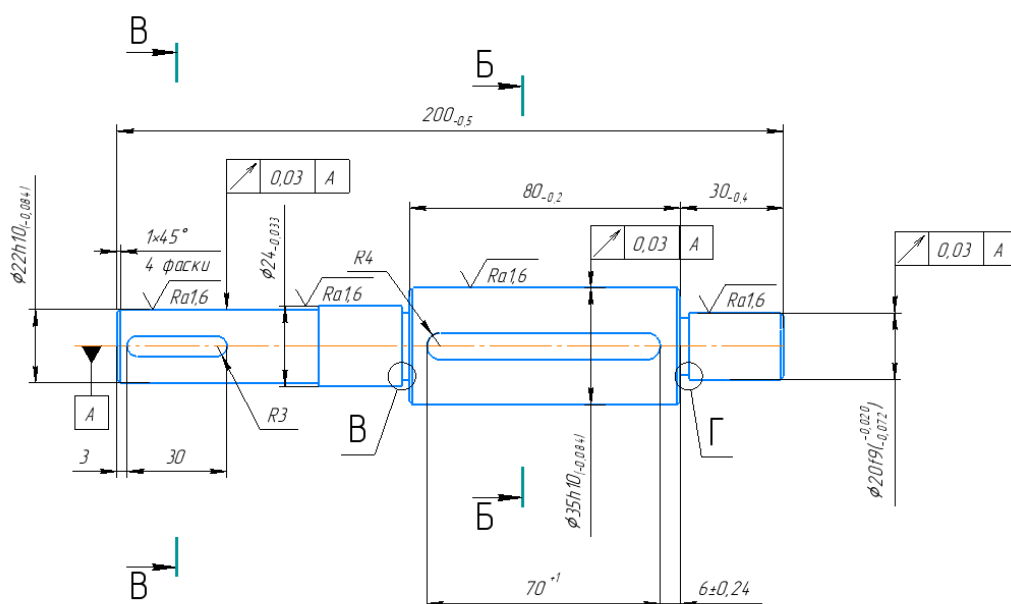


Рисунок 1.1 – Деталь

Конструктивно деталь являє собою ступінчастий вал циліндричної форми з кількома посадочними шийками різного діаметра, що забезпечують встановлення та фіксацію функціональних елементів. Основні ділянки валу мають такі призначення:

- шийки діаметром 20 мм та 24 мм призначені для встановлення підшипників кочення, які забезпечують обертання валу з мінімальним тертям та сприймають радіальні навантаження;
- шийка діаметром 35 мм використовується для встановлення

зубчастого колеса, через яке передається крутний момент у редукторі;

- шийка діаметром 22 мм служить для монтажу муфти, що забезпечує з'єднання валу з іншим елементом приводу та компенсацію можливих перекосів.

Перехід між ступенями виконаний з відповідними галтелями для зниження концентрації напружень і підвищення міцності деталі. Для забезпечення точності встановлення деталей передбачені посадочні поверхні з відповідними допусками та шорсткістю.

Матеріалом валу є легована конструкційна сталь 40X (таблиця 1.1), яка широко застосовується для виготовлення відповідальних деталей машин, що працюють в умовах змінних навантажень. Для підвищення міцності, зносостійкості та довговічності деталь піддається термічній обробці до твердості 28...32 HRC, що забезпечує оптимальне поєднання міцності та в'язкості.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40X [1]

C	Fe	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,36... 0,44	основа	0,17... 0,37	0,5... 0,8	<0,3	<0,035	<0,035	0,8... 1,1	<0,3

В умовах експлуатації вал зазнає дії крутного моменту, вигинальних навантажень, а також контактних напружень у місцях встановлення підшипників і зубчастого колеса. Тому до нього висуваються підвищені вимоги щодо міцності, жорсткості, точності виготовлення та якості поверхонь.

Таким чином, конструкція ступінчастого валу є технологічно доцільною, забезпечує надійну роботу редуктора конвеєра та відповідає умовам його експлуатації.

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Вибір типу виробництва здійснюється на основі аналізу конструкції деталі, її маси, річної програми випуску та вимог до точності і якості виготовлення.

Деталь – ступінчастий вал редуктора конвеєра – має відносно просту конструкцію, що складається з циліндричних поверхонь різних діаметрів, які обробляються переважно токарними операціями з подальшим шліфуванням відповідальних шийок. Відсутність складних профілів і важкодоступних поверхонь свідчить про добру технологічність конструкції.

Маса деталі становить 1,1 кг, що дозволяє застосовувати високопродуктивні методи обробки без значних витрат на транспортування та встановлення. Річна програма випуску становить 5000 штук, що є достатньо великою кількістю для організації стабільного виробничого процесу.

З урахуванням зазначених факторів, а саме:

- відносно простої конструкції деталі;
- стабільної номенклатури;
- значного обсягу випуску (5000 шт/рік);
- можливості застосування спеціалізованого оснащення;

приймається серійний тип виробництва.

Серійне виробництво характеризується виготовленням деталей партіями, що регулярно повторюються, із застосуванням універсального та спеціалізованого обладнання, а також частковою спеціалізацією робочих місць. Це дозволяє досягти оптимального співвідношення між продуктивністю та гнучкістю виробництва.

Кількість партії оброблюваних деталей [2]:

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

де N – річна програма випуску, $N = 5000$ шт;

α – періодичність запуску партій деталей в виробництво, $\alpha = 3 \dots 5$;

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

$$n = \frac{3 \cdot 5000}{250} = 60 \text{ шт}$$

З огляду на обраний тип виробництва, доцільно застосувати змінно-потокową форму організації робіт. Змінно-потокową виробництво передбачає розміщення обладнання відповідно до послідовності виконання технологічних операцій, що забезпечує безперервність виробничого процесу, скорочення часу виготовлення та зменшення міжопераційних запасів.

Основними перевагами потокową організації у даному випадку є:

- підвищення продуктивності праці;
- скорочення тривалості виробничого циклу;
- можливість механізації та часткової автоматизації процесів;
- стабільна якість продукції за рахунок повторюваності операцій.

Отже, для виготовлення ступінчастого валу редуктора конвеєра з річною програмою 5000 штук доцільно прийняти серійний тип виробництва з потокową формою організації робіт, що забезпечує ефективність, економічність та стабільну якість виготовлення деталі.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Вибір виду та способу отримання заготовки є важливим етапом розробки технологічного процесу, оскільки він суттєво впливає на собівартість виробу, трудомісткість обробки та коефіцієнт використання матеріалу.

Для виготовлення ступінчастого валу редуктора конвеєра з матеріалу сталь 40X та річною програмою випуску 5000 шт розглянуто два можливі способи отримання заготовки:

- штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі (КГШП);
- виготовлення заготовки з прокату (круглого прутка).

Штампування (рис.1.2) є прогресивним методом отримання заготовок, який дозволяє максимально наблизити форму заготовки до форми готової деталі.

Для даної деталі прийняті наступні характеристики штампування:

- клас точності – Т2;
- група сталі – М2;
- група складності – С4.

Основні переваги штампування:

- зменшення припусків на механічну обробку;
- зниження витрат матеріалу;
- підвищення механічних властивостей за рахунок сприятливої волокнистої структури металу;
- зменшення трудомісткості механічної обробки.

Недоліком є необхідність виготовлення штампового оснащення, що супроводжується додатковими початковими витратами.

Заготовка у вигляді круглого прокату (рис. 1.3) є простішим і дешевшим варіантом на етапі підготовки виробництва.

Переваги:

- відсутність витрат на спеціальне оснащення;
- простота організації виробництва;
- доступність матеріалу.

Недоліки:

- значні припуски на обробку;
- більші втрати матеріалу (низький коефіцієнт використання);

- підвищена трудомісткість механічної обробки;
- гірші умови формування структури матеріалу порівняно зі штампуванням.

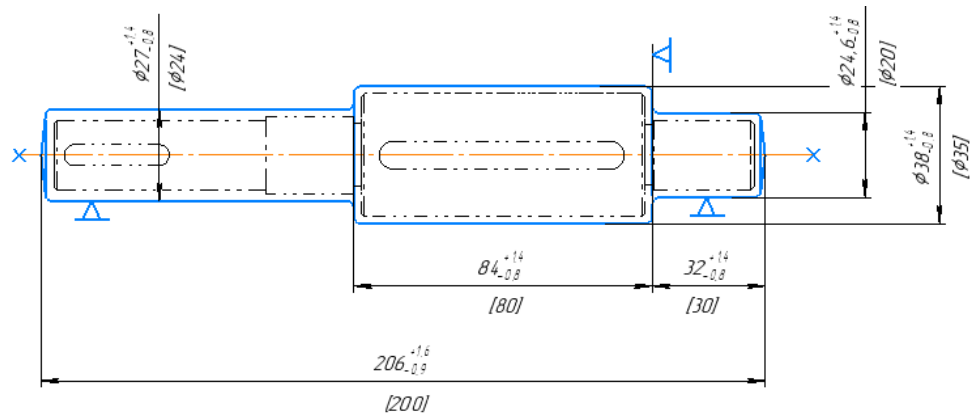


Рисунок 1.2 – Заготовка на КГШП

Собівартість виготовлення однієї заготовки:

$$C = \frac{V_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_{II} - (Q - q) \frac{V_{\text{відх}}}{1000}, \quad (1.2)$$

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

V_B – базова собівартість виготовлення 1 т заготовок, грн. [3];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [3];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [3];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [5];

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [3];

K_{II} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [3];

$V_{\text{відх}}$ – вартість 1 т стружки [3].

$$C_1 = \frac{3500}{1000} \cdot 1,5 \cdot 1,05 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 - \frac{(1,5 - 1,1)}{1000} \cdot 1000 = 7,5 \text{ грн}$$

$$C_2 = \frac{2700}{1000} \cdot 2,9 \cdot 1,05 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 - \frac{(2,9 - 1,1)}{1000} \cdot 1000 = 6,4 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (1.3)$$

$$\eta_1 = 1,1/1,5 = 0,7$$

$$\eta_2 = 1,1/2,9 = 0,4$$

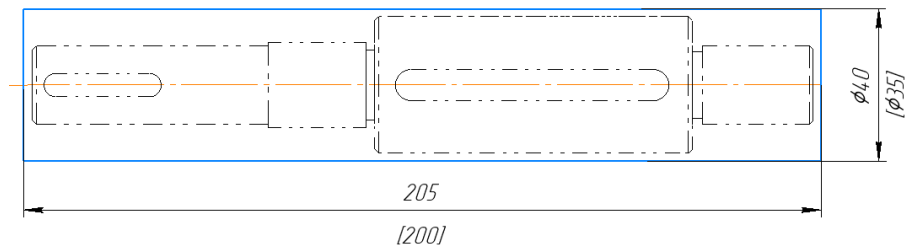


Рисунок 1.3 – Заготовки з прокату

Розрахункові значення параметрів заготовки заносимо в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			КГШП	Прес
Вага заготовки	Q	кг	1,5	2,9
Базова вартість заготовки	В _Б	грн	3500	2700
Коефіцієнти	К _Т		1,05	1,05
	К _М		1,8	1,8
	К _С		0,9	0,9
	К _З		0,78	0,78
	К _П		1	1
Вартість 1 т стружки	В _{відх}	грн	1000	1000
Собівартість заготовки	В _з	грн	7,5	6,4
КВМ	η		0,64	0,36

Річні заощадження за вартістю виготовлення заготовок розраховується за формулою:

$$E_B = (C_1 - C_2) \cdot N, \quad (1.4)$$

$$E_B = (7,5 - 6,4) \cdot 5000 = 5500 \text{ грн}$$

Річні заощадження витрат матеріалу розраховується за формулою:

$$M_e = \frac{q(\eta_k - \eta_z)}{\eta_z \cdot \eta_k} \cdot N \quad (1.5)$$

$$M_e = (1,5 \cdot (0,7 - 0,4)) / (0,4 \cdot 0,7) \cdot 5000 = 7101 \text{ грн}$$

З урахуванням серійного типу виробництва, річної програми випуску 5000 штук, відносно простої конструкції деталі та необхідності підвищення економічної ефективності виробництва, доцільно обрати штампування на КГШП як основний спосіб отримання заготовки.

1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

1.4.1 Вибір технологічних баз

Вибір технологічних баз є важливим етапом розробки технологічного процесу, оскільки від правильності їх призначення залежить точність виготовлення деталі, взаємне розташування поверхонь та якість обробки.

Для забезпечення необхідної точності та взаємозамінності поверхонь ступінчастого валу застосовується принцип єдності та сталості баз.

На початковому етапі обробки, під час фрезерно-центрувальної операції, створюються основні технологічні бази – центрові отвори. Вони використовуються на наступних операціях як установчі бази, що забезпечують

співвісність усіх оброблюваних поверхонь валу.

При виконанні токарних операцій як технологічні бази використовуються:

- центрові отвори – як основна базова поверхня, що забезпечує обробку вала в центрах і досягнення високої співвісності;
- шийки діаметром 20 мм та 22 мм – як допоміжні напрямні бази;
- крайній торець валу – як упорна база для забезпечення осьового розташування деталі.

Таке базування дозволяє досягти високої точності обробки циліндричних поверхонь та забезпечити їх концентричність.

При обробці шпонкових пазів застосовується наступна схема базування: шийка діаметром 35 мм; шийка діаметром 22 мм; крайній торець валу. Дана схема забезпечує правильне орієнтування паза відносно осі валу та точне його розташування по довжині деталі.

Для операцій шліфування в якості технологічних баз використовуються центрові отвори. Це забезпечує максимальну точність обробки, високу співвісність шийок та необхідну якість поверхні, особливо для посадочних ділянок під підшипники.

Прийнята система базування відповідає вимогам технологічності та забезпечує:

- високу точність взаємного розташування поверхонь;
- співвісність усіх шийок валу;
- стабільність якості при серійному виробництві.

Використання центрових отворів як основних баз є найбільш доцільним для обробки тіл обертання, зокрема ступінчастих валів.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Проектування маршруту обробки поверхонь (МОП) є одним з основних етапів розробки технологічного процесу виготовлення деталі. Раціонально складений маршрут забезпечує необхідну точність, якість поверхонь, а також мінімізацію витрат часу і ресурсів.

При розробці маршруту обробки ступінчастого валу враховано конструкцію деталі, вимоги до точності посадочних поверхонь, серійний тип виробництва та використання потокової організації робіт.

Технологічний процес будується за принципом послідовного уточнення форми та розмірів деталі – від чорнової обробки до чистової та оздоблювальної.

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

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (1.6)$$

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (1.7)$$

де Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (1.8)$$

де Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Для поверхні 3 – $\text{Ø}20f9 \left(\begin{smallmatrix} -0,020 \\ -0,072 \end{smallmatrix} \right)$:

$$\varepsilon_d = \frac{2,2}{0,052} = 42$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{25}{1,6} = 15$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{0,5}{0,02} = 25$$

Кількість переходів розраховується по превалюючому показнику за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (1.9)$$

$$k = 2 \cdot \lg 42,3 = 2,9$$

Приймаємо три переходи. Визначаємо різницю показників якості та розподіляємо цю різницю між трьома переходами за законом прогресивного зменшення: $IT = IT17 - f9 = 8 = 5 + 2 + 1$.

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

1) Для допуску: $IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h10 \rightarrow TO \rightarrow f9$.

2) Для шорсткості: $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow TO \rightarrow Ra1,6$.

Призначаємо МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння чистове, шліфування.

Призначаєм допуски на обробку та шорсткість по переходам:

- Перший перехід – точіння чорнове: $T_{D1} = 210$ мкм; $T_{Ra1} = 6,3$ мкм [4].

- Другий перехід – точіння чистове: $T_{D2} = 84$ мкм; $T_{Ra2} = 3,2$ мкм [4].

- Четвертий перехід – шліфування: $T_{D4} = 52$ мкм; $T_{Ra4} = 1,6$ мкм [4].

Розраховуємо уточнення за переходами:

$$\varepsilon_{d1} = \frac{2200}{210} = 10,5$$

$$\varepsilon_{d2} = \frac{210}{84} = 2,5$$

$$\varepsilon_{d4} = \frac{84}{52} = 1,6$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{25}{6,3} = 3,9$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{6,3}{3,2} = 2$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{3,2}{1,6} = 2$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 1,5 \cdot 2,5 \cdot 1,6 = 41,9 < \varepsilon_d = 42$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 3,9 \cdot 2 \cdot 2 = 15,6 < \varepsilon_{Ra} = 15$$

Розрахунок МОП заносимо до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – МОП деталі

Характер поверхні	Параметри заготовки		Параметри деталі		МОП		Допуски, мкм			Уточнення		
	T _{d3}	T _{Ra3}	T _{dд}	T _{Raд}	IT	Метод обраб.	Геом. розм	Ra, мкм	↑ мм	Геом. розм	ше рох	↑
Ø20f9 (^{-0,020} / _{-0,072}) Ra=1,6	2,2	25	0,052	1,6	17	Загот	2200	25	0,6	–	–	–
					13	Точін чорн.	330	6,3	0,2	6,6	3,9	3
					10	Точін чист.	84	3,2	0,05	3,9	2	4
					9	Шліф.	52	1,6	0,02	1,6	2	2.5
Ø35 _{-0,084} Ra=1,6	2,2	25	0,052	1,6	17	Загот	2200	25	0,6	–	–	–
					13	Точін чорн.	330	6,3	0,2	6,6	3,9	3
					10	Точін чист	130	3,2	0,05	3	2	4
					9	Шліф.	84	1,6	0,02	1,5	2	2.5
80 _{-0,2} Ra=3,2	2,2	25	0,2	6,3	17	Загот	2200	25	0,6	–	–	–
					13	Точін чорн	540	6,3	0,2	4,07	2	3
					10	Точін чист	200	3,2	0,1	2,7	2	2
						ТО	-	-	-	-	-	-

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення валу ступінчастого складається з наступних етапів:

- 1) Заготівельна операція. Отримання заготовки методом штампування на КГШП з подальшим очищенням від окалини.
- 2) Термічна обробка (ТО). Попередня ТО для зняття внутрішніх напружень та покращення оброблюваності.
- 3) Фрезерно-центрувальна операція. Обробка торців та виконання центрових отворів, які використовуються як основні технологічні бази на наступних операціях.
- 4) Токарна чорнова обробка. Обточування основних поверхонь з великими припусками з метою надання загальної форми деталі.
- 5) Токарна чистова обробка. Остаточне формування циліндричних поверхонь, досягнення необхідних розмірів та точності (за винятком поверхонь під шліфування).
- 6) Фрезерування шпонкових пазів. Обробка шпонкових пазів відповідно до креслення з забезпеченням їх точного розташування.
- 7) Слюсарна операція. Зняття задирок, фасок, зачищення поверхонь після механічної обробки.
- 8) Мийна операція. Очищення деталі від стружки, мастильно-охолоджувальних рідин та забруднень.
- 9) Контрольна операція. Перевірка основних геометричних параметрів та якості обробки після попередніх операцій.
- 10) ТО. Гартування та відпуск для досягнення твердості 28...32 HRC, що забезпечує необхідні експлуатаційні властивості.
- 11) Шліфувальна операція. Остаточна обробка посадочних шийок (під підшипники) з досягненням високої точності та малої шорсткості поверхні.
- 12) Мийна операція. Повторне очищення деталі після шліфування.

13) Контрольна операція. Остаточний контроль деталі: перевірка розмірів, форми, взаємного розташування поверхонь та якості.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Для поверхні $\phi 20f9 \left(\begin{smallmatrix} -0,020 \\ -0,072 \end{smallmatrix} \right)$ виконаємо розрахунок припусків в розрахунково-аналітичним методом.

Вибираємо нормативні та розрахункові значення елементів припусків:

- для заготівлі: $Rz_1 = 160$ мкм та $h_1 = 200$ мкм [4].
- для точіння чорнового: $Rz_2 = 80$ мкм, $h_2 = 100$ мкм, $k_y = 0,06$ [4].
- для точіння чистового: $Rz_3 = 20$ мкм, $h_3 = 20$ мкм; $k_y = 0,04$ [4].
- для шліфування: $k_y = 0,03$, $Rz_5 = 10$ мкм та $h_5 = 10$ мкм [4].

Просторові відхилення заготовки розраховують за формулою:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (1.10)$$

де $\rho_{кор}$ – похибка короблення, $\rho_{кор} = 1$ мм [4];

$\rho_{зм}$ – неспіввісність осей шийок заготівлі, $\rho_{зм} = 0,8$ мм [4];

$$\rho_1 = \sqrt{2^2 + 0,6^2} = 1,3 \text{ мм}$$

Просторове відхилення для механічних переходів:

$$\rho_j = K_{ут} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (1.11)$$

де $K_{ут}$ – коефіцієнт уточнення для механічної обробки.

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 1300 = 75 \text{ мкм}$$

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 75 = 3 \text{ мкм}$$

Для ТО просторове відхилення:

$$\rho_4 = \Delta_k \cdot L \quad (1.12)$$

де $\Delta_{\text{кор}}$ – кривизна після ТО [6].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 200 = 20 \text{ мкм}$$

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (20 + 3) = 0,7 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення для механічних переходів:

$$\varepsilon_3 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{\text{зар}}^2 + 1} \quad (1.13)$$

$$\varepsilon_3 = 0,25 \cdot \sqrt{2,2^2 + 1} = 0,6 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_3 = K_{\text{ут}} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (1.14)$$

$$\varepsilon_3 = 0,04 \cdot 600 = 24 \text{ мкм}$$

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

Мінімальні припуски за переходами:

$$2z_i^{\text{min}} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (1.15)$$

$$2z_2^{\text{min}} = 2(200 + 250 + \sqrt{1300^2 + 600^2}) = 3306 \text{ мкм};$$

$$2z_3^{\text{min}} = 2(50 + 50 + \sqrt{75^2 + 24^2}) = 509 \text{ мкм};$$

$$2z_5^{\text{min}} = 2(25 + 25 + \sqrt{20^2 + 0,7^2}) = 86 \text{ мкм};$$

Максимальний розмір поверхні деталі – останнього переходу розраховується за формулою:

$$d_5^{\text{max}} = d_4^{\text{min}} + ES_{d4} \quad (1.16)$$

$$d_5^{\text{max}} = 20 - 0,072 = 19,928 \text{ мм}$$

Мінімальні розміри поверхні розраховуються за формулою:

$$d_i^{\min} = d_{i+1}^{\min} + 2Z_{i+1}^{\min} \quad (1.17)$$

$$d_3^{\min} = d_5^{\min} + 2Z_5^{\min} = 19,928 + 0,086 = 20,014 \text{ мм},$$

$$d_2^{\min} = d_3^{\min} + 2Z_3^{\min} = 20,014 + 0,509 = 20,523 \text{ мм},$$

$$d_1^{\min} = d_2^{\min} + 2Z_2^{\min} = 20,523 + 3,306 = 23,829 \text{ мм}.$$

Максимальні розміри для механічних переходів:

$$d_i^{\max} = d_i^{\min} + Td_i \quad (1.18)$$

$$d_5^{\max} = d_5^{\min} + Td_5 = 19,928 + 0,052 = 19,98 \text{ мм},$$

$$d_3^{\max} = d_3^{\min} + Td_3 = 20,014 + 0,084 = 20,098 \text{ мм},$$

$$d_2^{\max} = d_2^{\min} + Td_2 = 20,523 + 0,33 = 20,853 \text{ мм},$$

$$d_1^{\max} = d_1^{\min} + Td_1 = 23,829 + 2,2 = 26,029 \text{ мм},$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою:

$$2Z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (1.19)$$

$$2Z_2^{\max} = d_1^{\max} - d_2^{\min} = 26,029 - 20,523 = 5,506 \text{ мм},$$

$$2Z_3^{\max} = d_2^{\max} - d_3^{\min} = 20,853 - 20,014 = 0,839 \text{ мм},$$

$$2Z_5^{\max} = d_3^{\max} - d_5^{\min} = 20,098 - 19,928 = 0,170 \text{ мм},$$

Виконавчий розмір заготовки – $\text{Ø}24,6_{-0,8}^{+1,4}$ мм.

Отримані результати заносимо до таблиці 1.4

Таблиця 1.4 – Припуски та міжопераційні розміри

Характ. поверх.	МОП		Доп. Тd, мм	Гран. знач. технол. розмірів		Гран. знач припуски		Виконавч. розмір, мм
	i	Мет. обр.		d_i^{\max} , мм	d_i^{\min} , мм	$2z_i^{\max}$	$2z_i^{\min}$	
Ø20f9 ($-0,020$ $-0,072$) Ra=1,6	17	Загот	2,2	26,02	23,82	-	-	Ø 24,6($+1,4$ $-0,8$)
	13	Точін чорн.	0,33	20,85	20,52	5506	3306	Ø 20,85($-0,33$)
	10	Точін чист.	0,084	20,09	20,01	839	509	Ø20,09($-0,084$)
	9	Шліф.	0,052	19,98	19,92	170	86	Ø20f9($-0,020$ $-0,072$)
Ø35-0,084 Ra=1,6	17	Загот	2,200	43,92	41,72	-	-	Ø 41,5($+1,4$ $-0,8$)
	13	Точін чорн.	0,330	37,65	36,32	6600	4400	Ø 37,65($-0,33$)
	10	Точін чист	0,130	36,01	35,92	1730	1400	Ø36($-0,130$)
	9	Шліф.	0,084	35	34,92	1084	1000	Ø35($-0,084$)
80-0.2 Ra=6,3	17	Загот	2,200	89,1	86,9	-	-	89,1($+1,4$ $-0,8$)
	13	Точін чорн	0,540	83,04	82,5	6600	4400	83,04-0.54
	10	Точін чист	0,200	80	79,8	1940	1400	80-0.2

1.6 Розрахунок режимів різання

1.6.1 Фрезерно-центрувальна операція

Фрезерно-центрувальна операція №15 виконується з метою обробки торців заготовки та виготовлення центрових отворів, які в подальшому використовуються як технологічні бази при токарній та шліфувальній обробці (рис. 1.4).

Обробка здійснюється на фрезерно-центрувальному верстаті моделі НГ-1500 із застосуванням комбінованого інструменту: торцева фреза D = 100 мм ГОСТ 24359-80 та центрове свердло D=3,15 мм ГОСТ 14952-75 [5].

Технічні характеристики верстата:

- Потужність електродвигуна – 7,5 кВт
- Найбільший діаметр заготовки – 150 мм;
- Частота обертання шпинделя (свердління) – 15...3000 об/хв.

- Пришвидшена подача – 15 м/хв;
- Частота обертання шпинделя (фрезерування) – 30...1500 об/хв.
- Габарити верстата – 3320 x 1530 мм
- Подача сверлильного супорту – 0,09...1,35 мм/об.
- Найбільша товщина заготовки – 600 мм;
- Подача фрезерування – 20...400 мм/хв;

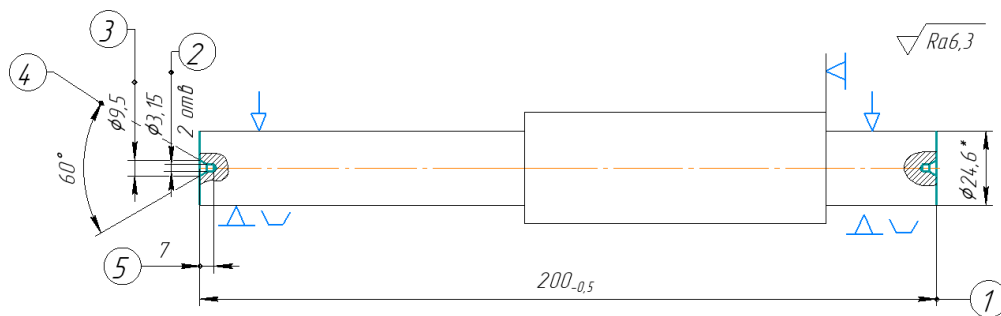


Рисунок 1.4 – Операційний ескіз

Глибина різання розраховується за формулою:

$$t = \frac{Z_{max}}{2} \quad (1.20)$$

де i – кількість проходів.

$$t_{фр} = \frac{6}{2} = 3 \text{ мм}$$

$$t_{св} = \frac{3,15}{2} = 1,6 \text{ мм}$$

Подачу розраховуємо згідно формули:

$$S_{0р} = S_{0т} = K_1 \cdot K_2 \quad (1.21)$$

де $S_{0р}$ – табличне значення подачі [6];

K_1 – поправочний коефіцієнт на величину подачі в залежності від матеріалу оброблюваної деталі, [6];

K_2 – поправочний коефіцієнт величину подачі залежно від виду обробки, [6].

$$S_{\text{фр.}} = 0,145 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 0,062 \text{ мм/об}$$

$$S_{\text{св.}} = 0,08 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,06 \text{ мм/об}$$

Приймаємо по паспорту верстату $S_{\text{фр.}} = 0,06 \text{ мм/зуб}$, $S_{\text{сверл.}} = 0,06 \text{ мм/об}$.

Швидкість різання згідно формули:

$$V_P = V_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n \quad (1.22)$$

де V_T – табличне значення швидкості [6];

K_1 – поправочний коефіцієнт, що залежить від охолодження [6];

K_2 – коефіцієнт, який залежить від кута у плані [6];

K_3 – коефіцієнт, який залежить від стану поверхні, що обробляється [6];

K_4 – поправочний коефіцієнт при поперечному фрезеруванні [6];

K_5 – коефіцієнт, який залежить від матеріалу різальної частини інструменту [6];

K_6 – коефіцієнт, який залежить від твердості оброблюваного матеріалу [6];

K_7 – коефіцієнт, що залежить від глибини різання [6];

K_8 – коефіцієнт, що залежить від подачі [6];

K_9 – коефіцієнт, що залежить від стійкості інструменту [6].

$$V_{\text{фр}} = 152 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,73 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1,1 = 105 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{св}} = 15 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,8 = 10 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (1.23)$$

$$n_{\text{св}} = \frac{1000 \cdot 10}{3,14 \cdot 3,15} = 1030 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{фр}} = \frac{1000 \cdot 105}{3,14 \cdot 100} = 334 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_{\text{св}}=1000$ об/хв, $n_{\text{фр}}=350$ об/хв.

Визначаємо хвилинну подачу фрези за формулою:

$$S_{\text{м}} = S_{\text{з}} \cdot n \cdot z \quad (1.24)$$

$$S_{\text{м}} = 0,06 \cdot 750 \cdot 6 = 270 \text{ мм/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $S_{\text{м}}=300$ мм/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою:

$$V_{\text{д}} = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000} \quad (1.25)$$

$$V_{\text{дсв}} = \frac{3,14 \cdot 1000 \cdot 3,15}{1000} = 10 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{дфр}} = \frac{3,14 \cdot 350 \cdot 100}{1000} = 110 \text{ м/хв}$$

Визначення машинного часу:

$$t_{\text{о}} = \frac{l+l_2+l_1}{S_{\text{м}}} \cdot i \cdot n, \text{ хв} \quad (1.26)$$

де l – довжина фрезерування, мм;

l_1 – величина врізання, мм;

l_2 – величина перебігу, мм;

$$l_1 = 0,5 \cdot D_{\text{ф}} \cdot \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{2 \cdot t}{D_{\text{ф}}} \right) \right), \text{ мм} \quad (1.27)$$

$$l_1 = 0,5 \cdot 100 \cdot \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{2 \cdot 3}{100} \right) \right) = 17 \text{ мм};$$

$$l_{2\text{фр}} = \frac{D_{\text{св}}}{2 \text{tg} 60}, \text{ мм} \quad (1.28)$$

$$l_{1\text{св}} = \frac{3,15}{2\text{tg}60} = 0,9\text{мм};$$

$$t_o = \frac{24,6+17+100+2}{300} + \frac{7+0,9}{1000 \cdot 0,06} = 0,3 \text{ хв.}$$

1.6.2 Шліфувальна операція

Шліфувальна операція є завершальним етапом механічної обробки ступінчастого валу і призначена для досягнення високої точності розмірів, форми та якості поверхні відповідальних ділянок.

На даній операції №65 виконується остаточне шліфування шийки діаметром 20 мм, яка використовується як посадочна поверхня під підшипник (рис. 1.5). До цієї поверхні висуваються підвищені вимоги щодо точності та шорсткості.

Для шліфування обираємо круглошліфувальний верстат моделі 3А151, а в якості інструменту – шліфувальний круг 1 600х63х305 15А 40Н СТ1 6 К8 А 50 м/с ГОСТ 2424-83 [5]. Технічні характеристики верстата:

- 1) частота обертання круга – 1272 об/хв;
- 2) найбільший діаметр оброблюваної заготовки – 200 мм;
- 3) потужність – 7,5 кВт.
- 4) найбільша довжина оброблюваної заготовки – 700 мм;
- 5) частота обертання шпинделя (безступінчаста) – 63...400 об/хв;

Подача розраховуємо по формулі (1.21):

де S_T – табличне значення подачі, $S_T=0,008$ мм/об [6];

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

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

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

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

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

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

$$S = 0,028 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,0054 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S_{\text{поп}} = 0,005 \text{ мм/об}$.

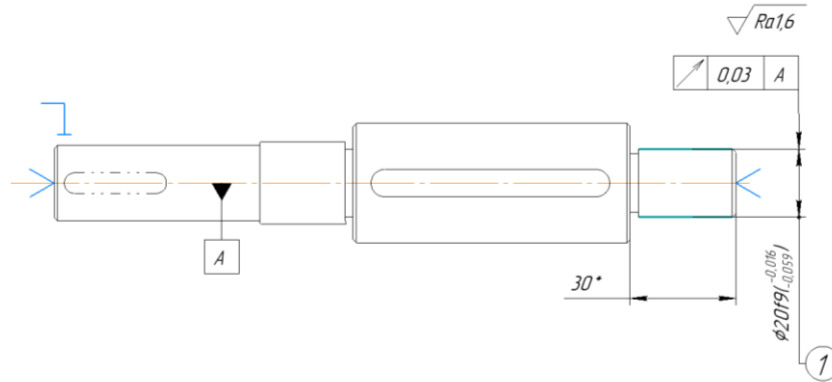


Рисунок 1.5 – Операційний ескіз

Так як ширина круга більше ширини шліфування то повздовжня подача не використовується.

Призначаємо швидкості різання: $V_{\text{ш.кр.}} = 50 \text{ м/с}$; $V_{\text{ш.дет.}} = 50 \text{ м/хв}$ [5].

Частоту обертання розраховуємо за формулою (1.23)

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

$$n_{\text{ш.кр.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.кр.}} \cdot 60}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (1.29)$$

$$n_{\text{ш.кр.}}^p = \frac{1000 \cdot 50 \cdot 60}{3,14 \cdot 600} = 1592 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстату $n_{\text{ш.кр.}} = 1272 \text{ об/хв}$, $n_{\text{дет.}} = 400 \text{ об/хв}$.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.25):

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{3,14 \cdot 600 \cdot 1272}{1000 \cdot 60} = 40 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{дет.}} = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 400}{1000} = 25 \text{ м/хв}$$

Визначаємо основний час:

$$t_0 = \frac{z \cdot k}{n_{\text{дет.}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (1.30)$$

де k – коефіцієнт уточнення.

$$t_0 = \frac{0,085 \cdot 1,7}{400 \cdot 0,005} = 0,07 \text{ хв}$$

1.6.3 Фрезерна операція

Фрезерна операція №40 (рис. 1.6) призначена для обробки шпонкових пазів на ступінчастому валу, які забезпечують передачу крутного моменту між валом та встановленими на ньому елементами (зубчастим колесом і муфтою).

У даному технологічному процесі передбачається фрезерування двох шпонкових пазів: паз шириною 8 мм; паз шириною 6 мм.

Для виконання операції призначається вертикально-фрезерний верстат з ЧПК – HAAS VF-4.

Основні переваги використання даного обладнання:

- висока точність обробки;
- можливість програмного керування координатами;
- стабільність якості при серійному виробництві;
- скорочення часу на переналагодження.

Технічні характеристики верстата:

1) найбільше переміщення столу: вертикальне – 635 мм; повздовжнє – 1270 мм; поперечне – 508 мм;

2) потужність двигуна – 14,9 кВт;

- 3) кількість інструментів – 20;
- 4) повздовжня та поперечна подача столу – 16...250 мм/хв;
- 5) діапазон частот обертання шпинделя – 0...7500 об/хв;
- 6) габаритні розміри – 3000×3800×3400 мм;

При фрезеруванні пазів застосовується наступна схема базування: шийка діаметром 35 мм; шийка діаметром 22 мм; крайній торець валу.

Таке базування забезпечує точне розташування пазів відносно осі валу та їх правильну орієнтацію.

Для обробки застосовуються кінцеві фрези: фреза Ø8 мм; фреза Ø6 мм за ГОСТ 9140-78 [5].

Обираємо подачу на зуб $Sz_{\text{табл}}=0,025$ мм/зуб [5]:

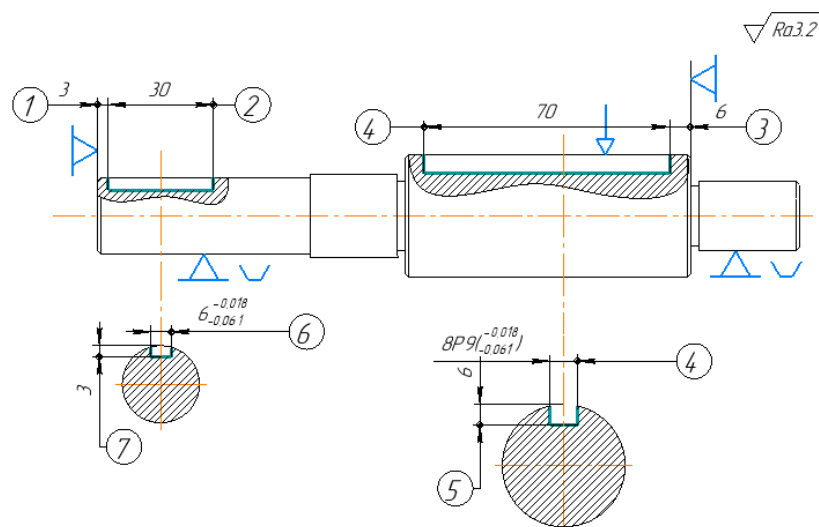


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз

Розраховуємо швидкість різання:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D_\phi^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_{zy} \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{V\Pi}, \text{ м/хв} \quad (1.31)$$

де C_v , q , x , y , u , p , m – показники ступеня, $C_v=12$, $q=0,3$, $x=0,3$, $y=0,25$, $u=0$, $p=0$, $m=0,26$ [5];

K_{VM} – коефіцієнт оброблюваності матеріалу, $K_{VM}=1$ [5];

K_{VII} – коефіцієнт, враховуючий властивості матеріалу ріжучої частини інструмента, $K_{VII}=1$ [5];

K_{VII} – коефіцієнт, враховуючий стан поверхні заготовки, $K_{VII}=1$ [5];

T – період стійкості інструменту, $T = 80$ хв;

$D\phi$ – діаметр фрези.

$$K_{VM} = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^n \quad (1.32)$$

$$K_{VM} = \left(\frac{750}{650} \right)^{0.9} = 1.1$$

$$V_p = \frac{12 \cdot 8^{0.3}}{80^{0.26} \cdot 2^{0.3} \cdot 0,025^{0.25} \cdot 8^0 \cdot 2^0} \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 18 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.23):

$$n_8 = \frac{1000 \cdot 18}{3,14 \cdot 8} = 716 \text{ об/хв}$$

$$n_6 = \frac{1000 \cdot 18}{3,14 \cdot 6} = 955 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_{д8}=700$ об/хв, $n_{д6}=900$ об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.25):

$$V_{д8} = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 700}{1000} = 17,6 \text{ м/хв}$$

$$V_{д6} = \frac{3,14 \cdot 6 \cdot 900}{1000} = 16,9 \text{ м/хв}$$

Визначаємо хвилинну подачу за формулою (1.24):

$$S_{м8} = 0,025 \cdot 700 \cdot 2 = 35 \text{ мм/хв}$$

$$S_{м6} = 0,025 \cdot 900 \cdot 2 = 45 \text{ мм/хв}$$

Обираємо за паспортом верстата $S_{м8}=35$ мм/хв, $S_{м6}=45$ мм/хв.

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{t+l_1}{S_{\text{верт}}} + \frac{l-D_{\phi}}{S_{\text{повз}}} \cdot i, \text{ хв} \quad (1.33)$$

де l – довжина фрезерування, мм;

t – глибина фрезерування, мм;

l_1 – величина врізання, мм.

$$t_o = \frac{6+1,5}{35} + \frac{70-8}{35} \cdot 3 + \frac{3+1,5}{45} + \frac{30-6}{45} \cdot 3 = 7,2 \text{ хв.}$$

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

Таблиця 1.5 – Результати розрахунку режимів різання та норм часу

Номер та назва операції	Перехід	Режими різання				
		глибина різання t , мм	кількість проходів i	подача S , мм/об	швидкість різання V , м/хв	частота обертів n , об/хв
015 Фрезерно-центрувальна	01	3	1	300мм/хв	300	110
	02	1,6	1	0,06	1000	10
020 Токарна з ЧПК	01	1,5	2	0,2	110	1200
025 Токарна з ЧПК	01	1,5	2	0,2	110	1200
030 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	120	1200
	02	0,5	2	0,1	115	1000
035 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	120	1300
	02	0,5	2	0,1	115	1300
040 Фрезерна	01	8	3	35мм/хв	17,6	700
	01	6	3	45мм/хв	16,9	900
065 Круглошліфувальна	01	0,085	1	0,005	45/25	1272/400
070 Круглошліфувальна	01	0,2	1	0,005/2	45/35	1272/500
075 Круглошліфувальна	01	0,2	1	0,005/2	35/25	1272/300
080 Круглошліфувальна	01	0,2	1	0,005	35/25	1272/350

1.7 Технічне нормування операцій

1.7.1 Технічне нормування фрезерно-центрувальної операції

Допоміжний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{в}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{контр}}, \quad (1.34)$$

де $t_{\text{в}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{в}} = 0,4$ хв [7];

$t_{\text{пер}}$ – час на перехід, $t_{\text{пер}} = 0,3$ хв [7];

$t_{\text{контр}}$ – час контролю оброблених поверхонь [7].

$$t_{\text{конт.}} = t_{\text{конт. норм.}} \cdot K \cdot i \quad (1.35)$$

де K – коефіцієнт періодичності перевірки, $K = 0,1$;

i – кількість вимірювань, $i = 3$;

$t_{\text{кон. тнорм.}}$ – табличне значення одного вимірювання, $t_{\text{кон. тнорм.}} = 0,4$ хв.

$$t_{\text{конт.}} = 0,4 \cdot 0,1 \cdot 3 = 0,12 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,3 + 0,12 = 0,82 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{о}} + t_{\text{доп}} \quad (1.36)$$

$$t_{\text{оп}} = 0,3 + 0,82 = 1,12 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою:

$$t_{\text{дод}} = (\alpha_{\text{тех}} + \alpha_{\text{орг.}} + \alpha_{\text{отд.}}) t_{\text{оп}} \quad (1.37)$$

де $\alpha_{\text{тех}}$ $\alpha_{\text{орг.}}$ $\alpha_{\text{отд.}}$ – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha_{\text{тех}}$ $\alpha_{\text{орг}}$ $\alpha_{\text{отд.}} = 0,15$ [7].

$$t_{\text{дод}} = 1,12 \cdot 0,15 = 0,17 \text{ хв}$$

Штучний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (1.38)$$

$$t_{\text{шт}} = 1,12 + 0,17 = 1,29 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{пз}} = t_{\text{пз1}} + t_{\text{пз2}} + t_{\text{пз3}} \quad (1.39)$$

де $t_{\text{п.з1}}$ – нормативний час на налагодження верстата, інструменту, пристосування, $t_{\text{п.з1}} = 15$ хв;

$t_{\text{п.з2}}$ – нормативний час отримання інструменту, пристосування, здачу їх після роботи, $t_{\text{п.з2}} = 5$ хв.

$$t_{\text{пз}} = 15 + 5 = 20 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт-к}} = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{пз}}}{n} \quad (1.40)$$

де n – розмір партії деталей, що запускаються у виробництво (п. 1.2).

$$t_{\text{шт-к}} = 1,29 + \frac{20}{60} = 1,62 \text{ хв}$$

1.7.2 Технічне нормування шліфувальної операції

Допоміжний час розраховується за формулою (1.34), (1.35):

де $t_{\text{в}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{в}} = 0,4$ хв [7];

$t_{\text{пер}}$ – час на перехід, $t_{\text{пер}} = 0,2$ хв [7];

$t_{\text{конт}}$ – час контролю оброблених поверхонь;

K – коефіцієнт періодичності перевірки, $K = 1$;

i – кількість вимірювань, $i = 1$;

$t_{\text{кон. тнорм.}}$ – табличне значення одного вимірювання, $t_{\text{кон. тнорм.}} = 0,2$ хв.

$$t_{\text{конт.}} = 0,2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,2 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,2 + 0,2 = 0,8 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.36):

$$t_{\text{оп}} = 0,07 + 0,8 = 0,87 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.37):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha_{\text{тех}} \alpha_{\text{орг.}} \alpha_{\text{отд}} = 0,1$ [7].

$$t_{\text{дод}} = 0,87 \cdot 0,1 = 0,09 \text{ хв}$$

Штучний час розраховується за формулою (1.38):

$$t_{\text{шт}} = 0,09 + 0,87 = 0,96 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час розраховується за формулою (1.39):

де $t_{\text{п.31}}$ – час на налагодження верстата, $t_{\text{п.31}} = 10$ хв [7];

$t_{\text{п.32}}$ – підготовчо-заклучний час на додаткові роботи, $t_{\text{п.32}} = 15$ хв [7];

$$t_{\text{пз}} = 10 + 15 = 25 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.40):

$$t_{\text{шт-к}} = 0,96 + \frac{25}{60} = 1,37 \text{ хв}$$

1.7.3 Технічне нормування фрезерної операції

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.34),

(1.35):

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{вст}} = 0,5$ хв [7];

$t_{\text{пер}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{пер}} = 0,2$ хв [7];

$t_{\text{контр}}$ – час контролю оброблених поверхонь;

K – коефіцієнт періодичності перевірки, $K = 0,1$;

i – кількість вимірювань, $i = 6$;

$t_{\text{кон. тнорм.}}$ – табличне значення одного вимірювання, $t_{\text{кон. тнорм.}} = 0,3$ хв.

$$t_{\text{конт.}} = 0,3 \cdot 0,1 \cdot 6 = 0,18 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,5 + 0,2 + 0,18 = 0,88 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.36):

$$t_{\text{оп}} = 7,2 + 0,88 = 8,08 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.37):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 0,09$ [7].

$$t_{\text{дод}} = 8,08 \cdot 0,09 = 0,72 \text{ хв}$$

Штучний час розраховується за формулою (1.38):

$$t_{\text{шт}} = 0,72 + 8,08 = 8,8 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час розраховується за формулою (1.39):

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{пз1} = 12$ хв [7];

$t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, що не увійшли в комплекс, $t_{пз2} = 10$ хв [7];

$t_{пз3}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{пз3} = 2$ хв [7].

$$t_{пз} = 12 + 10 + 2 = 24 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.40):

$$t_{шт-к} = 8,8 + \frac{24}{60} = 9,2 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_0 , хв	$t_{доп}$, хв	$t_{дод}$, хв	$t_{шт}$, хв	$t_{пз}$, хв	$t_{шт-к}$, хв
015 Фрезерно-центрувальна	0,3	0,82	0,17	1,29	20	1,62
020 Токарна з ЧПК	15	0,8	1,58	17,38	27	17,83
025 Токарна з ЧПК	16	0,8	1,68	18,48	27	18,93
030 Токарна з ЧПК	12	0,8	1,28	14,08	27	14,53
035 Токарна з ЧПК	11	0,8	1,18	12,98	27	13,43
040 Фрезерна	7,2	0,88	0,72	8,8	24	9,2
065 Круглошліфувальна	0,07	0,88	0,09	0,96	25	1,37
070 Круглошліфувальна	0,6	0,88	0,15	1,63	25	2,04
080 Круглошліфувальна	0,5	0,88	0,14	1,52	25	1,93
085 Круглошліфувальна	0,4	0,88	0,13	1,41	25	1,82

1.8 Розробка керуючої програми на фрезерну операцію з ЧПК

Для забезпечення високої точності та продуктивності обробки шпонкових пазів на ступінчастому валу застосовується програмне керування

фрезерною операцією. Розробка керуючої програми (КП) здійснюється із використанням сучасної CAD/CAM-системи Siemens NX. Керуюча програма призначена для автоматизованого виконання операції фрезерування двох шпонкових пазів шириною: 8 мм; 6 мм. Програма забезпечує:

- точне позиціонування інструменту;
- дотримання геометричних параметрів пазів;
- оптимальні режими різання;
- повторюваність процесу при серійному виробництві.

Етапи розробки керуючої програми в Siemens NX

1) Створення 3D-моделі деталі.

На першому етапі створюється тривимірна модель ступінчастого валу відповідно до креслення, з урахуванням усіх конструктивних елементів, включаючи шпонкові пази. (рис. 1.7).

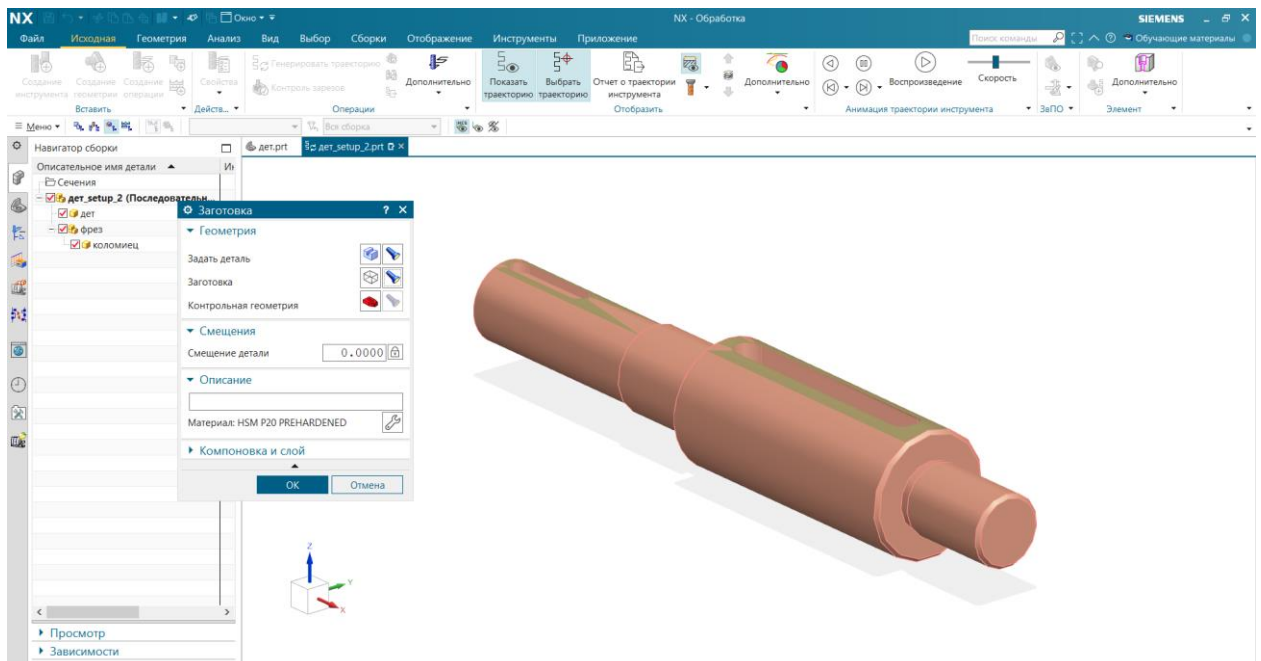


Рисунок 1.7 – Модель деталі для фрезерування пазу

2. Вибір обладнання та налаштування середовища

У CAM-модулі обирається верстат – вертикально-фрезерний центр з ЧПК HAAS VF-4, після чого задаються (рис. 1.8):

- система координат (G54);
- нульова точка деталі;
- параметри заготовки.

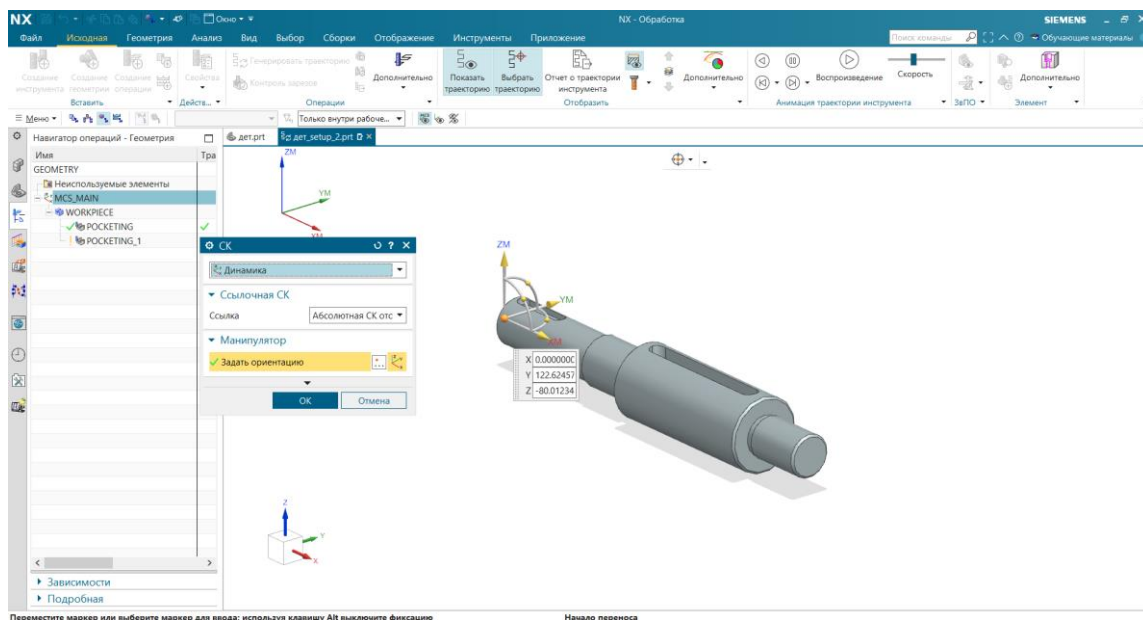


Рисунок 1.8 – Системы координат деталі

3. Вибір інструменту

Для обробки пазів обираються: кінцева фреза Ø8 мм; кінцева фреза Ø6 мм. У системі задаються геометричні параметри інструменту та режими різання (рис. 1.9).

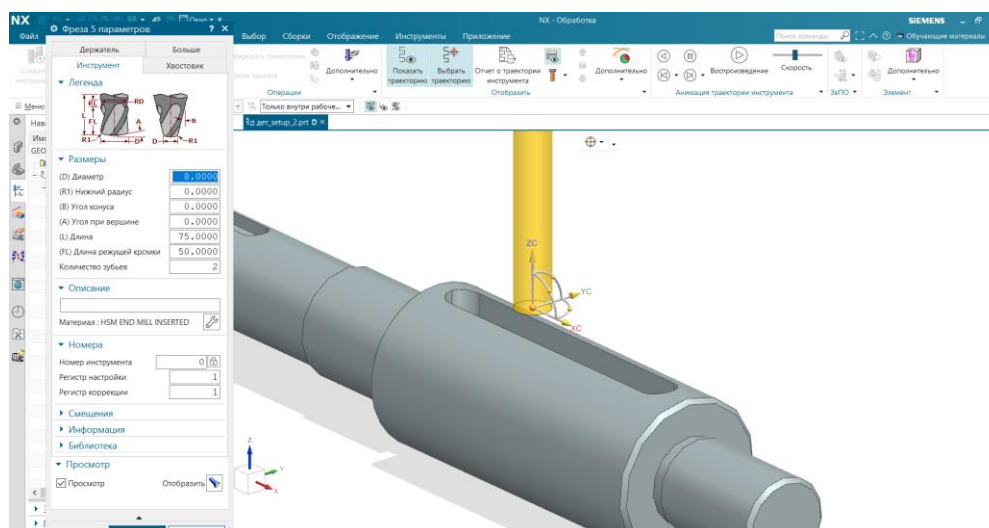


Рисунок 1.9 – Створення фреза

4. Побудова траєкторій обробки.

Формуються траєкторії руху інструменту: для паза 8 мм; для паза 6 мм.

Застосовується стратегія контурного фрезерування (Slot Milling) з поетапним заглибленням інструменту. (рис. 1.10).

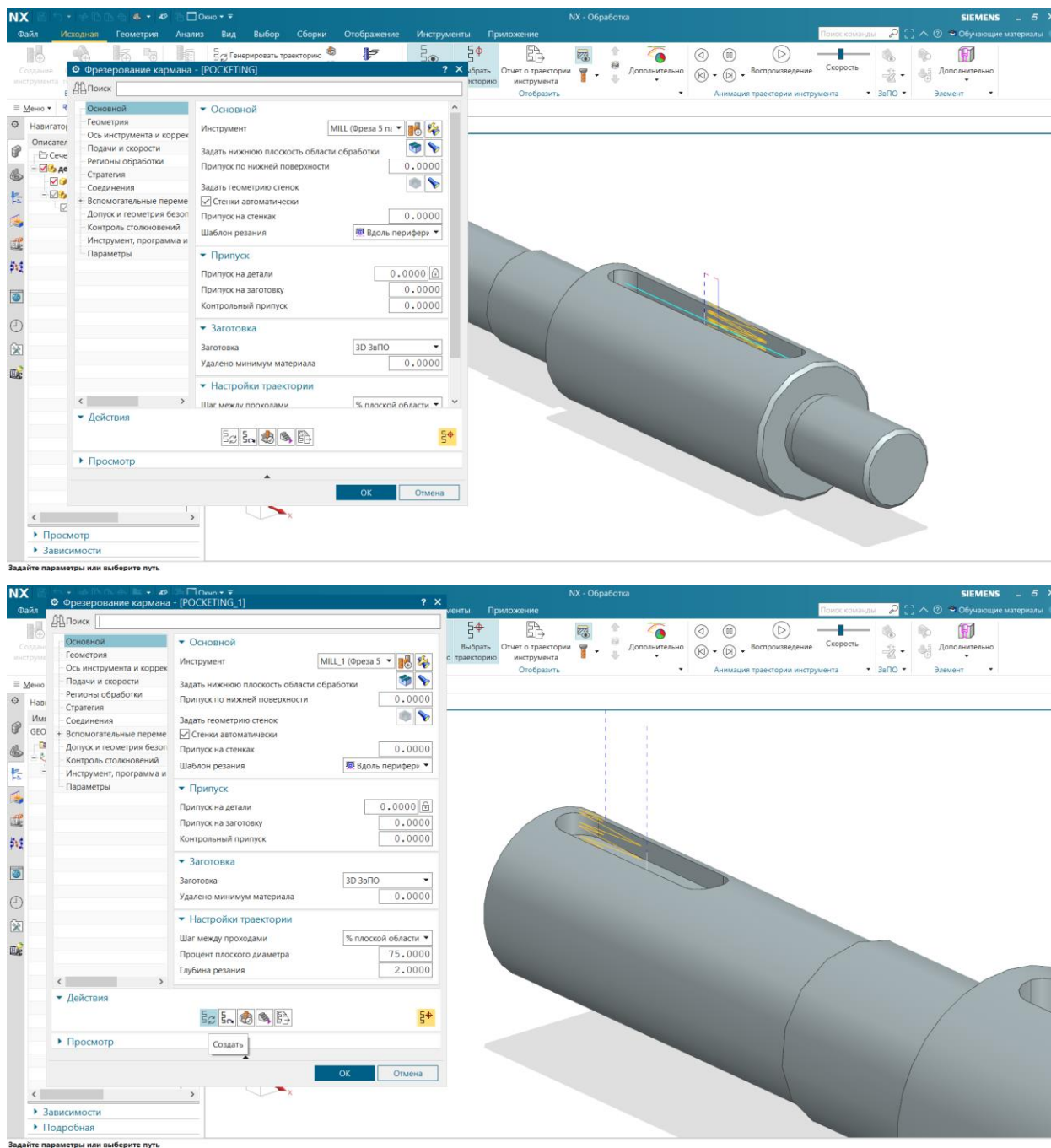


Рисунок 1.10 – Траєкторія фрезерування пазу

5. Моделювання процесу обробки

Виконується візуалізація процесу різання, що дозволяє: перевірити

правильність траєкторії; виявити можливі зіткнення; оцінити якість обробки.
(рис. 1.11).

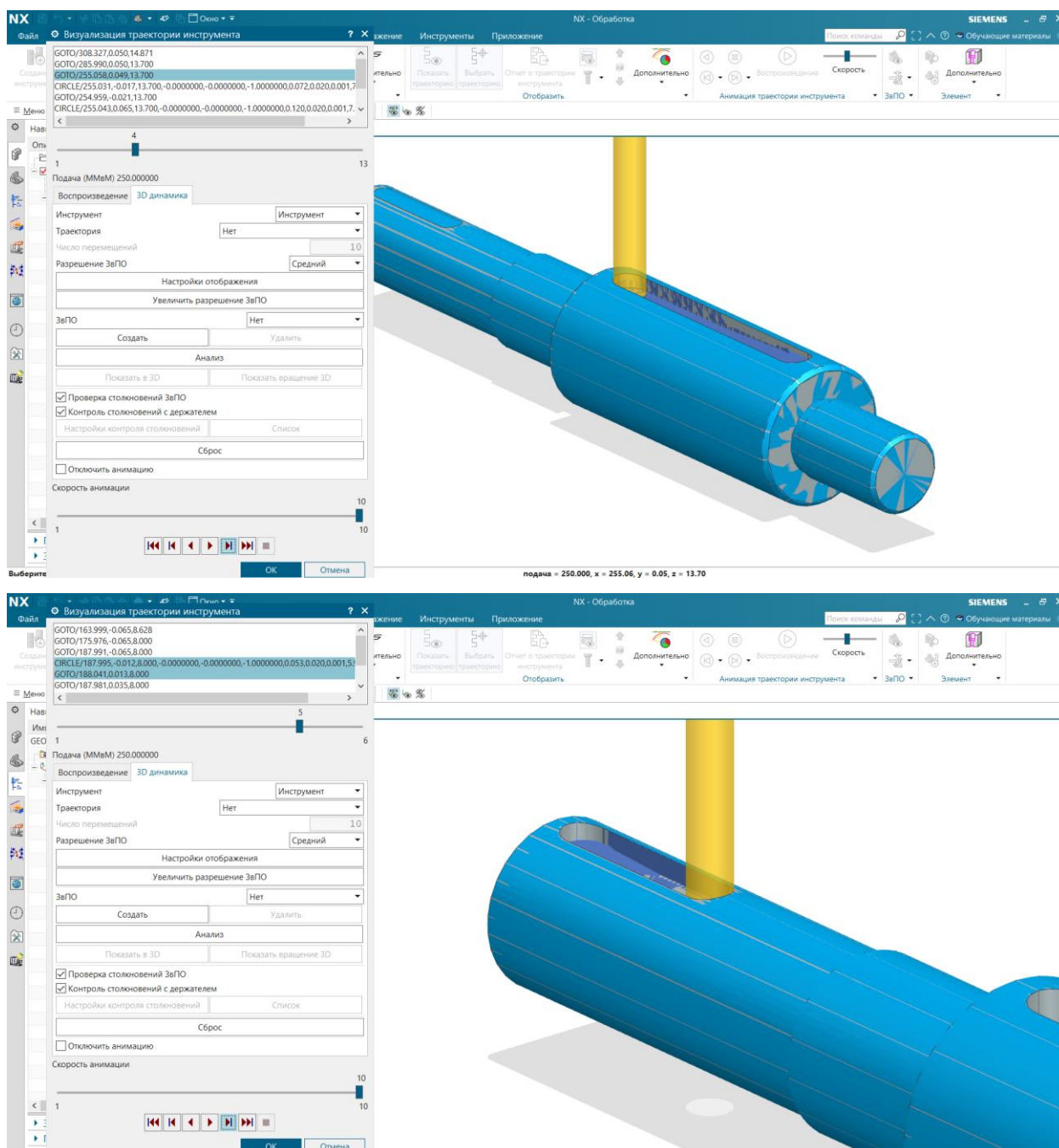


Рисунок 1.11 – Перевірка фрезерування

6. Генерація керуючої програми

Після перевірки формується NC-код (G-код), який адаптується під систему керування верстата HAAS (рис.1.12).

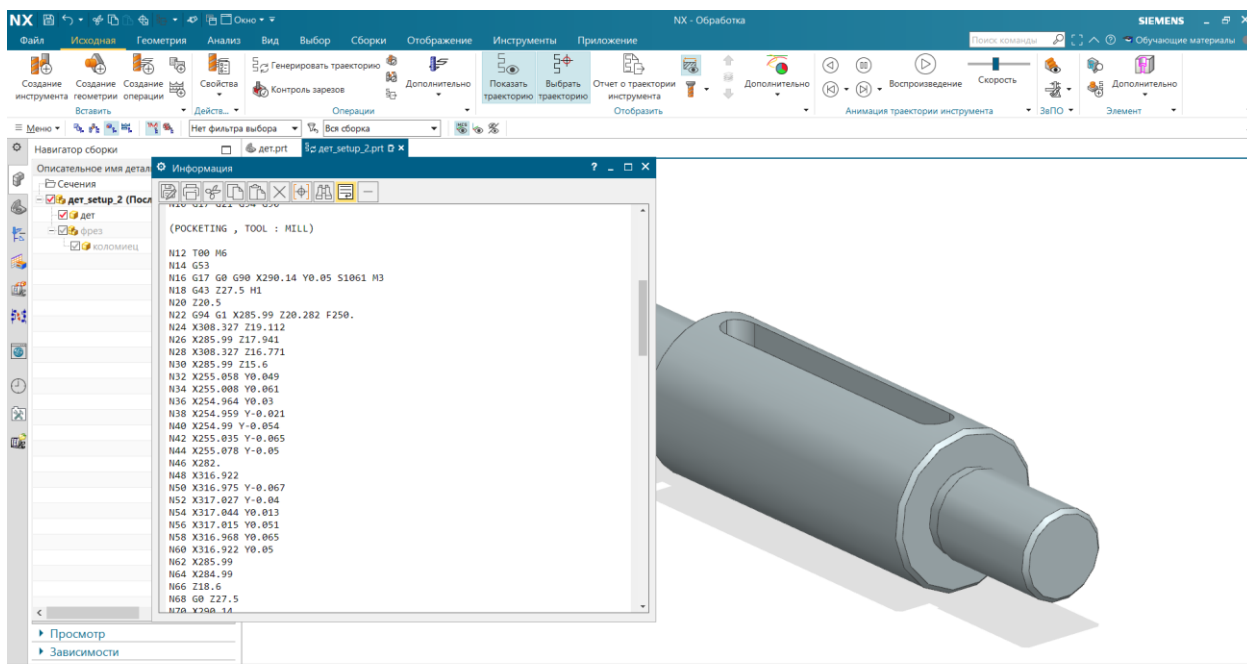


Рисунок 1.12 – Керующая программа

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування фрезерного пристосування

2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування

Робоче пристосування (рис. 2.1) призначене для фрезерування шпонкових пазів у ступінчастому валу на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК VF-4. Його застосування забезпечує точне базування, надійне закріплення деталі та підвищення продуктивності обробки в умовах серійного виробництва. Конструкція пристосування включає корпус, який є базовим елементом, призми 2 і 12 для встановлення деталі, гідроциліндр, поршень 3, шток 4, клин 8, затискачі 6, пружину 9, а також упор для базування деталі.

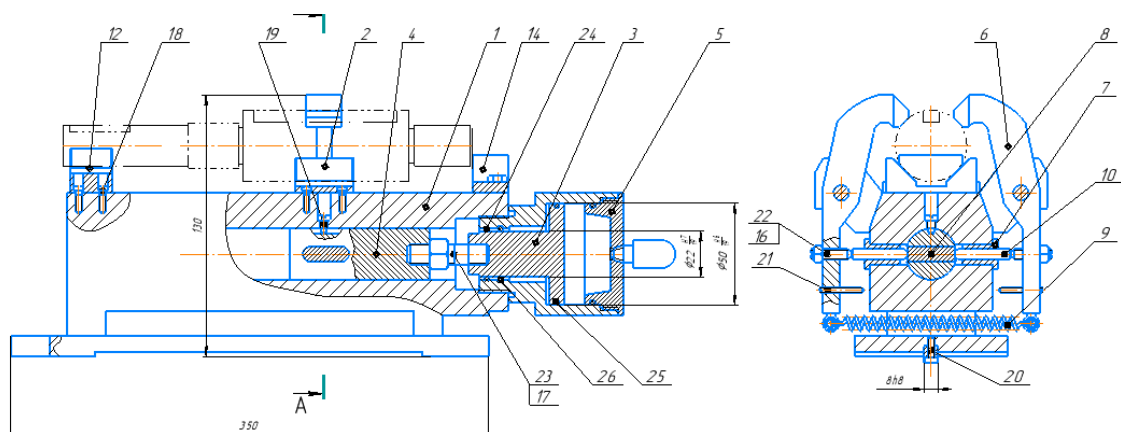


Рисунок 2.1 – Конструкція пристосування

Оброблювана деталь встановлюється на призми 2 і 12 по циліндричних поверхнях – шийках діаметром 35 мм та 22 мм відповідно. Така схема базування забезпечує точне положення осі валу, правильну орієнтацію шпонкових пазів і стійкість деталі під час обробки.

Принцип роботи пристосування базується на використанні гідравлічного приводу. Після встановлення деталі на призми подається робоча рідина в гідроциліндр, у результаті чого поршень 3 переміщується вліво. Через шток 4 зусилля передається на клин 8, який, переміщуючись, приводить у рух

затискачі 6. Затискачі своїми скошеними поверхнями взаємодіють із деталлю та надійно фіксують її у потрібному положенні. Після закріплення виконується фрезерування шпонкових пазів, при цьому деталь залишається нерухомою завдяки жорсткому затиску.

Після завершення обробки шток 4 гідроциліндра переміщується праворуч, клин 8 повертається у вихідне положення під дією пружини 9, що викликає переміщення затискачів 6 та звільнення обробленої деталі. Для точного налаштування положення фрези відносно деталі використовується установ.

Запропоноване пристосування забезпечує високу точність базування, надійне закріплення деталі, скорочення допоміжного часу та можливість механізації процесу затиску. Це дозволяє підвищити продуктивність і стабільність якості обробки при серійному виготовленні ступінчастих валів.

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення.

Похибка встановлення [8] розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{зак}}^2} \quad (2.1)$$

де $\varepsilon_{\text{баз}}$ – похибка базування;

$\varepsilon_{\text{закр}}$ – похибка закріплення

Деталь встановлюється на призму по діаметру $\text{Ø}35_{-0,084}$ (рис. 2.2).

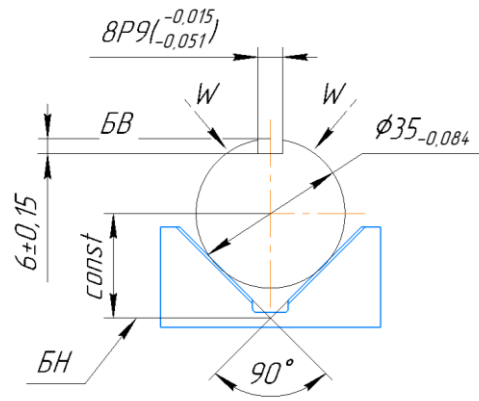


Рисунок 2.2 – Схема установки

Похибка базування [8] розраховується за формулою:

$$\varepsilon_6 = K_1 \cdot TD \quad (2.2)$$

де TD допуск на діаметр базування, TD = 0,084 мм;

K_1 – коефіцієнт, що характеризує вимірювальну базу, $K_1 = 1,2$.

$$\varepsilon_6 = 1,2 \cdot 0,084 = 0,1 \text{ мм}$$

Напрямку сили закріплення не співпадає з напрямом сили різання, тому табличну похибку (0,04 мм) закріплення уточнюють на косинус кута між їхніми напрямками закріплення дорівнює:

$$\varepsilon_3 = 0,04 \cdot \sin 45 \quad (2.3)$$

$$\varepsilon_3 = 0,04 \cdot \sin 45 = 0,03 \text{ мм}$$

Похибка встановлення згідно формули (2.1):

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,1^2 + 0,03^2} = 0,1 \text{ мм}$$

2.1.3 Розрахунок необхідного сили затиску. Вибір приводу

Визначимо силу різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^{n \cdot z}}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}; \quad (2.4)$$

де $x; y; q; w; n; C_p$ – коефіцієнти для розрахунку сили різання, $x=0,86; y=0,72; q=0,86; w=0; n=1; C_p=68,2$ [5]

K_{mp} – поправочний коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_6}{750} \right)^{0,3}; \quad (2.5)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{550}{750} \right)^{0,3} = 0,9$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 2^{0,86} \cdot 0,025^{0,72} \cdot 8^{1 \cdot 2}}{8^{0,86} \cdot 1000^0} \cdot 0,9 = 275 \text{ H}$$

Сила закріплення [8]:

$$W = \frac{1,2 \cdot k \cdot P_z \cdot \left(R - \frac{h}{2} \right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{f \cdot R}; \quad (2.6)$$

де f – коефіцієнт тертя, $f=0,15$;

k – коефіцієнт запасу закріплення.

Коефіцієнт запасу закріплення [8]:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (2.7)$$

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

k_1 – коефіцієнт нерівномірності сил різання, $k_1=1$;

k_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання, $k_2=1,7$.

k_3 – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання, $k_3=1,2$;

k_4 – коефіцієнт, що враховує мінливість сил затиску, $k_5=1$;

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

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

$$k=1,7 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 = 3$$

Сила закріплення згідно формули (2.6):

$$W = \frac{275 \cdot 1,2 \cdot 3 \cdot \left(0,016 - \frac{0,005}{2}\right) \sin(90/2)}{0,15 \cdot 0,016} = 3900 \text{ H}$$

Визначимо силу на штоці [8]:

$$Q = 2 P_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta); \quad (2.8)$$

$$P_1 = \frac{P \cdot (L + f \cdot \sin \gamma \cdot R) + P_{\text{пр}} \cdot (h - f \cdot R)}{L_1 - f \cdot (R - h_1)} \quad (2.9)$$

$$P = \frac{W}{2 \cos \gamma} \quad (2.10)$$

$$P = \frac{3931,7}{2 \cos 70} = 5750 \text{ H}$$

$$P_1 = \frac{5750 \cdot (0,05 + 0,15 \cdot \sin 70 \cdot 0,005) + 4 \cdot (0,07 - 0,15 \cdot 0,005)}{0,055 - 0,15 \cdot (0,005 - 0,008)} = 5480 \text{ H}$$

$$Q = 2 \cdot 5480 \cdot \operatorname{tg}(20) = 4000 \text{ H}$$

Мінімальний діаметр штока [8]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (2.11)$$

де α – коефіцієнт затягування, $\alpha=2,25$;

$[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг для сталі 40Х, $[\sigma]=150$ МПа.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 4000}{3,14 \cdot 150}} = 18 \rightarrow 20 \text{ мм}$$

Діаметр циліндра [8]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{p \cdot \eta \cdot \pi} + d^2} \quad (2.12)$$

де p – тиск в гідросистемі, $p=5$ МПа;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД), $\eta = 0,9$.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 4000}{3,14 \cdot 5 \cdot 0,9} + 20^2} = 45 \rightarrow 50 \text{ мм}$$

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування призначене для перевірки радіального биття шийки 35 мм ступінчастого валу відносно бази А – осі деталі, яке не повинно перевищувати 0,03 мм. Застосування даного пристосування забезпечує контроль точності виготовлення відповідальних поверхонь валу після механічної обробки.

Конструктивно пристосування являє собою корпус 5, на якому встановлені центри 1 і 2, призначені для базування деталі (рис. 2.3). Ступінчастий вал встановлюється у центрах, що забезпечує його точне розташування відносно осі обертання, яка приймається за базу А. Така схема базування дозволяє здійснювати контроль співвісності оброблених поверхонь.

Для вимірювання радіального биття використовується індикаторний годинник 4, який закріплюється на штанзі 3. Штанга розташована збоку від деталі та кріпиться до корпусу 5 за допомогою трьох болтів. Індикатор встановлюється таким чином, щоб його вимірювальний наконечник контактував із контрольованою поверхнею.

Принцип роботи пристосування полягає в наступному: після встановлення деталі у центрах її плавно обертають навколо осі. У процесі обертання індикаторний годинник фіксує відхилення поверхні від ідеальної

осі обертання. Різниця між максимальним і мінімальним показами індикатора визначає величину радіального биття.

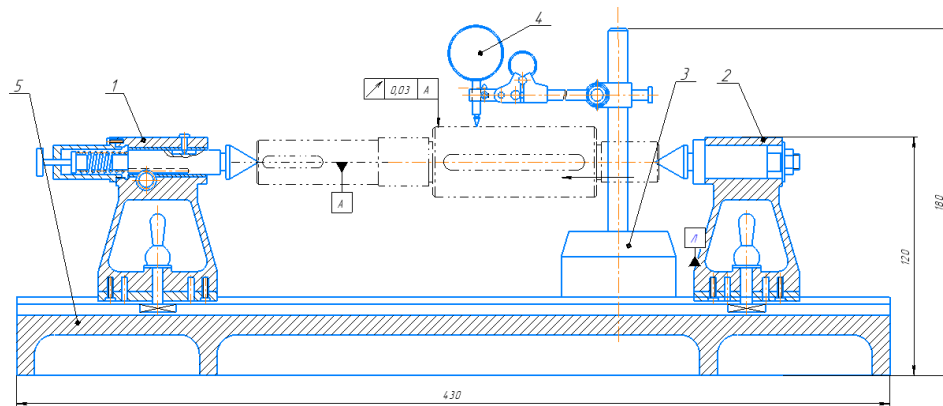


Рисунок 2.3 – Контрольне пристосування

Конструкція пристосування передбачає можливість повороту штанги 3 навколо своєї осі на 360° , що дозволяє контролювати різні ділянки деталі без її переустановлення. Крім того, передбачена можливість регулювання положення штанги по висоті, що забезпечує налаштування індикатора на контроль поверхонь різних діаметрів.

Зазначені конструктивні особливості забезпечують універсальність пристосування, зручність у використанні та швидке переналагодження при контролі різних поверхонь ступінчастого валу.

Таким чином, контрольне пристосування забезпечує точну перевірку радіального биття з необхідною точністю 0,03 мм, що є важливим для забезпечення працездатності валу в умовах експлуатації.

2.3 Розрахунок деталі на міцність

Перевірку міцності ступінчастого валу виконано за допомогою програмного забезпечення Siemens NX CAE, яке дозволяє провести аналіз

напружено-деформованого стану деталі методом скінченних елементів.

Оцінка міцності деталі здійснюється на основі визначення максимальних напружень, що виникають у процесі роботи, а також аналізу зон із найбільш небезпечними перерізами. За отриманими значеннями граничних напружень визначається фактичний коефіцієнт запасу міцності.

У процесі експлуатації в редукторі ступінчастий вал сприймає крутильне навантаження, яке передається через шпонкові з'єднання. Це зумовлює виникнення напружень кручення, а також локальних концентрацій напружень у місцях конструктивних переходів.

Найбільш небезпечними зонами конструкції валу є:

- ділянки зі шпонковими пазами;
- переходи між ступенями (зміна діаметрів);
- галтелі.

Для проведення розрахунку напружено-деформованого стану було виконано наступні етапи.

На першому етапі створено тривимірну модель ступінчастого валу в середовищі Siemens NX відповідно до креслення деталі з урахуванням усіх конструктивних елементів, включаючи шпонкові пази.

На другому етапі модель була розбита на кінцеві елементи (створено сітку), що дозволило провести чисельний аналіз розподілу напружень у тілі деталі (рис. 2.4).

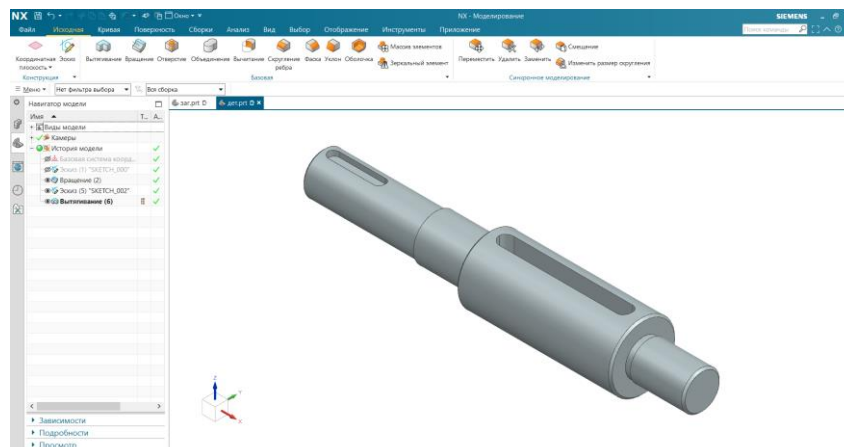


Рисунок 2.4 – 3D-модель

Далі були задані граничні умови (рис. 2.5):

- на шийки з шпонковими пазами прикладено крутний момент $M=2000\text{Нм}$
- шийки діаметром 20 мм та 22 мм закріплено (задані умови закріплення, що імітують роботу підшипників).

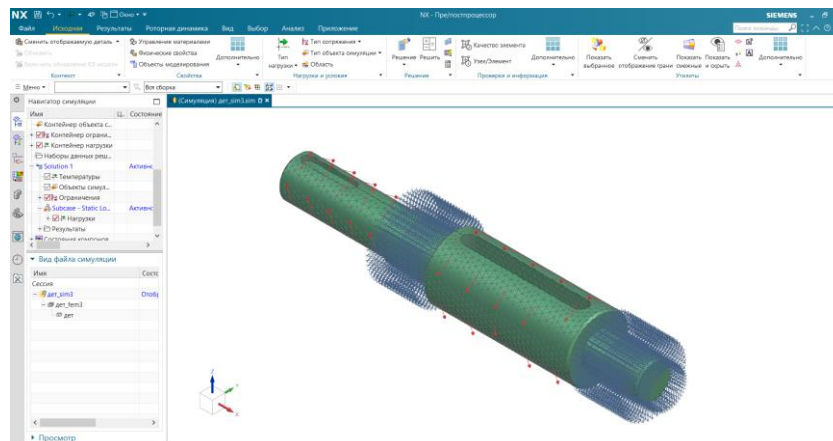


Рисунок 2.5 – Модель валу з навантаженнями

У результаті розрахунку отримано поля напружень та деформацій (рис. 2.6), а також визначено максимальні еквівалентні напруження (за теорією Мізеса). Найбільші напруження спостерігаються в зонах шпонкових пазів та в місцях переходу діаметрів, що підтверджує їх як небезпечні перерізи.

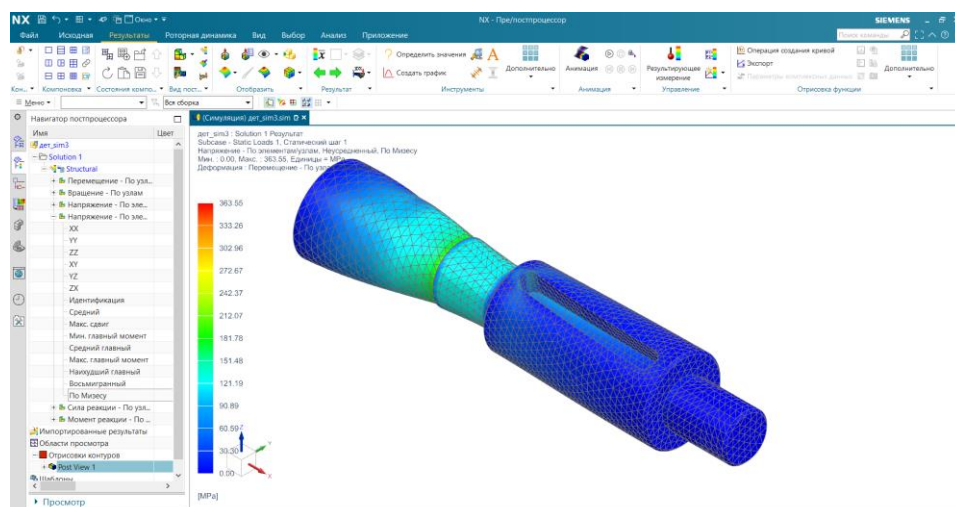


Рисунок 2.6 – Розподіл напружень

На основі отриманих максимальних напружень визначено фактичний коефіцієнт запасу міцності:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{max}} = 1,5 \dots 3 \quad (2.13)$$

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

σ_{max} – максимальне напруження, яке виникає в деталі.

$$k = \frac{785}{363,55} = 2,1$$

Отримане значення коефіцієнта запасу міцності відповідає нормативним вимогам, що свідчить про працездатність та надійність конструкції валу при заданих умовах навантаження.

Проведений розрахунок у середовищі Siemens NX CAE показав, що ступінчастий вал витримує задані крутильні навантаження. Найбільш навантаженими є зони шпонкових пазів та переходів діаметрів, однак рівень напружень у цих зонах не перевищує допустимих значень. Це підтверджує достатню міцність конструкції та її придатність до експлуатації в редукторі конвеєра.

3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

Річна верстатоемність розрахуємо для кожної операції за формулою:

$$T_j = t_{ш-к_j} \cdot N \quad (3.1)$$

де N – річна програма випуску.

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

Розраховуємо кількість верстатів, необхідних для виконання операцій за формулою:

$$S_{pj} = \frac{\sum_{j=1} t_{ш-к_j} \cdot N_j}{F_g \cdot m \cdot 60} \quad (3.2)$$

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

Результати розрахунку за формулою (3.2) приведено в табл. 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:

$$K_{3j} = \frac{S_p}{S_n} \quad (3.3)$$

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

Визначаємо середній коефіцієнт завантаження верстатів за формулою:

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

$$\overline{K_3} = \frac{1,72}{10} = 0,17$$

Таблиця 3.1 – Вихідні дані та результати розрахунку необхідної кількості технологічного обладнання та його завантаження

Параметри	Номер операції									
	015	020	025	030	035	040	065	070	075	080
	Модель верстата									
	HG-1500	CORMAK	CORMAK	CORMAK	CORMAK	VF-4	3A151	3A151	3A151	3A151
$t_{ш-к}$	1,62	17,83	18,93	14,53	13,43	9,2	1,37	2,04	1,93	1,82
T	8100	89150	94650	72650	67150	46000	6850	10223,3	967,3	9123,3
S_p	0,03	0,37	0,39	0,30	0,28	0,19	0,03	0,04	0,04	0,04
S_n	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
K_3	0,03	0,37	0,39	0,30	0,28	0,19	0,03	0,04	0,04	0,04

Розраховуємо кількість деталей-операцій, що виконуються на технологічній лінії обробки валу ступінчастого: $O=10$ деталей-операцій.

Призначаємо багатOVERSTATNU обробку на токарній групі верстатів з ЧПК (операції 020...035). Максимальне значення основного часу буде на операції 025 – 16 хв.

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

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

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

$t_{\text{пер}}$ – час на перехід від верстата до верстата.

$$m_s = \frac{16 + 0,8}{1,7 + 0,15} = 9$$

Число операторів у зоні обслуговування розраховуємо за формулою:

$$R_j = \frac{\sum S_n}{m_{s_j}} \quad (3.6)$$

$$R = \frac{4}{9} = 0,4$$

Згідно розрахунків для роботи на чотирьох токарних верстатах призначаємо одного оператора призначаємо одного оператора. Таким чином, для обслуговування $O=10$ верстатів необхідно $M=7$ робочих операторів.

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції за формулою:

$$K_{30} = \frac{O}{M} \quad (3.7)$$

$$K_{30} = \frac{10}{7} = 1,4$$

Так як $1 < K_{30} < 10$, то остаточно тип виробництва приймаємо як серійний, а форму організації виробництва на лінії обробки – змінно-потоккову.

4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

Оцінку очікуваної економічної ефективності заходів від розробки технологічного процесу виготовлення деталі «Вал ступінчатий» проведемо за рахунок порівняння токарної обробки на існуючих на підприємстві універсальних верстатах (перший варіант) та на сучасних верстатів з ЧПК, при їх придбанні, (другий варіант) згідно таблиці 4.1.

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників за формулою [15]:

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

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

$t_{умі}$ – норма штучного часу виконання i -ої операції, год;

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

$K_{б}$ – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатOVERстатному 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.

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою [15]:

$$Z_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{тар.н} \cdot Ч_н \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{N} \quad (4.2)$$

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

$Ч_н$ – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

Φ_p – річний фонд часу одного, $\Phi_p = 2096$ год;

$m_{оп}$ – кількість операцій у технологічному процесі.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку

Розрахункові параметри	Перший варіант						Другий варіант			
	16K20	16K20	16K20	16K20	16K20	16K20	CORMAK 360x750	CORMAK 360x750	CORMAK 360x750	CORMAK 360x750
Модель верстата										
Штучний час $t_{шт}$, хв	25	22	26	18	15	12	17,38	18,48	14,08	12,98
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	345600						1003690			
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
Потужність електродвигунів N , кВт	11	11	11	11	11	11	3,7	3,7	3,7	3,7

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.2 – Заробітна плата верстатника за першим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	C _{тар} , грн	k _{доп}	k _{соц}	З _о , грн
010	Токарна	25	76,6	1,2	1,4	53,62
015	Токарна	22	76,6	1,2	1,4	47,19
020	Токарна	26	76,6	1,2	1,4	55,76
025	Токарна	18	76,6	1,2	1,4	38,61
030	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
035	Токарна	12	76,6	1,2	1,4	25,74
					Σ	253,09

Таблиця 4.3 – Заробітна плата верстатника за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	C _{тар} , грн	k _{доп}	k _{соц}	З _о , грн
15	Токарна	17,38	57,5	1,2	1,4	27,98
20	Токарна	18,48	57,5	1,2	1,4	29,75
25	Токарна	14,08	57,5	1,2	1,4	22,67
30	Токарна	12,98	57,5	1,2	1,4	20,90
					Σ	101,3

Таблиця 4.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	Φ _р , год	C _{тар} , грн	Ч _н	k _{доп}	k _{соц}	З _о , грн
15	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
20	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
25	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
30	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
						Σ	40,64

Визначимо амортизацію на обладнання за формулою [15]:

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

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 4.5, 4.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою [15]:

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{C_{\text{ін}ij} \cdot t_{\text{шт}ij} \cdot \eta_{\text{м}}}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (4.4)$$

де $C_{\text{ін}ij}$ – ціна інструменту j -го виду на i -ої операції, грн/шт;

$t_{\text{шт}ij}$ – штучний час роботи j -го інструменту на i -ої операції, хв;

$\eta_{\text{м}}$ – коефіцієнт машинного часу, що визначається як відношення $t_{\text{маш}}/t_{\text{шт}}$;

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

$n_{\text{ін}}$ – 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 першим варіантом

№ опер	Найменування операції	$t_{\text{шт}}$, хв	К, грн	На, %	$F_{\text{д}}$	$A_{\text{від}}$, грн
010	Токарна	25	345600	14,2	4015	5,09
015	Токарна	22	345600	14,2	4015	4,48
020	Токарна	26	345600	14,2	4015	5,30
025	Токарна	18	345600	14,2	4015	3,67
030	Токарна	15	345600	14,2	4015	3,06
035	Токарна	12	345600	14,2	4015	2,44
					Σ	24,04

Таблиця 4.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
15	Токарна	17,38	1003690	12,2	4015	8,83
20	Токарна	18,38	1003690	12,2	4015	9,34
25	Токарна	14,08	1003690	12,2	4015	7,16
30	Токарна	12,98	1003690	12,2	4015	6,60
					Σ	31,93

Таблиця 4.7 – Витрати на інструмент за першим варіантом

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	Найменування інструменту	C_i , грн	$n_{ін}$	T, хв	n_j	η_{MI}	$S_{ін}$, Грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
010	Токарна	25	Різець прохід.	250	2	80	15	0,4	1,95
015	Токарна	22	Різець прохід.	250	2	80	15	0,4	1,72
020	Токарна	26	Різець прохід.	250	2	80	15	0,4	2,03
025	Токарна	18	Різець канав.	250	2	80	15	0,4	1,41
030	Токарна	15	Різець прохід.	250	2	80	15	0,4	1,17
035	Токарна	12	Різець канав.	250	2	80	15	0,4	0,94
								Σ	9,22

Таблиця 4.8 – Витрати на інструмент за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	Найменування інструменту	C_i , грн	$n_{ін}$	T, хв	n_j	η_{MI}	$S_{ін}$, Грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
015	Токарна	17,38	Різець прохід.	350	2	120	3	0,4	5,07
020	Токарна	18,48	Різець прохід.	350	2	120	3	0,4	5,39
025	Токарна	14,08	Різець прохід.	350	2	120	3	0,4	2,94

Продовження таблиці 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Різець канав.	350	2	120	3	0,4	1,17
030	Токарна	12,98	Різець прохід.	350	2	120	3	0,4	2,33
			Різець канав.	350	2	120	3	0,4	1,45
								Σ	18,35

Визначимо витрати на електроенергію за формулою [15]:

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

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);

$k_{\text{ч}}$ – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом (для верстатів з ЧПК – 0,7, для решти обладнання – 0,6);

$k_{\text{од}}$ – 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_B – 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 першим варіантом

№ опер	Найменування операції	$t_{\text{шт}}$, хв	C_e грн	N_e кВт	k_N	$k_{\text{ч}}$	$k_{\text{од}}$	k_w	η_e	k_B	S_e , грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
010	Токарна	25	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,97
015	Токарна	22	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,37

Продовження таблиці 4.9											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
020	Токарна	26	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	5,17
025	Токарна	18	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,58
030	Токарна	15	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,98
035	Токарна	12	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,38
										Σ	23,45

Таблиця 4.10 – Витрати на електроенергію за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Це грн	N _e кВт	k _N	k _ч	k _{од}	k _w	η _e	k _B	S _e , грн
015	Токарна	17,38	3,45	3,7	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,86
020	Токарна	18,48	3,45	3,7	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	3,04
025	Токарна	14,08	3,45	3,7	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,32
030	Токарна	12,98	3,45	3,7	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,14
										Σ	10,35

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою [15]:

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

де $C_{то}$ – 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 першим варіантом

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	К _р	С _р	S _р , грн
010	Токарна	345600	0,02	0,64	0,88
015	Токарна	345600	0,02	0,64	0,88
020	Токарна	345600	0,02	0,64	0,88
025	Токарна	345600	0,02	0,64	0,88
030	Токарна	345600	0,02	0,64	0,88
035	Токарна	345600	0,02	0,64	0,88
				Σ	5,31

Таблиця 4.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	К _р	С _р	S _р , грн
015	Токарна	1003690	0,02	0,78	3,13
020	Токарна	1003690	0,02	0,78	3,13
025	Токарна	1003690	0,02	0,78	3,13
030	Токарна	1003690	0,02	0,78	3,13
				Σ	12,53

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом за формулою [15]:

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

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

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

t_{in} – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ($t_{in} = 4$ хв – для токарних верстатів з ЧПК; $t_{in} = 5$ 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_{in} , хв	K_T	T_M	m	S_n , грн
015	Токарна	Різець прохід.	17,38	50,9	6	4	0,9	120	2	0,29
020	Токарна	Різець прохід.	18,48	50,9	6	4	0,9	120	2	0,31
025	Токарна	Різець прохід.	14,08	50,9	6	4	0,9	120	2	0,17
		Різець канав.		50,9	6	4	0,9	120	2	0,07
030	Токарна	Різець прохід.	12,98	50,9	6	4	0,9	120	2	0,13
		Різець канав.		50,9	6	4	0,9	120	2	0,12
									Σ	1,07

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою [15]:

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

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

$$I_{H1} = 253,09 \cdot 0,2 = 50,62 \text{ грн}$$

$$I_{H2} = 101,3 \cdot 0,2 = 20,26 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою [15]:

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

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у таблиці 6.14.

Таблиця 4.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Новий
Заробітна плата верстатника	Z_o	253,09	101,3
Заробітна плата наладчика	Z_n		40,64
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{\text{від}}$	24,04	31,93
Витрати на різальний інструмент	$S_{\text{ін}}$	9,22	18,35
Витрати на електроенергію	S_e	23,45	10,35
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	5,31	12,53
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_n		1,07
Витрати інші	I_n	50,62	20,26
Технологічна собівартість	C_T	365,73	236,43

Розраховуємо умовний економічний ефект за формулою [15]:

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

$$E_{yp} = (365,73 - 236,43) \cdot 5000 = 646500 \text{ грн}$$

Згідно розрахунків при використанні верстатів з ЧПК з річною партією 5000 шт економічний ефект від впровадження за статтею собівартість складає 646500 грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Процес виготовлення ступінчастого валу пов'язаний із виконанням різних видів механічної обробки, зокрема токарної, фрезерної та шліфувальної, а також термічної обробки і використанням верстатного обладнання, що супроводжується впливом небезпечних і шкідливих виробничих факторів. До основних небезпечних факторів належать рухомі частини верстатів і обертові заготовки, утворення стружки та абразивного пилу, підвищений рівень шуму і вібрації, можливість ураження електричним струмом, дія мастильно-охолоджувальних рідин, а також підвищені температури при термічній обробці.

Перед початком роботи оператор повинен пройти інструктаж з охорони праці, перевірити справність обладнання, наявність і стан захисних пристроїв та заземлення, а також використовувати засоби індивідуального захисту, такі як спецодяг, захисні окуляри та рукавиці. Під час роботи забороняється торкатися обертових частин обладнання, виконувати вимірювання або очищення деталі під час її обертання, працювати на несправному обладнанні та залишати верстат без нагляду [10].

При виконанні токарної обробки необхідно забезпечити надійне закріплення заготовки в центрах або патроні, користуватися захисними екранами, а видалення стружки здійснювати тільки спеціальними інструментами. Особливу увагу слід приділяти запобіганню намотування стружки на інструмент або деталь. Під час фрезерування необхідно перевіряти правильність і надійність закріплення деталі в пристосуванні, використовувати справний інструмент і дотримуватись встановлених режимів різання. При роботі на верстатах з числовим програмним керуванням необхідно контролювати виконання програми та бути готовим до аварійної зупинки обладнання.

При шліфуванні слід перевіряти стан шліфувального круга перед

встановленням, використовувати захисні кожухи та засоби індивідуального захисту органів зору і дихання, а також уникати перевантаження круга і перегріву деталі. Під час термічної обробки необхідно застосовувати термостійкий спецодяг і рукавиці, дотримуватись правил роботи з нагрівальними печами, уникати контакту з гарячими поверхнями та забезпечувати належну вентиляцію приміщення.

Особливу увагу слід приділяти пожежній та електробезпеці. У виробничому приміщенні необхідно підтримувати порядок, не допускати накопичення горючих матеріалів, використовувати справне електрообладнання та забезпечити наявність первинних засобів пожежогасіння.

Дотримання вимог охорони праці при виготовленні ступінчастого валу забезпечує безпечні умови роботи, знижує ризик виробничого травматизму та сприяє підвищенню ефективності виробничого процесу.

Пожежна безпека при виготовленні ступінчастого валу є важливою складовою охорони праці, оскільки виробничий процес пов'язаний із використанням електрообладнання, мастильно-охолоджувальних рідин, а також виконанням термічної обробки, що може створювати потенційну небезпеку виникнення пожежі.

Основними причинами виникнення пожеж у механічних цехах є несправність електрообладнання, короткі замикання, перегрів електродвигунів, порушення правил експлуатації нагрівальних установок, а також накопичення горючих матеріалів, зокрема стружки, ганчір'я, просоченого мастилами, та мастильно-охолоджувальних рідин.

Для запобігання пожежам необхідно дотримуватись наступних вимог. Електрообладнання повинно бути справним, мати надійне заземлення та відповідати вимогам нормативних документів. Забороняється експлуатація обладнання з пошкодженою ізоляцією проводів або несправними захисними пристроями. Регулярно повинні проводитись огляди та профілактичне обслуговування електромереж і верстатів.

Робочі місця повинні утримуватись у чистоті. Не допускається накопичення стружки, пилу та легкозаймистих матеріалів. Використані обтиральні матеріали необхідно зберігати у спеціальних металевих контейнерах із кришками. Мастильно-охолоджувальні рідини повинні застосовуватись відповідно до технологічних вимог і зберігатись у спеціально відведених місцях.

Особливу увагу необхідно приділяти безпеці при термічній обробці. Нагрівальні печі повинні бути обладнані справними системами контролю температури та автоматичного відключення. Забороняється залишати працююче термічне обладнання без нагляду.

Виробничі приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння, такими як вогнегасники (порошкові, вуглекислотні), пожежні крани та ящики з піском. Вогнегасники повинні розміщуватись у доступних місцях та регулярно перевірятись на справність.

Усі працівники повинні проходити інструктаж з пожежної безпеки та знати правила поведінки у разі виникнення пожежі. У випадку загоряння необхідно негайно відключити обладнання від електромережі, повідомити відповідні служби та розпочати гасіння пожежі наявними засобами, не наражаючи себе на небезпеку.

Таким чином, дотримання вимог пожежної безпеки дозволяє запобігти виникненню пожеж, забезпечити безпечні умови праці та зберегти матеріальні цінності підприємства.

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі було розроблено технологічний процес виготовлення ступінчастого валу, який є відповідальною деталлю редуктора конвеєра та працює в умовах дії крутильних навантажень.

У процесі виконання роботи проведено аналіз конструкції деталі та її службового призначення, що дозволило визначити основні вимоги до точності, якості поверхонь та матеріалу.

На основі техніко-економічного аналізу було обрано оптимальний спосіб отримання заготовки – штампування на КГШП, що дозволяє зменшити припуски на обробку, підвищити коефіцієнт використання матеріалу та знизити собівартість деталі при серійному виробництві.

Розроблено маршрут обробки поверхонь, який включає основні операції: фрезерно-центрувальну, токарну, фрезерну, шліфувальну, термічну обробку, а також контрольні та допоміжні операції. Обрано раціональні технологічні бази, що забезпечують необхідну точність та співвісність поверхонь.

У роботі виконано розрахунок припусків із застосуванням табличного та розрахунково-аналітичного методів, що дозволило оптимізувати процес обробки та зменшити витрати матеріалу. Також проведено розрахунок режимів різання для основних операцій, що забезпечують ефективність обробки та необхідну якість поверхонь.

Виконано технічне нормування технологічного процесу, що дозволило визначити витрати часу на виконання операцій та оцінити продуктивність виготовлення деталі.

Розроблено керуючу програму для фрезерної операції на верстаті з ЧПК із використанням сучасного програмного забезпечення, що забезпечує високу точність та стабільність обробки шпонкових пазів.

Спроектовано робоче та контрольне пристосування, які забезпечують точне базування, надійне закріплення деталі та контроль радіального биття з необхідною точністю. Виконано розрахунок елементів пристосування, що підтверджує їх працездатність і ефективність у виробничих умовах.

Також у роботі розглянуто питання охорони праці та пожежної безпеки, визначено основні небезпечні фактори виробництва та запропоновано заходи щодо забезпечення безпечних умов праці.

У цілому розроблений технологічний процес забезпечує виготовлення ступінчастого валу з необхідною точністю, якістю та економічною ефективністю, що відповідає умовам серійного виробництва.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Характеристика матеріала 40Х. URL: https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=32#google_vignette (дата звернення : 25.05.2026).
2. Богуслаєв В.О., Ципак В.І., Яценко В.К. Основи технології машинобудування : навчальний посібник для студ. Машинобуд. спец. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ВАТ «Мотор Січ», 2003. 336 с.
3. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / "Запорізька політехніка" нац. ун-т. Каф. теоретичної та прикладної механіки; уклад. : Н.В. Гончар, Л.О. Тумарченко, В.М. Томілін. Запоріжжя : НУ "Запорізька політехніка", 2024. 74 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. Т. 1. 694 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. М. : Машиностроение, 1985. Т. 2. 652 с.
6. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания при нормировании работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. М. : Экономика, 1990. 472с.
7. Справочник нормировщика – машиностроителя / под ред. Е.И. Стружестраха. М. : Машгиз, 1961. Т. 2. 890 с.
8. Богуслаев В.А., Леховицер В.А., Смирнов А.С. Станочные приспособления. Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. 430 с.
9. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності

131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / "Запорізька політехніка" нац. ун-т. Каф. теоретичної та прикладної механіки; уклад. : Г.В. Пухальська Н.В. Запоріжжя : НУ "Запорізька політехніка", 2023. 41 с.

10. Винокурова Л. Е., Васильчук М. В., Гаман М. В. Основи охорони праці : Підручн. для проф. -техн. навч. закладів. – 2-ге вид., допов., перероб. Київ : Вікторія, 2001. 192 с.

ДОДАТОК А
Технологічні карти

Дудл.			
Взам.			
Підп.			

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

НУЗП 0214.1.26006 1 1

Розроб.	Козаковський О.		
Перевір.	Тришин		
Н. контр.	Дядя		

НУЗП

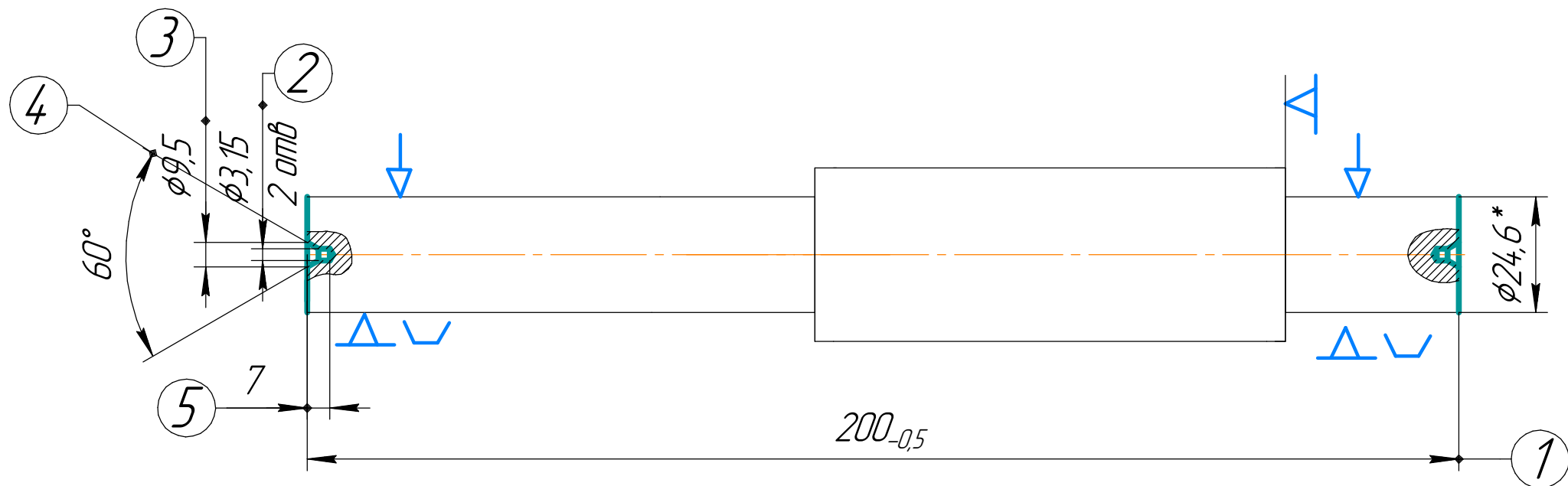
НУЗП 715513.011

М-112.2014.1.00015

Вал ступінчастий

015

$\sqrt{Ra6,3}$



* розміри для довідок

Дудл.			
Взам.			
Підл.			

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

НУЗП 02.14.126006

Листів 1

Лист 1

Розроб.	Козаковський О.			НУЗП	НУЗП 715513.006			M-112.6014.1.00015				
Перевір.	Тришин											
Н.контр.	Дядя											015

Вал ступінчастий

Найменування операції	Матеріал	Твердість	ТВ	МД	Проф. і розм.	МЗ	КВЗ
Фрезерно-центрувальний	Сталь 40X ДСТУ 7806:2015	160..210 НВ	к2	11		15	0,7
Устаткування, пристрій ЧПК	Позначення програми	То	Тв	Тп.з.	Тш-к	30ТС	
Фрезерно-центрувальний НГ-1500	-	0,3	0,82	20	1,62	5% емульсія "Українол-1" ТУ-38-101197-76	

Р		П	Д,В	L	t	i	S	п	V
0 01	1. Встановити та закріпити деталь								$t_{вст}=0,25 \times \text{хв}$
Т 02	ПР Пристосування спеціальне								
03									
0 04	2. Фрезерувати торці витримуючи розмір 1.								
Т 05	ВИ Оправка 6222-0116 ГОСТ 26538-85								
06	РИ Фреза 2214-0001 Т5К10 60° ГОСТ 24359-80								
07	СИ Штангенциркуль ШЦ-II-250-630-0,1 ГОСТ 166-89.								
Р 08		01	14,16	43,1	3	1	300	350	110
09									
0 10	3. Свердлити центрувальні отвори витримуючи розміри 2, 3, 4, 5.								
Т 11	ВИ Патрон 4-В10 ГОСТ 8522-79								
12	РИ Свердло центрувальне 2317-0106 Р6М5 ГОСТ 14.952-75								
13	СИ Калібр-пробка спеціальна $\phi 3,15H14$.								
Р 14		01	3,15	7,9	1,6	1	0,06	1000	10
0 15	4. Зняти деталь								$t_{зн}=0,25 \times \text{хв}$

OK

Дубл.			
Взам.			
Підп.			

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

НУЗП 0214.126006 1 1

Розроб. Козаковський О.

НУЗП

НУЗП 715513.011

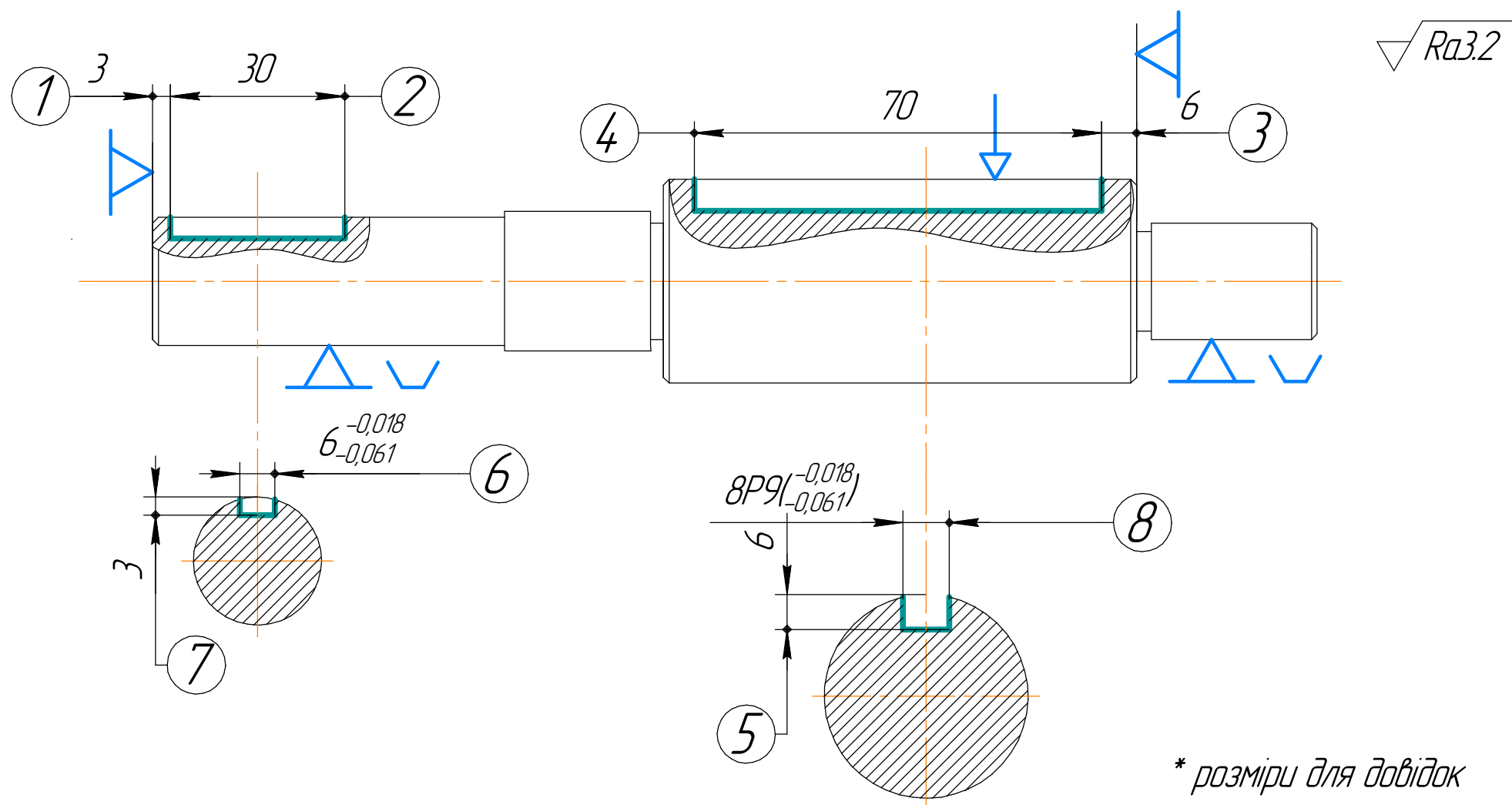
М-112.2014.100040

Перевір. Тришин

Н. контр. Дядя

Вал ступінчастий

040



Дудл.			
Взам.			
Підл.			

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

НУЗП 02.14.126006

Листів 1

Лист 1

Розроб.	Козаковський О.			НУЗП	НУЗП 715513.006		М-112.6014.1.00040				040
Перевір.	Тришин										
Н.контр.	Дядя										

Вал ступінчастий

Найменування операції		Матеріал		Твердість		ТВ	МД	Проф. і розм.		МЗ	КВЗ
Фрезерна з ЧПК		Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015		160..210 НВ		к2	11			15	0,7
Устаткування, пристрій ЧПК		Позначення програми		То	Тв	Тп.з.	Тш-к	30ТС			
Фрезерний з ЧПК FV-4		-		7,2	0,88	24	9,2	5% емульсія "Українол-1" ТУ-38-101197-76			

Р		П	Д,В	L	t	i	S	п	V
0 01	1. Встановити та закріпити деталь								$t_{вст}=0,25 \times \delta$
Т 02	ПР Пристосування спеціальне								
03									
0 04	2. Фрезерувати паз витримуючи розміри 1, 2, 7, 6.								
Т 05	ВИ Патрон 1-30-5-90 ГОСТ 26539-85								
06	РИ Фреза 2234-0355 Р6М5 ГОСТ 9140-78								
07	СИ Калібр пазовий 8154-0221 5Р9 ГОСТ 24121-80.								
Р 08		01	6	65/3	1	3	45	900	16,9
0 09	3. Фрезерувати паз витримуючи розміри 3, 4, 5, 8.								
Т 10	ВИ Патрон 1-30-5-90 ГОСТ 26539-85								
11	РИ Фреза 2234-0363 Р6М5 ГОСТ 9140-78								
12	СИ Калібр пазовий 8154-0222 5Р9 ГОСТ 24121-80.								
Р 13		02	8	65/3	2	3	35	700	17,6
14									
0 15	4. Зняти деталь								$t_{зн}=0,25 \times \delta$

ОК

Дудл.			
Взам.			
Підп.			

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

НУЗП 0214.1.26006 1 1

Розроб. Козаковський О.

НУЗП

НУЗП 715513.006

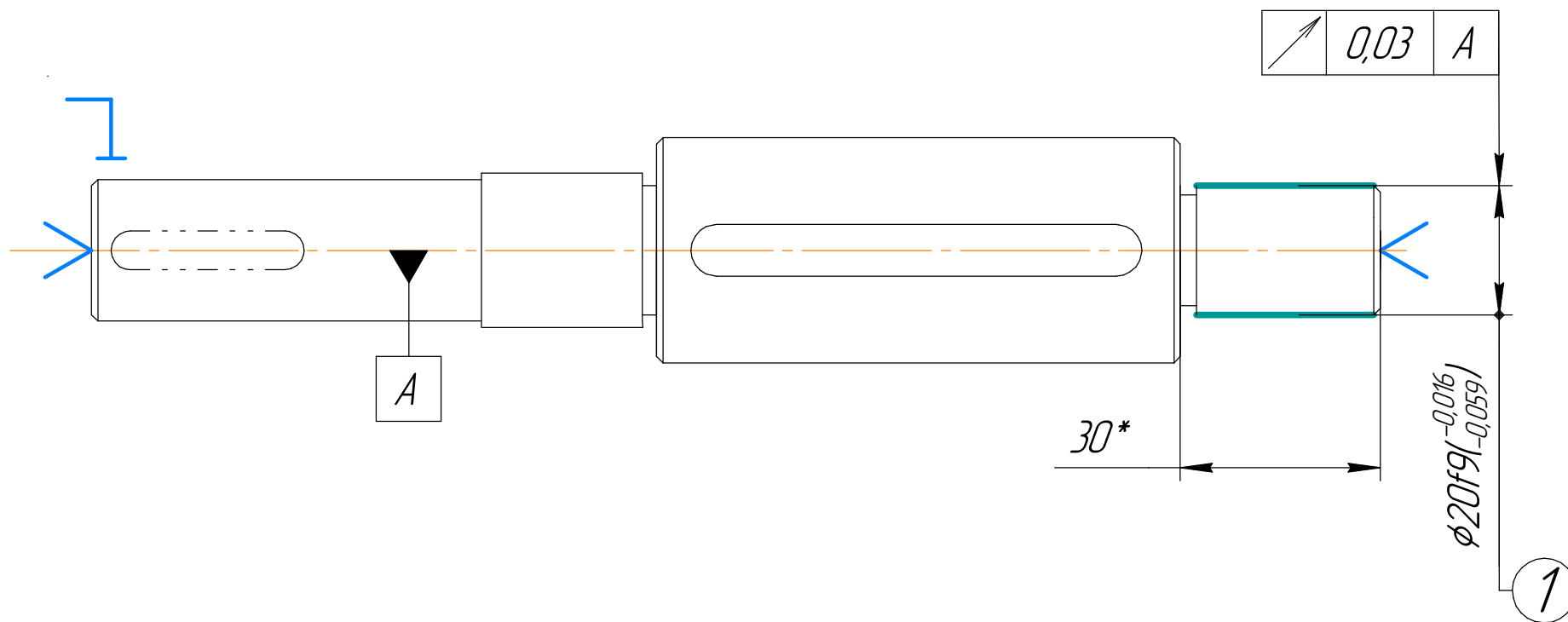
М-112.2014.1.00085

Перевір. Тришин

Н. контр. Дядя

Вал ступінчастий

065



* розміри для довідок

Дудл.			
Взам.			
Підл.			

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

НУЗП 02.14.126006

Листів 1

Лист 1

Розроб.	Козаковський О.			НУЗП	НУЗП 715513.006			M-112.6014.1.00065				
Перевір.	Тришин											
Н.контр.	Дядя											065

Вал ступінчастий

Найменування операції	Матеріал	Твердість	УВ	МД	Проф. і розм.	МЗ	КВЗ
Круглошліфувальна	Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015	28...32 HRC	к2	11		15	0,7
Устаткування, пристрій ЧПК	Позначення програми	То	Тдоп	Тп.з.	Тш-к	30ТС	
Круглошліфувальний ЗА151	-	0,07	0,8	25	1,37	5% емульсія "Українол-1" ТУ-38-101197-76	

Р	П	Д,В	L	t	i	S	п	V	
0 01	1. Встановити та закріпити деталь								$t_{вст}=0,2 \times \delta$
Т 02	ПР Центр 7032-0023 ГОСТ 13214-79, хомутик 7107-0065 ГОСТ 16488-70								
03									
0 04	2. Шліфувати поверхню витримуючи розмір 1.								
Т 05	ВИ Оправка								
06	РИ 1 600x60x305 15А 40-Н СТ 1 6 К8А 50м/с А 1 кл. ГОСТ 2424-83								
07	СИ Калібр-скоба 8113-0112 $\phi 20f9$ ГОСТ 18360-93.								
Р 08	01	600/20	30	0,085	1	0,005	1272/400	40/25	
09									
0 10	3. Зняти деталь								$t_{зн}=0,2 \times \delta$
11									
12									
13									
14									
15									

ОК