

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний інститут, машинобудівний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра «Технологія машинобудування»

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

перший (бакалаврський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Проектування технологічного процесу виготовлення валу
ступінчастого»

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи М-110сп

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Технології машинобудування»

Коломієць А.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник Тришин П.Р.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Широкобоков В.В.

(прізвище 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 _____
 « _____ » _____ 20 ____ року

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

- _____ Коломієць Артур Григорович
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема проєкту (роботи) _____ Проєктування технологічного процесу виготовлення валу ступінчастого _____
- керівник проєкту (роботи) _____ Тришин П.Р.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом закладу вищої освіти від « 03 » квітня 2023 року №83
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____ 05 червня 2023
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) _____ робоче креслення деталі, річна програма випуску N=6000шт
- _____
- _____
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; 5. Охорона праці.
- _____
- _____
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____ Креслення деталі, заготовки, графічне зображення етапів підготовки управляючої програми та розрахунків на міцність, креслення робочого пристосування.
- _____
- _____

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1, 2, 3, 5	Тришин П.Р.		
4	Пухальська Г.В.		
нормоконтр.	Дядя С.І.		

7. Дата видачі завдання 01 травня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Срок виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	15.05.2023	
2	Конструкторська частина	22.05.2023	
3	Розробка планування ділянки	27.05.2023	
4	Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки	29.05.2023	
5	Оформлення пояснювальної записки, креслень, технологічних карт	05.06.2023	
6	Нормоконтроль і рецензія	07.06.2023	
7	Захист дипломного проекту	08.06.2023	

Студент

_____ Коломієць А.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Тришин П.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 89 с., 19 рис., 24 табл., 2 додатки, 13 джерел.

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

Об'єкт дослідження – вал ступінчастий.

Мета роботи – розробити технологічний процес виготовлення валу ступінчастого.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

В дипломному проєкті розроблено технологічний процес виготовлення валу ступінчастого, об'єднано операції на багатоцільовому верстаті з ЧПК і використано сучасне продуктивне обладнання та оснастку, , передбачено економічні ризики виробництва, розраховано режими різання, норми часу, розроблено керуючу програму для операцію з ЧПК, спроєктовано 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 та форми організації робіт.....	10
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням.....	10
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	13
1.4.1 Вибір технологічних баз.....	13
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	14
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	18
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	18
1.6 Розрахунок режимів різання.....	23
1.6.1 Операція 025 – фрезерна.....	23
1.6.2 Операція 045 – зубофрезерна.....	27
1.6.3 Операція 025 – токарна з ЧПК.....	29
1.7 Технічне нормування операцій.....	33
1.7.1 Технічне нормування фрезерної операції 035.....	34
1.7.2 Технічне нормування зубофрезерної операції 045.....	38
1.7.3 Технічне нормування токарної операції 025.....	36
1.8 Розробка керуючої програми на фрезерну операцію з ЧПК.....	37
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	43
2.1 Проектування зубофрезерного пристосування.....	43
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.....	43
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосувань на точність.....	43
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу.....	47
2.2 Проектування контрольного пристосування.....	51
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	51

2.3 Розрахунок на міцність деталі	52
3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ	56
4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ	59
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	68
5.1 Освітлення приміщень та робочих місць	68
5.2 Види освітлення виробничих приміщень та робочих місць	70
ВИСНОВКИ	74
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	75
Додаток А. Специфікація робочого пристосування	77
Додаток Б. Технологічні карти	80

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЗОТС – змащувально-охолоджувальне технологічне середовище

КГШП – кривошипний горячештамповальний прес

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

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

Прогрес у галузі авіадвигунобудування значною мірою визначає розвиток сучасної авіації. Удосконалення авіаційних двигунів, своєю чергою, висуває нові вимоги до технології їх виготовлення. Зростання робочих температур і тисків вимагає дедалі ширшого використання високоміцних сплавів, тенденція скорочення числа деталей призводить до ускладнення геометричних форм, а зниження питомої маси двигуна зумовлює застосування тонкостінних деталей.

Успішна реалізація конструктивних рішень більшою мірою визначається технологією. Проектовані технологічні процеси повинні забезпечувати підвищення продуктивності праці та якості виробів за одночасного зниження витрат на їх виготовлення. Вирішення цих завдань багато в чому залежить від раціональної побудови процесу обробки, використаного обладнання, інструменту та оснащення, а також обґрунтованого призначення припусків на обробку та допусків операційних розмірів.

Велике техніко-економічне значення раціонального вибору припусків і розрахунку операційних розмірів визначається, перш за все, місцем цього етапу в загальній послідовності завдань, що вирішуються при проектуванні технологічного процесу.

Відповідно до загальних правил розробки технологічних процесів комплексу завдань розмірного аналізу передують такі найважливіші етапи, як вибір виду вихідної заготовки, методу її виготовлення та технологічних баз, розробка варіанта технологічного маршруту обробки, а також вибір засобів технологічного оснащення.

У цьому дипломному проєкті будуть розглядатися всі вищезазначені завдання, які стоять перед сучасним технологом, а також запропоновані шляхи та методи їх вирішення.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «Вал ступінчастий» (рис. 1.1) входить у редуктор, яка в свою чергу є частиною авіадвигуна. Вал ступінчастий є суттєвою частиною редуктора. Вал ступінчастий приводиться у дію за допомогою відповідної передачі від електродвигуна. Вал ступінчастий у редукторі служить для приводу вихідних ланок.

Матеріал деталі – легована конструкційна сталь 40Х згідно таблиці 1.1. Це сталь, оброблена тиском, володіє гарними механічними властивостями, особливо в'язкістю та щільністю, що дозволяє матеріалу добре чинити опір змінним динамічним навантаженням. Ці властивості дуже важливі для валу ступінчатого для передачі крутних моментів.

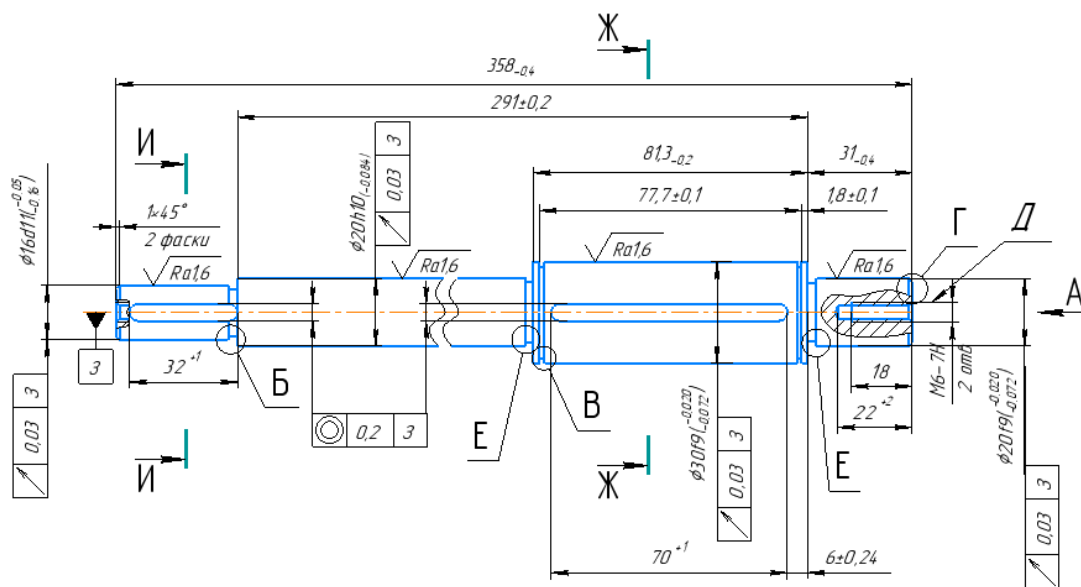


Рисунок 1.1 – Зображення деталі

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40Х [1]

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

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Залежно від розміру виробничої програми, характеру продукції, а також технічних та економічних умов здійснення виробничого процесу всі різноманітні виробництва умовно поділяються на три основні види: одиничне, серійне та масове. У кожного з цих видів виробничий та технологічний процеси мають свої характерні особливості, і кожному з них властива певна форма організації роботи.

На даному етапі проектування складно правильно визначити вид виробництва і тому проведемо попереднє визначення типу виробництва за виробничою програмою та масою деталі згідно рекомендацій [2, 3]. Для деталі «Вал ступінчастий» тип виробництва та форму організації робіт призначаємо серійним з потоковою організацією.

Кількість партій оброблюваних деталей:

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

де N – річна програма випуску, $N = 6000$ шт;

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

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

$$n = \frac{3 \cdot 6000}{250} = 72 \text{ шт}$$

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Обираємо наступні способи одержання заготовки:

- штампування на кривошипному горячештампованому пресі (КГШП);

– прокат.

Характеристики штамповки на КГШП [4]:

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

Маси заготовок визначаємо за допомогою 3D-моделювання, шляхом виміру масово-центровочних характеристик. Ескізи заготовок наведені на рис. 1.2, 1.3.

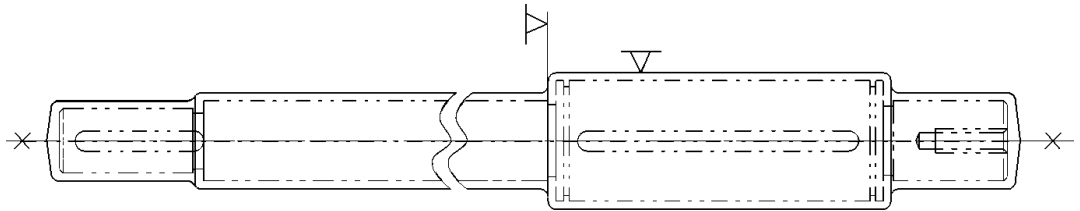


Рисунок 1.2 – Заготовка на КГШП

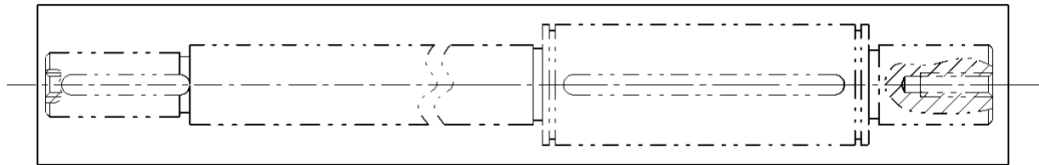


Рисунок 1.3 – Заготовки з прокату

Собівартість виготовлення однієї заготовки розраховується за формулою:

$$C = \frac{B_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_P - (Q - q) \frac{B_{\text{відх}}}{1000}, \quad (1.2)$$

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

B_B – базова собівартість виготовлення 1 т заготовок, грн. [5];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [5];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [5];

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

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [5];

K_{II} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [5];

$B_{відх}$ – вартість 1 т стружки [5].

$$C_1 = \frac{3500}{1000} \cdot 1,7 \cdot 1,05 \cdot 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,78 \cdot 1 - \frac{(1,7 - 1,1)}{1000} \cdot 1000 = 7,35 \text{ грн}$$

$$C_2 = \frac{2000}{1000} \cdot 3,05 \cdot 1,05 \cdot 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,78 \cdot 1 - \frac{(3,05 - 1,1)}{1000} \cdot 1000 = 6,14 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою:

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

$$\eta_1 = 1,1/1,7 = 0,65$$

$$\eta_2 = 1,1/3,05 = 0,36$$

Розрахункові значення параметрів заготовки заносимо в таблицю 1.2

Річні заощадження за вартістю виготовлення заготовок розраховується за формулою:

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

$$E_B = (7,35 - 6,14) \cdot 6000 = 34311 \text{ грн}$$

Річні заощадження витрат матеріалу розраховується за формулою:

$$M_e = \frac{q(\eta_K - \eta_3)}{\eta_3 \cdot \eta_K} \cdot N \quad (1.5)$$

$$M_e = (2,1 \cdot (0,64 - 0,36)) / (0,36 \cdot 0,64) \cdot 6000 = 8011 \text{ грн}$$

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			КГШП	Прес
Вага заготовки	Q	кг	1,7	3,05
Базова вартість 1 т заготовки	B_B	грн	3500	2000
Коефіцієнти	K_T		1,05	1,05
	K_M		1,8	1,8
	K_C		0,9	0,9
	K_3		0,78	0,78
	K_P		1	1
Вартість 1 т стружки	$B_{відх}$	грн	1000	1000
Собівартість заготовки	B_3	грн	7,35	6,14
КВМ	η		0,64	0,36

Так як $C_2 < C_1$ та $\eta_1 > \eta_2$, приймаємо раціональним виготовлення заготовки штамповкою на КГШП.

1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

1.4.1 Вибір технологічних баз

Так як заготовка отримана штампуванням, то необроблені поверхні як бази використовуються тільки на першій операції механічної обробки. Для першої операції поверхня 12, крайній торець центру (рис. 1.4).

Вибір баз для чистової обробки здійснюється за умовами:

- по можливості, використання всіх операціях механічної обробки тих самих базових поверхонь, тобто принцип єдності баз;

- дотримання принципу суміщення баз – як технологічні базові поверхні використовуються конструкторські та вимірювальні бази;
- бази для остаточної обробки повинні мати найбільшу точність розмірів та геометричну форму, найменшу шорсткість поверхні;
- вибрані бази повинні спільно з затискними пристроями забезпечувати надійність і міцність закріплення деталі та її незмінне положення під час обробки;
- прийняті бази та методи бази та методи базування повинні забезпечувати простішу та надійнішу конструкцію пристосування, зручність встановлення та зняття деталі.

Для другої та наступних операцій як бази будемо використовувати центрові отвори, торець і зовнішні циліндричні поверхні 8, 12 (рис. 1.4).

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Перетворення грубих за формою, розмірами та шорсткістю поверхонь заготовок на готові деталі економічно доцільно здійснювати за кілька переходів (стадій) обробки. Кількість переходів, їх послідовність та зміст визначають при проектуванні маршруту обробки поверхні (МОП).

МОП – це певна послідовність технологічних переходів обробки поверхні заготівлі, необхідні досягнення заданих показників якості цієї поверхні в деталі. МОП є технологічною основою технологічного процесу (ТП) механічної обробки, оскільки саме у МОП, у технологічних переходах закладаються фізико-механічні, хіміко-термічні та інші процеси на поверхні заготівлі. Технологічну нумерацію поверхонь деталі зображено на рис. 1.4.

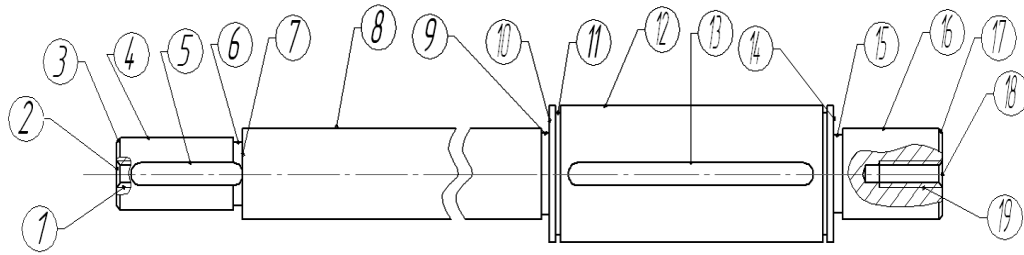


Рисунок 1.4 – Технологічна розмітка поверхонь деталі

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

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

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

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

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

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

$$\varepsilon_d = \frac{2,2}{0,052} = 42,3$$

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

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{0,6}{0,02} = 30$$

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 $k=3$ переходи. Визначаємо різницю показників якості та розподіляємо цю різницю між $k=3$ переходами за законом прогресивного зменшення: $IT=IT_{17}-f_9=8=5+2+1$.

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

1) Для допуску: $IT_{17} \rightarrow h_{12} \rightarrow h_{10} \rightarrow TO \rightarrow f_9$.

2) Для шорсткості: $Ra_{25} \rightarrow Ra_{6,3} \rightarrow Ra_{3,2} \rightarrow TO \rightarrow Ra_{1,6}$.

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

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

Уточнення:

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

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

Другий перехід – точіння чистове: $T_{D2}=84$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [6].

Уточнення:

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

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

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 10,5 \cdot 2,5 = 26,2 < \varepsilon_d = 42,3$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 3,9 \cdot 2 = 7,8 < \varepsilon_{Ra} = 15,6$$

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

Уточнення:

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

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

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 26,2 \cdot 1,6 = 41,9 < \varepsilon_d = 42,3$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 7,8 \cdot 2 = 15,6 < \varepsilon_{Ra} = 15,6$$

Розрахунок МОП інших поверхонь заносено до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Маршрут обробки поверхонь 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	↑
8) $\varnothing 20f9 \begin{pmatrix} -0,020 \\ -0,072 \end{pmatrix}$ Ra=1,6	2,2	25	0,052	1,6	17 13 10 9	Загот Точін чорн. Точін чист. ТО Шліф.	2200 330 84 52	25 6,3 3,2 1,6	0,6 0,2 0,05 0,02	– 6,6 3,9 1,6	– 3,9 2 2	– 3 4 2,5
12) $\varnothing 30f9 \begin{pmatrix} -0,020 \\ -0,072 \end{pmatrix}$ Ra=1,6	2,2	25	0,052	1,6	17 13 10 9	Загот Точін чорн. Точін чист ТО Шліф.	2200 330 84 52	25 6,3 3,2 1,6	0,6 0,2 0,05 0,02	– 6,6 3,9 1,6	– 3,9 2 2	– 3 4 2,5
4) $\varnothing 16d11 \begin{pmatrix} -0,05 \\ -0,16 \end{pmatrix}$ Ra=1,6	2,2	25	0,011	1,6	17 13 12 11	Загот Точін чорн. Точін чист ТО Шліф.	2200 270 180 110	25 6,3 3,2 1,6	0,6 0,2 0,05 0,02	– 8,1 1,5 1,6	– 3,9 2 2	– 3 4 2,5
10) 81.3 _{-0,2} Ra=6,3	2,2	25	0,2	6,3	17 13 10	Загот Точін чорн Точін чист ТО	2200 540 200	25 12,5 6,3	0,6 0,2 0,1	– 4,07 2,7	– 2 2	– 3 2

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення валу ступінчастого складається з наступних етапів:

- 1) I етап – отримання заготовки, термічна обробка (ТО);
- 2) II етап – механічна обробка:
 - токарна обробка (чорнова, чистова);
 - фрезерна обробка;
 - слюсарна обробка.
- 3) III етап – мийка, контроль;
- 4) IV етап – ТО;
- 5) V етап – фінішна обробка:
 - шліфування (чорнове, чистове);
- 6) VI етап – мийка, контроль.

Маршрут виготовлення валу ступінчастого наведено в графічній частині дипломної роботи на плакаті НУЗП 715003.011.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Для поверхні 2 – $\phi 20f9 \begin{pmatrix} -0,020 \\ -0,072 \end{pmatrix}$ розрахунок припусків виконаємо розрахунково-аналітичним методом та розрахунку технологічних розмірів методом проф. Кована.

Вибираємо нормативні та розрахункові значення елементів припусків для заготівлі: $Rz_1 = 160$ мкм та $h_1 = 200$ мкм [6].

Просторові відхилення заготовки розраховують за формулою:

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

де $\rho_{кор}$ – похибка короблення, $\rho_{кор} = 1 \text{ мм}$ [6];

$\rho_{зм}$ – неспіввісність осей шийок заготівлі, $\rho_{зм} = 0,8 \text{ мм}$ [6];

$$\rho_1 = \sqrt{2^2 + 0,6^2} = 1,23 \text{ мм}$$

Для точіння чорнового нормативні значення приймаємо за [6]: $Rz_2 = 80 \text{ мкм}$, $h_2 = 100 \text{ мкм}$.

Просторове відхилення визначаємо за формулою:

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

де $K_{ут}$ – коефіцієнт уточнення для механічної обробки по [6].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 1230 = 73 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_3 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{3ар}^2 + 1} \quad (1.12)$$

$$\varepsilon_3 = 0,25 \cdot \sqrt{2,2^2 + 1} = 0,4 \text{ мм}$$

Для точіння чистового по [6] приймаємо: $Rz_3 = 20 \text{ мкм}$, $h_3 = 20 \text{ мкм}$; $k_y = 0,04$.

Просторове відхилення:

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 73 = 2,92 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_3 = K_{ут} \cdot \varepsilon_{i-1} = 0,04 \cdot 400 = 16 \text{ мкм} \quad (1.13)$$

Для термической обработки просторове відхилення:

$$\rho_4 = \Delta_k \cdot L \quad (1.14)$$

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

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 358 = 35,8 \text{ мкм}$$

Для шліфування: $k_y = 0,03$, $Rz_5 = 10 \text{ мкм}$ та $h_5 = 10 \text{ мкм}$ [6].

Просторове відхилення:

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (35,8 + 2,92) = 1,1 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 16 = 0,46 \text{ мкм}$$

Мінімальні припуски за переходами:

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

$$2z_2^{\min} = 2 \cdot (160 + 200 + \sqrt{1230^2 + 400^2}) = 3306 \text{ мкм}$$

$$2z_3^{\min} = 2 \cdot (80 + 100 + \sqrt{73^2 + 16^2}) = 509 \text{ мкм}$$

$$2z_5^{\min} = 2 \cdot (20 + 20 + \sqrt{2,92^2 + 0,46^2}) = 86 \text{ мкм}$$

Максимальний розмір поверхні деталі – останнього переходу розраховується за формулою:

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

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

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 – $\varnothing 24,6_{-0,8}^{+1,4}$ мм.

Таким же самим чином розраховуємо технологічні розміри для інших розмірів. Припуски при цьому призначимо по таблицям довідкової літератури [5]. Отримані результати заносимо до таблиці 1.4

Для поверхні 12 – $\varnothing 30f9 \begin{pmatrix} -0,020 \\ -0,072 \end{pmatrix}$:

- 1) Чорнове точіння – $Z^{\min} = 2,2 \text{ мм}$;
- 2) Чистове точіння – $Z^{\min} = 0,7 \text{ мм}$;
- 3) Шліфування – $Z^{\min} = 0,5 \text{ мм}$.

Для поверхні 4 – $\varnothing 16d11 \begin{pmatrix} -0,05 \\ -0,16 \end{pmatrix}$:

- 1) Чорнове точіння – $Z^{\min} = 2,2 \text{ мм}$;
- 2) Чистове точіння – $Z^{\min} = 0,7 \text{ мм}$;
- 3) Шліфування – $Z^{\min} = 0,5 \text{ мм}$.

Таблиця 1.4 – Припуски та міжопераційні розміри

Характ. поверх.	МОП		Доп.	Гран. знач. технол. розмірів		Гран. знач. припуска		Виконавч. розмір, мм
	i	Мет. обр.		$d_i^{\max}$, мм	$d_i^{\min}$, мм	$2z_i^{\max}$	$2z_i^{\min}$	
8) $\varnothing 20f9 \begin{pmatrix} -0,020 \\ -0,072 \end{pmatrix}$ Ra=1,6	17	Загот	2,2	26,02	23,82	-	-	$\varnothing 24,6 \begin{pmatrix} +1,4 \\ -0,8 \end{pmatrix}$
	13	Точін чорн.	0,33	20,85	20,52	5506	3306	$\varnothing 20,85 \begin{pmatrix} -0,33 \end{pmatrix}$
	10	Точін чист.	0,084	20,09	20,01	839	509	$\varnothing 20,09 \begin{pmatrix} -0,084 \end{pmatrix}$
	9	Шліф.	0,052	19,98	19,92	170	86	$\varnothing 20f9 \begin{pmatrix} -0,020 \\ -0,072 \end{pmatrix}$
12) $\varnothing 30f9 \begin{pmatrix} -0,020 \\ -0,072 \end{pmatrix}$ Ra=1,6	17	Загот	2,200	38,92	36,72	-	-	$\varnothing 37,3 \begin{pmatrix} +1,4 \\ -0,8 \end{pmatrix}$
	13	Точін чорн.	0,330	32,65	32,32	6600	4400	$\varnothing 32,65 \begin{pmatrix} -0,33 \end{pmatrix}$
	10	Точін чист	0,084	31,01	30,92	1730	1400	$\varnothing 31,01 \begin{pmatrix} -0,084 \end{pmatrix}$
	9	Шліф.	0,052	29,98	29,92	1084	1000	$\varnothing 30f9 \begin{pmatrix} -0,020 \\ -0,072 \end{pmatrix}$
4) $\varnothing 16 \begin{pmatrix} -0,05 \\ -0,16 \end{pmatrix}$ Ra=1,6	17	Загот	2,200	24,84	22,64	-	-	$\varnothing 23,2 \begin{pmatrix} +1,4 \\ -0,8 \end{pmatrix}$
	13	Точін чорн.	0,270	18,51	18,24	6600	4400	$\varnothing 18,51 \begin{pmatrix} -0,27 \end{pmatrix}$
	12	Точін чист	0,180	17,02	16,84	1670	1400	$\varnothing 17,02 \begin{pmatrix} -0,18 \end{pmatrix}$
	11	Шліф.	0,110	15,95	15,84	1180	1000	$\varnothing 16d11 \begin{pmatrix} -0,05 \\ -0,16 \end{pmatrix}$
10) 81,3 _{-0,2} Ra=6,3	17	Загот	2,200	89,1	86,9	-	-	89,1 $\begin{pmatrix} +1,4 \\ -0,8 \end{pmatrix}$
	13	Точін чорн	0,540	83,04	82,5	6600	4400	83,04 _{-0,54}
	10	Точін чист	0,200	81,3	81,1	1940	1400	81,3 _{-0,2}

1.6 Розрахунок режимів різання

1.6.1 Операція 015 – фрезерно-центрувальна

Обираємо верстат фрезерно-центрувальний моделі HG-1500. Пристосування – призми. Операційний ескіз зображено на рис. 1.5. Технічні характеристики верстата:

Найбільший діаметр заготовки – 150 мм;

Найбільша товщина заготовки – 600 мм;

Частота обертання шпинделя (свердління) – 15...3000 об/хв.

Частота обертання шпинделя (фрезерування) – 30...1500 об/хв.

Подача сверлильного супорту – 0,09...1,35 мм/об.

Подача фрезерування – 20...400 мм/хв;

Пришвидшена подача – 15 м/хв;

Потужність електродвигуна – 7,5 кВт

Габарити верстата – 3320 x 1530 мм

Ріжучий інструмент:

- 1) Фреза торцева с пластинами з твердого сплаву T5K10, ГОСТ 24359-80, $D = 100$ мм, $L = 50$ мм, $d = 32$ мм, $z = 8$ [7];
- 2) Свердло центрувальне $D=3,15$ мм, $L=49$ мм, $l=18$ мм ГОСТ 14952-75 [7].

Вимірювальний інструмент: шаблон, штангенциркуль ШЦ - III-500-0,1

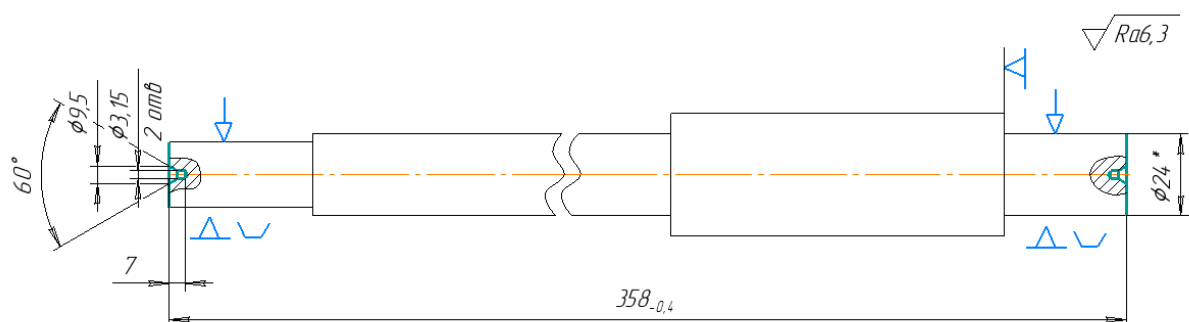


Рисунок 1.5 – Операційний ескіз

Операція складається з 2 переходів:

- 1) Перший перехід – підрізати торці;
- 2) Другий перехід – центрувати торці.

Глибина різання t , мм розраховується за формулою:

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

де i – кількість проходів.

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

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

Для свердління подачу розраховуємо згідно формули:

$$S_{0p} = S_{0r} = K_1 \cdot K_2 \quad (1.21)$$

де S_{0p} – табличне значення подачі, $S_{0p} = 0,06$ мм/хв [8];

K_1 – поправочний коефіцієнт на величину подачі в залежності від матеріалу оброблюваної деталі, $K_1 = 1$ [8];

K_2 – поправочний коефіцієнт величину подачі залежно від виду обробки, $K_2 = 1$ [8].

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

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

Для фрезерування торців:

де S_{0p} – табличне значення подачі, $S_{0p} = 0,035$ мм/зуб [8];

K_1 – поправочний коефіцієнт на величину подачі в залежності від матеріалу оброблюваної деталі, $K_1 = 1,25$ [8];

K_2 – поправочний коефіцієнт величину подачі залежно від виду обробки, $K_2 = 0,95$ [8].

$$S_{\phi p.} = 0,035 \cdot 1,25 \cdot 0,95 = 0,042 \text{ мм/об}$$

Приймаємо $S_{\text{фр.}} = 0,05$ мм/зуб.

Для фрезерування визначаємо 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, $V_T = 150,2$ м/хв [8];

K_1 – поправочний коефіцієнт, що залежить від охолодження, $K_1 = 1$ [8];

K_2 – коефіцієнт, який залежить від кута у плані, $K_2 = 0,8$ [8];

K_3 – коефіцієнт, який залежить від стану поверхні, що обробляється,
 $K_3 = 1$ [8];

K_4 – поправочний коефіцієнт при поперечному фрезеруванні, $K_4 = 1$ [8];

K_5 – коефіцієнт, який залежить від матеріалу різальної частини інструменту, $K_5 = 1,1$ [8];

K_6 – коефіцієнт, який залежить від твердості оброблюваного матеріалу
 $K_6 = 0,83$ [8];

K_7 – коефіцієнт, що залежить від глибини різання, $K_7 = 1$ [8];

K_8 – коефіцієнт, що залежить від подачі, $K_8 = 0,87$ [8];

K_9 – коефіцієнт, що залежить від стійкості інструменту, $K_9 = 1,1$ [8].

$$V_p = 150,2 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,83 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 1,1 = 105 \text{ м/хв}$$

Для свердління:

де V_T – табличне значення швидкості, $V_T = 10,2$ м/хв [8];

K_1 – поправочний коефіцієнт, що залежить від охолодження,
 $K_1 = 0,55$ [8];

K_2 – коефіцієнт, який залежить від кута у плані, $K_1 = 0,55$ [8];

K_3 – коефіцієнт, який залежить від стану поверхні, що обробляється
 $K_3 = 1,15$ [8];

K_4 – поправочний коефіцієнт при свердлінні, $K_4 = 1$ [8];

K_5 – коефіцієнт, який залежить від матеріалу різальної частини інструменту, $K_5 = 1,85$ [8];

K_6 – коефіцієнт, який залежить від твердості оброблюваного матеріалу
 $K_6 = 0,82$ [8];

K_7 – коефіцієнт, що залежить від глибини різання, $K_7 = 1$ [8];

K_8 – коефіцієнт, що залежить від подачі, $K_8 = 0,83$ [8];

K_9 – коефіцієнт, що залежить від стійкості інструменту, $K_9 = 1,1$ [8].

$$V_p = 10,2 \cdot 0,55 \cdot 1,25 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1,85 \cdot 0,82 \cdot 1 \cdot 0,83 = 10,2 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою:

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

$$n_{\text{св}} = \frac{1000 \cdot 10,2}{3,14 \cdot 3,15} = 1031 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{фр}} = \frac{1000 \cdot 105}{3,14 \cdot 100} = 759 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_{\text{св}}=1080$ об/хв, $n_{\text{фр}}=750$ об/хв.

Визначаємо хвилинну подачу фрези за формулою:

$$S_M = S_Z \cdot n \cdot z \quad (1.24)$$

$$S_M = 0,05 \cdot 750 \cdot 8 = 300 \text{ мм/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $S_M=300$ мм/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою:

$$V_d = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000} \quad (1.25)$$

$$V_{\text{дсв}} = \frac{3,14 \cdot 1080 \cdot 3,15}{1000} = 10,5 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{дфр}} = \frac{3,14 \cdot 750 \cdot 100}{1000} = 105 \text{ м/хв}$$

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{l+l_2+l_1}{s_M} \cdot i \cdot n, \text{хв} \quad (1.26)$$

де l – довжина фрезерування, мм;

l_2 – величина перебігу, мм;

l_1 – величина врізання, мм;

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

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

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

$$l_2 = \frac{D_{CB}}{2tg60}, \text{мм} \quad (1.28)$$

$$l_2 = \frac{3,15}{2tg60} = 0,9 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{24+17,1+2}{300} + \frac{7+0,9}{1080 \cdot 0,06} = 0,23 \text{ хв.}$$

1.6.2 Операція 085 – шліфувальна

Для шліфування оберемо круглошліфувальний верстат моделі 3А151. В якості інструменту обираємо шліфувальний круг 1 600х63х305 15А 40Н СТ1 6 К8 А 50 м/с ГОСТ 2424-82 [7], а в якості пристосування – центр, хомутик повідковий. Операційний ескіз зображено на рис. 1.7. Технічні характеристики верстата:

- 1) найбільший діаметр оброблюваної заготовки – 200 мм;
- 2) найбільша довжина оброблюваної заготовки – 700 мм;

- 3) частота обертання круга – 1272 об/хв;
- 4) частота обертання шпинделя (безступінчаста) – 63...400 об/хв;
- 5) потужність – 7,5 кВт.

Припуск на обробку $Z=0,17$ мм згідно таблиці 1.5.

Подача радіальна розраховуємо по формулі (1.22):

де ST – табличне значення подачі, $ST = 0,008$ мм/об [8];

KD – коефіцієнт враховуючий діаметр круга [8];

KR – поправочний коефіцієнт враховуючий радіус галтелі, $KD = 0,42$ [8];

KT – поправочний коефіцієнт враховуючий стійкість круга, $KT = 1,0$ [8];

Kh – поправочний коефіцієнт враховуючий припуск на обробку,

$Kh = 1,0$ [8];

KlT – коефіцієнт враховуючий квалітет виконання розміру, $KlT = 0,5$ [8];

KM – поправочний коефіцієнт враховуючий матеріал деталі,

$KM = 1,0$ [8].

$$S_{\text{поп}} = 0,008 \cdot 0,42 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,0014 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S_{\text{поп}}=0,002$ мм/об.

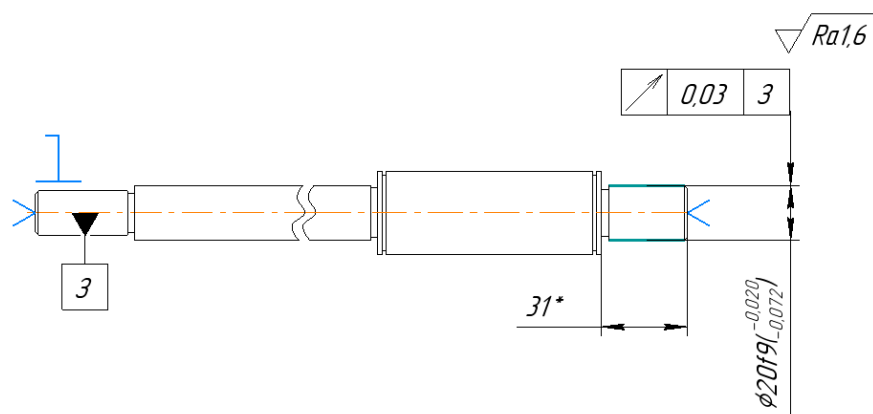


Рисунок 1.7 – Операційний ескіз

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

Табличне значення швидкості різання визначаємо за довідковою

літературою [8]: $V_{ш.кр.}=50$ м/с; $V_{ш.дет.}=50$ м/хв.

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

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

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

$$n_{дет.}^p = \frac{1000 \cdot V_{ш.дет.}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (1.30)$$

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

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

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.25):

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

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

Визначаємо основний час:

$$T_o = \frac{z \cdot k}{n_{дет.} \cdot S_{поп}}, \text{ хв} \quad (1.31)$$

де $k = 1,7$ – коефіцієнт уточнення.

$$T_o = \frac{0,17 \cdot 1,7}{400 \cdot 0,002} = 0,36 \text{ хв}$$

1.6.3 Операція 060 – фрезерна

Для фрезерування шпоночного пазу призначаємо вертикально-фрезерний верстат з ЧПК HAAS моделі VF-4.

Технічні характеристики верстата:

1) найбільше переміщення столу:

- повздовжнє – 1270 мм;
- поперечне – 508 мм;
- вертикальне – 635 мм;

2) кількість інструментів – 20;

3) діапазон частот обертання шпинделя – 0...7500 об/хв;

4) повздовжня та поперечна подача столу – 16...250 мм/хв;

5) потужність двигуна – 14,9 кВт;

6) габаритні розміри – 3000×3800×3400 мм;

7) вага – 6100 кг.

Для операції фрезерування обираємо шпоночну фрезу діаметром $D=5$ мм з числом зубців $z=2$ та матеріалу Р6М5 за ГОСТ 9140-78 [7].

Операційний ескіз зображено на рис. 1.8.

Подачу обираємо за довідковою літературою [7]:

- повздовжня – $Sz^{\text{табл}}=0,022$ мм/зуб;
- вертикальна – $Sz^{\text{табл}}=0,007$ мм/зуб.

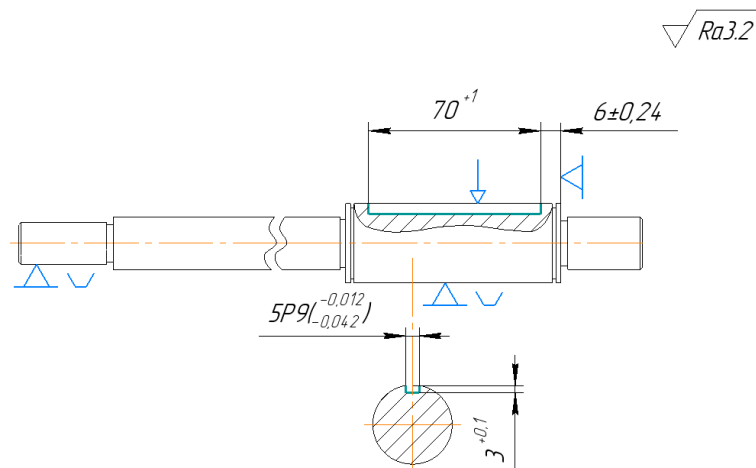


Рисунок 1.8 – Операційний ескіз

Розраховуємо швидкість різання:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D_\phi^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_{zy} \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{VP}, \text{ м/хв} \quad (1.32)$$

де C_v , q , x , y , u , p , m – показники ступеня, $C_v=12$, $q=0,3$, $x=0,3$, $y=0,25$, $u=0$, $p=0$, $m=0,26$ [7];

K_{VM} – коефіцієнт оброблюваності матеріалу, $K_{VM} = 1$ [7];

K_{VI} – коефіцієнт, враховуючий властивості матеріалу ріжучої частини інструменту, $K_{VI} = 1$ [7];

K_{VP} – коефіцієнт, враховуючий стан поверхні заготовки, $K_{VP} = 1$ [7];

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

D_ϕ – діаметр фрези.

$$K_{VM} = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^n = \left(\frac{750}{650} \right)^{0,9} = 1,13 \quad (1.33)$$

$$V_p = \frac{12 \cdot 5^{0,3}}{80^{0,26} \cdot 2^{0,3} \cdot 0,022^{0,25} \cdot 5^0 \cdot 2^0} \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 1 = 17,3 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.23):

$$n = \frac{1000 \cdot 17,3}{3,14 \cdot 5} = 1101 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_d=1000$ об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.25):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 5 \cdot 1000}{1000} = 16 \text{ м/хв}$$

Визначаємо хвилинну подачу інструменту за формулою (1.24):

$$S_{\text{м повз}} = 0,022 \cdot 1000 \cdot 2 = 44 \text{ мм/хв}$$

$$S_{\text{м верт}} = 0,007 \cdot 1000 \cdot 2 = 14 \text{ мм/хв}$$

Обираємо за паспортом верстата $S_{\text{м повз}}=40$ мм/хв, $S_{\text{м верт}}=15$ мм/хв.

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{t+l_1}{S_{\text{верт}}} + \frac{l-D_{\phi}}{S_{\text{повз}}}, \text{хв} \quad (1.34)$$

де l – довжина фрезерування, мм;

t – глибина фрезерування, мм;

l_1 – величина врізання, мм.

$$l_1 = 0,5 \cdot D_{\phi} \cdot \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{2 \cdot t}{D_{\phi}} \right) \right), \text{мм} \quad (1.35)$$

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

$$t_o = \frac{2+1,5}{15} + \frac{70-5}{40} + \frac{1}{15} + \frac{70-5}{40} = 4,42 \text{ хв.}$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – 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	750	105
	02	1,6	1	0,06	1080	10,5
020 Токарна з ЧПК	01	0,5	4	0,2	105	1100
025 Токарна з ЧПК	01	0,5	4	0,2	105	1100
030 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	102	1100
	02	2,5	1	0,1	105	900
	03	1,5	2	0,1	105	1100
035 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	103	1500
	02	2,5	2	0,1	105	1500
040 Свердлильна	01	2,5	1	0,1	15	950
045 Свердлильна	01	2,5	1	0,1	15	950
050 Фрезерна	01	4	2	40мм/хв	16	1000
055 Фрезерна	01	5	1	40/15мм/хв	16	1000
060 Фрезерна	01	5	1	40/15мм/хв	16	1000
085 Круглошліфувальна	01	0,17	1	0,002	40/25	1272/400
090 Круглошліфувальна	01	0,25	1	0,002/3	40/37	1272/400
095 Круглошліфувальна	01	0,2	1	0,002/3	40/25	1272/400
100 Круглошліфувальна	01	0,2	1	0,002	40/20	1272/400

1.7 Технічне нормування операцій

1.7.1 Технічне нормування фрезерно-центрувальної операції 015

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{в}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{контр}}, \quad (1.36)$$

де $t_{\text{в}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{в}} = 0,5$ хв [9];

$t_{\text{пер}}$ – час на перехід, $t_{\text{пер}} = 0,8$ хв [9];

$t_{\text{контр}}$ – час контролю оброблених поверхонь [9].

$$t_{\text{конт.}} = t_{\text{конт. норм.}} \cdot K \cdot i \quad (1.37)$$

де K – коефіцієнт періодичності перевірки, $K = 0,3$;

i – кількість вимірювань, $i = 4$;

$t_{\text{кон. тнорм.}}$ – табличне значення одного вимірювання, $t_{\text{кон. тнорм.}} = 0,35$ хв.

$$t_{\text{конт.}} = 0,35 \cdot 0,3 \cdot 4 = 0,42 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,5 + 0,8 + 0,42 = 1,72 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{o}} + t_{\text{доп}} \quad (1.38)$$

$$t_{\text{оп}} = 0,23 + 1,72 = 1,95 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою:

$$t_{\text{дод}} = (\alpha_{\text{тех}} + \alpha_{\text{орг.}} + \alpha_{\text{отд.}}) t_{\text{оп}} \quad (1.39)$$

де $\alpha_{\text{тех}}$ $\alpha_{\text{орг.}}$ $\alpha_{\text{отд.}}$ – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби [9].

$$t_{\text{дод}} = 1,95 \cdot 0,15 = 0,29 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою:

$$t_{шт} = t_{оп} + t_{дод} \quad (1.40)$$

$$t_{шт} = 1,95 + 0,29 = 2,24 \text{ хв}$$

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

$$t_{пз} = t_{пз1} + t_{пз2} + t_{пз3} \quad (1.41)$$

де $t_{п. з1}$ – нормативний час на налагодження верстата, інструменту, пристосування, $t_{п. з1} = 18 \text{ хв}$;

$t_{п. з2}$ – нормативний час отримання інструменту, пристосування, здачу їх після роботи, $t_{п. з2} = 8 \text{ хв}$.

$$t_{пз} = 18 + 8 = 26 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n} \quad (1.42)$$

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

$$t_{шт-к} = 2,24 + \frac{26}{72} = 2,6 \text{ хв}$$

1.7.2 Технічне нормування шліфувальної операції 085

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.36):

де $t_{в}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{в} = 0,32 \text{ хв}$ [9];

$t_{пер}$ – час на перехід, $t_{пер} = 0,4 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{контр}}$ – час контролю оброблених поверхонь, $t_{\text{контр}} = 0,2$ хв [9];

K – коефіцієнт періодичності перевірки, $K = 0,3$;

i – кількість вимірювань, $i = 1$;

$t_{\text{кон. тнорм.}}$ – табличне значення одного вимірювання, $t_{\text{кон. тнорм.}} = 0,35$ хв.

$$t_{\text{конт.}} = 0,35 \cdot 0,3 \cdot 1 = 0,1 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,33 + 0,4 + 0,1 = 0,83 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.38):

$$t_{\text{оп}} = 0,36 + 0,83 = 1,19 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.39):

де $\alpha = 10\%$ – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби [9].

$$t_{\text{дод}} = 1,19 \cdot 0,1 = 0,12 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.40):

$$t_{\text{шт}} = 1,19 + 0,12 = 1,31 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.41):

де $t_{\text{п.з1}}$ – час на налагодження верстата, $t_{\text{п.з1}} = 12$ хв [9];

$t_{\text{п.з2}}$ – підготовчо – заклучний час на додаткові роботи, $t_{\text{п.з2}} = 18$ хв [9];

$$t_{\text{пз}} = 12 + 18 = 30 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.42):

$$t_{\text{шт-к}} = 1,31 + \frac{30}{72} = 1,73 \text{ хв}$$

1.7.3 Технічне нормування фрезерної операції 060

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.36):

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{вст}} = 0,30$ хв [9];

$t_{\text{пер}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{пер}} = 0,17$ хв [9];

$t_{\text{контр}}$ – час контролю оброблених поверхонь, $t_{\text{контр}} = 0,2$ хв [9];

K – коефіцієнт періодичності перевірки, $K = 0,3$;

i – кількість вимірювань, $i = 3$;

$t_{\text{кон. тнорм.}}$ – табличне значення одного вимірювання, $t_{\text{кон. тнорм.}} = 0,35$ хв.

$$t_{\text{конт.}} = 0,35 \cdot 0,3 \cdot 3 = 0,31 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,30 + 0,17 + 0,31 = 0,78 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.38):

$$t_{\text{оп}} = 4,42 + 0,78 = 5,2 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.39):

де $\alpha = 9\%$ – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби [9].

$$t_{\text{дод}} = 5,2 \cdot 0,09 = 0,5 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.40):

$$t_{\text{шт}} = 5,2 + 0,5 = 5,7 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.41):

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{пз1} = 12$ хв [9];
 $t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, що не увійшли в комплекс, $t_{пз2} = 7$ хв [9];
 $t_{пз3}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{пз3} = 2$ хв [9].

$$t_{пз} = 12 + 7 + 2 = 21 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.42):

$$t_{шт-к} = 5,7 + \frac{21}{72} = 6 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_0 , хв	$t_{доп}$, хв	$t_{доп}$, хв	$t_{шт}$, хв	$t_{пз}$, хв	$t_{шт-к}$, хв
015 Фрезерно-центрувальна	0,23	1,72	0,20	2,24	26	2,60
020 Токарна з ЧПК	18,5	0,88	1,94	21,32	27	21,69
025 Токарна з ЧПК	16,1	0,88	1,70	18,68	27	19,05
030 Токарна з ЧПК	5,3	0,88	0,62	6,80	27	7,17
035 Токарна з ЧПК	5,2	0,88	0,61	6,69	27	7,06
040 Свердлильна	2,5	0,8	0,33	3,63	18	3,88
045 Свердлильна	2,5	0,8	0,33	3,63	18	3,88
050 Фрезерна	3,6	0,78	0,44	4,82	21	5,11
055 Фрезерна	4,5	0,78	0,53	5,81	21	6,10
060 Фрезерна	4,42	0,78	0,50	5,70	21	6,00
085 Круглошліфувальна	0,36	0,83	0,12	1,31	30	1,73
090 Круглошліфувальна	2,5	0,83	0,33	3,66	30	4,08
095 Круглошліфувальна	3,8	0,83	0,46	5,09	30	5,51
100 Круглошліфувальна	0,4	0,83	0,12	1,35	30	1,77

1.8 Розробка керуючої програми на фрезерну операцію з ЧПК

Для фрезерування шпонкового пазу на фрезерному верстаті з ЧПК VF-4 розробимо керуючу програму в програмному продукті NX CAM. Спочатку

створюємо 3D-модель деталі до фрезерування пазу (рис. 1.8) та після його фрезерування (рис. 1.9).

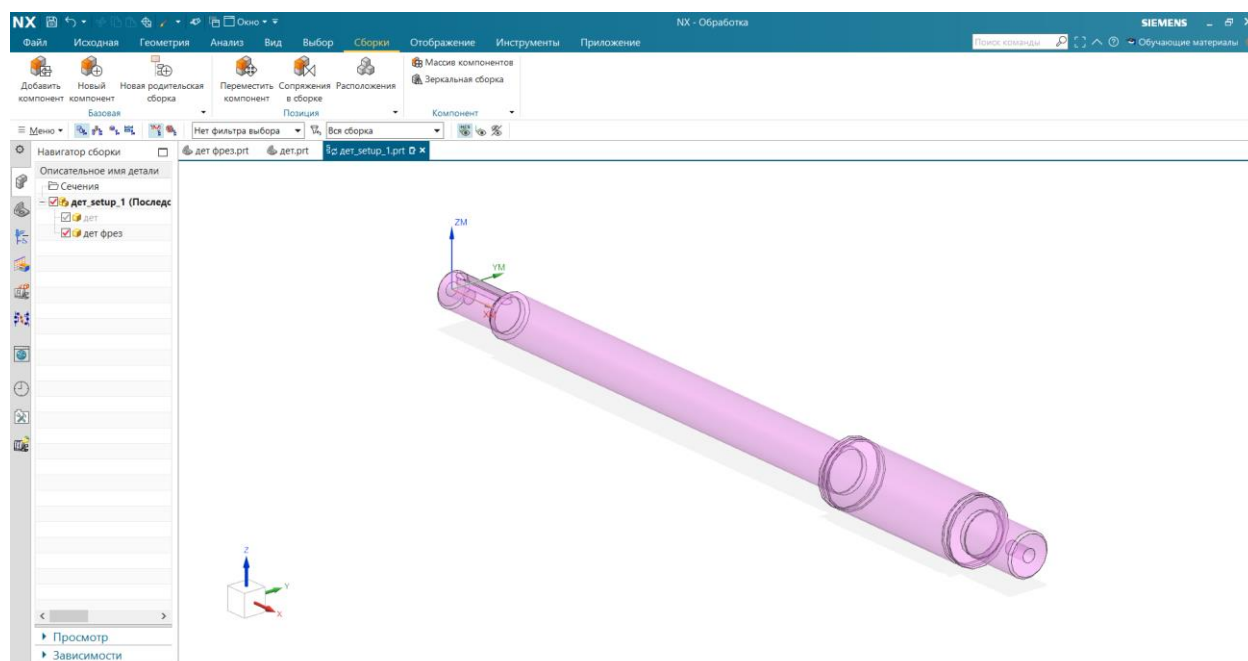


Рисунок 1.8 – Деталь до фрезерування пазу

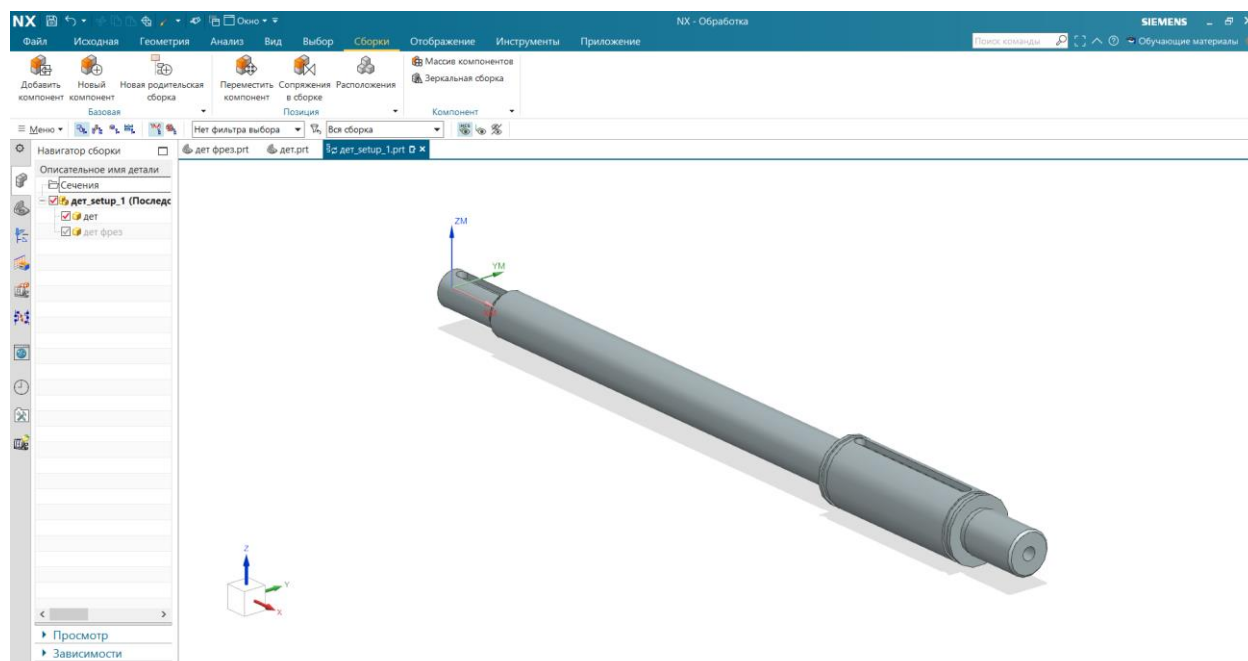


Рисунок 1.9 – Деталь після фрезерування пазу

Створюємо шпонкову фрезу діаметром 5 мм (рис. 1.10) для фрезерування шпонкового пазу.

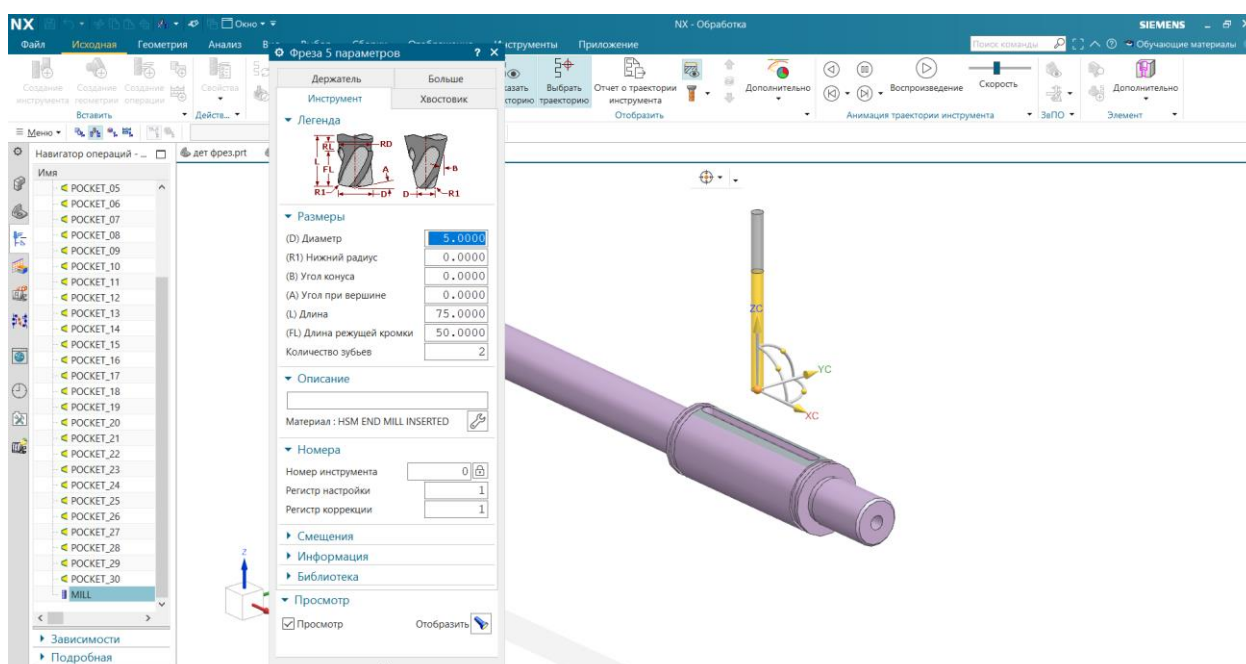


Рисунок 1.10 – Створення фрези

Визначаємо положення системи координат деталі при фрезеруванні шпонкового пазу (рис. 1.11).

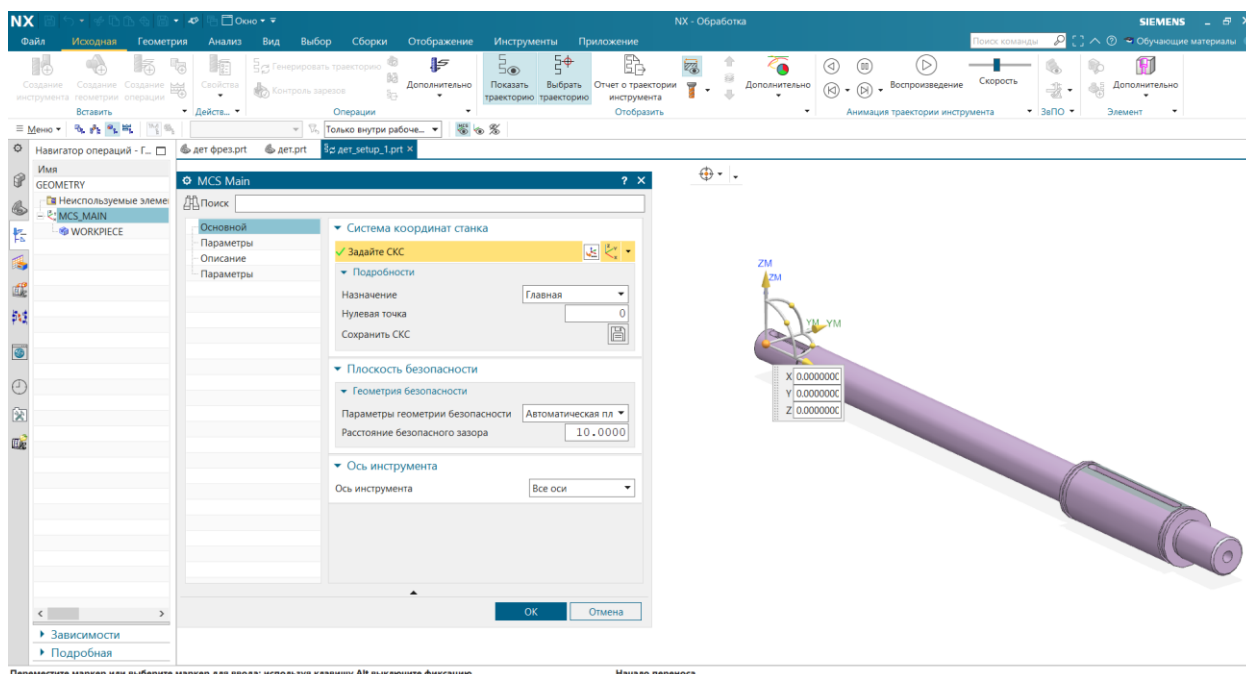


Рисунок 1.11 – Системи координат деталі

Визначаємо в програмному забезпеченні моделі деталі до і після фрезерування шпонкового пазу (рис. 1.12).

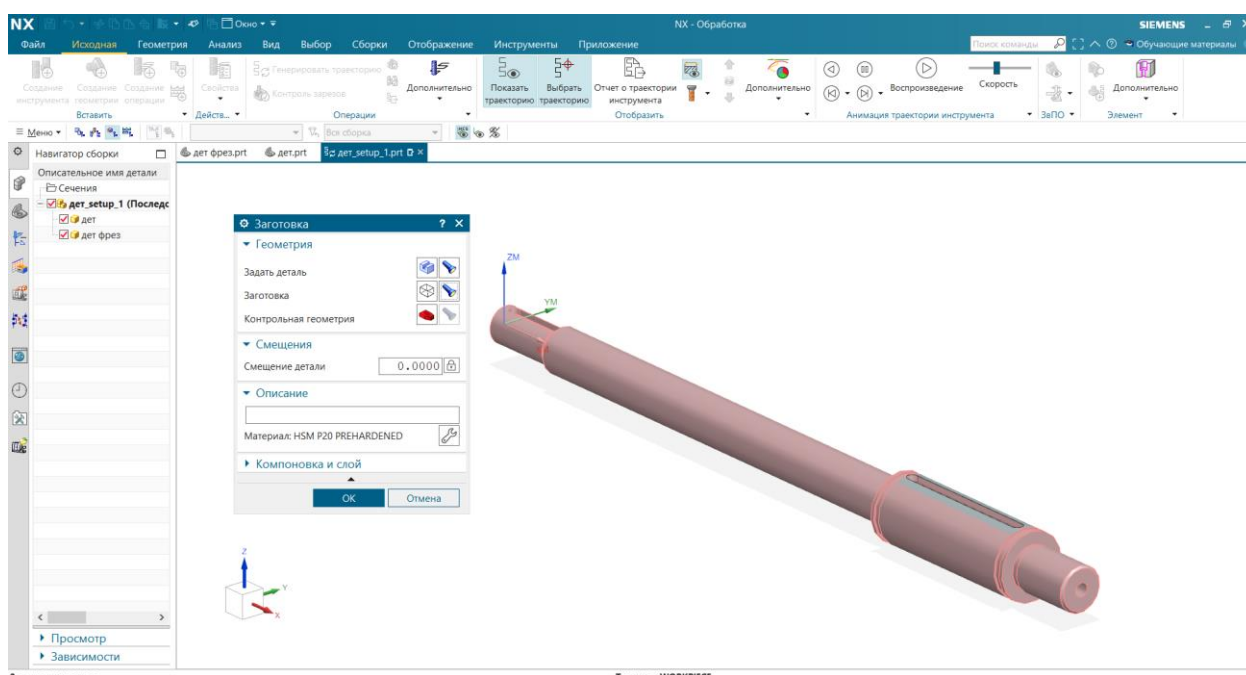


Рисунок 1.12 – Визначення моделей у програмі

Створюємо операцію для фрезерування шпонкового пазу (рис. 1.13).

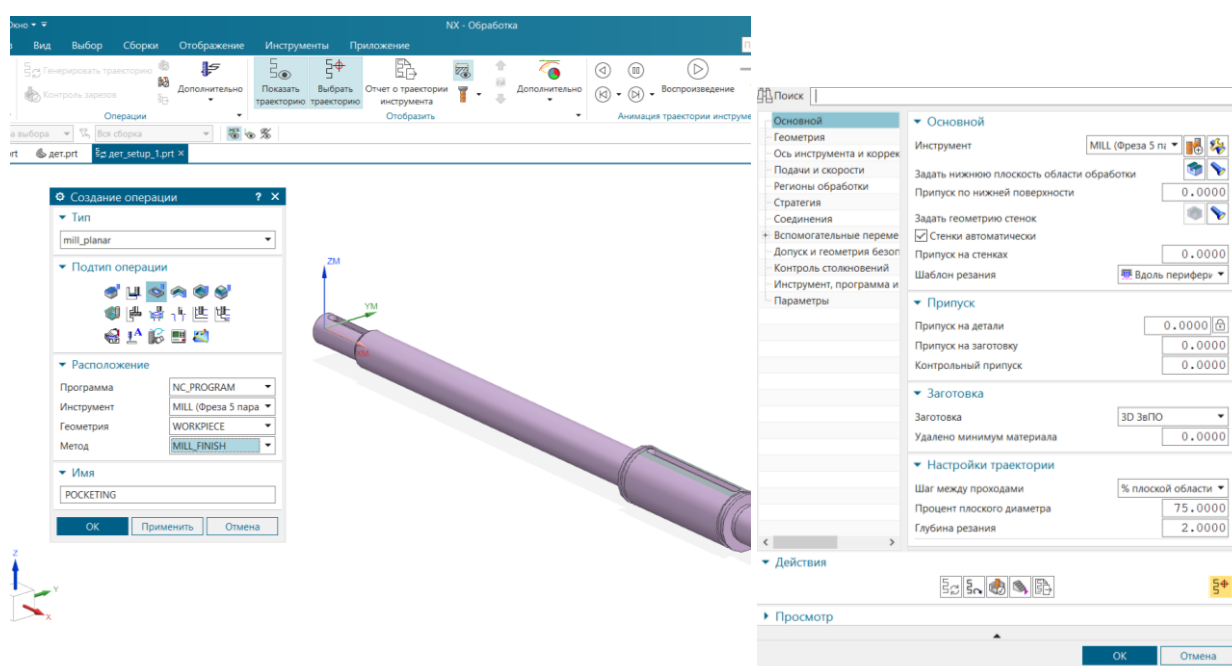


Рисунок 1.13 – Створення операції

Після введення в налаштуваннях всіх необхідних параметрів обробки генеруємо траєкторію (рис. 1.14).

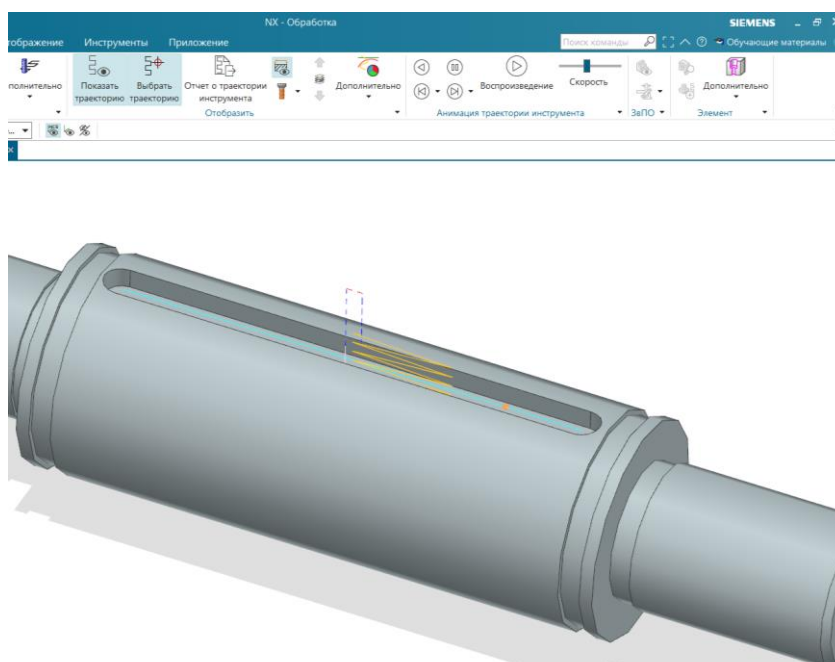


Рисунок 1.14 – Траекторія фрезерування пазу

Після отримання траєкторії фрезерування перевіряємо обробку в дії (рис. 1.15).

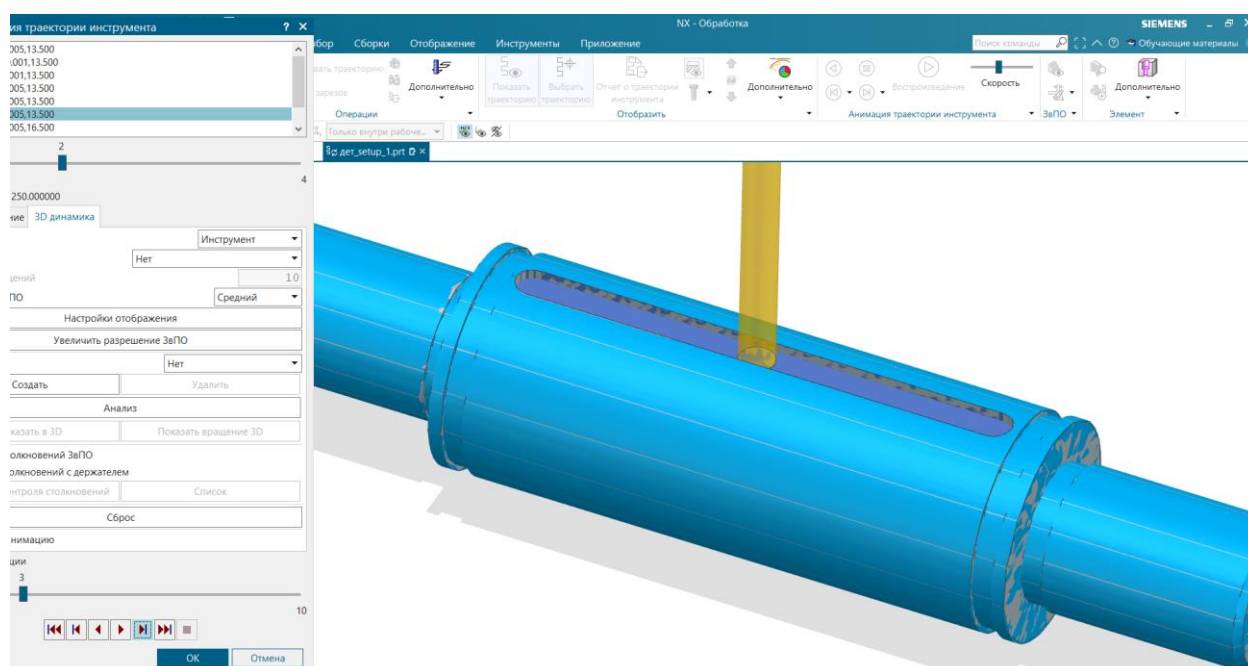


Рисунок 1.15 – Перевірка фрезерування

Перевіривши правильність обробки генеруємо керуючу програму в G-кодах (рис.1.16).

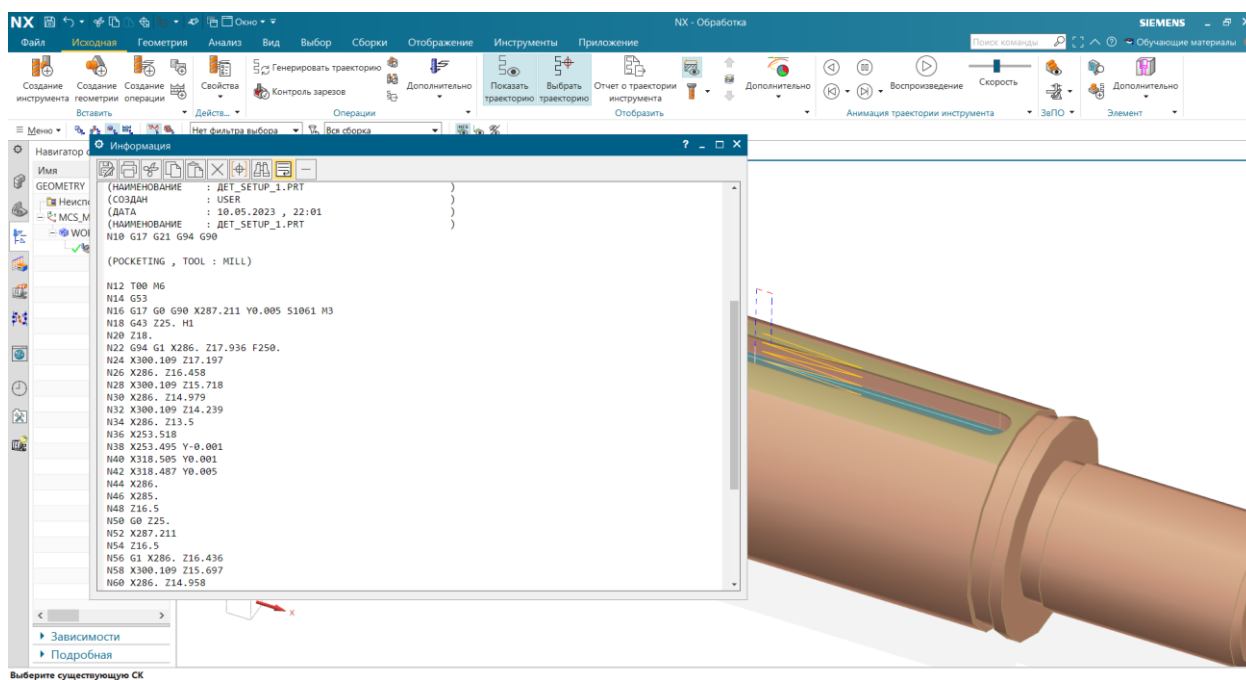


Рисунок 1.16 – Керуюча програма

Результат розробки фрезерування шпонкового пазу в модулі NX CAM наведено на плакаті НУЗП 715004.011.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування фрезерного пристосування

2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування

Робоче пристосовування (рис. 2.1) призначене для фрезерування шпонкового пазу в валу ступінчастому. Деталь, що обробляється, встановлюється на призми 2, 12. В корпусі пристосування встановлений гідроциліндр. При русі вліво поршень 3 за допомогою штока 4 тисне на клин 8, який у свою чергу рухає затискачі 6. Находячи на оброблювану деталь, затискачі 6 скосом фіксують її.

Після закінчення обробки шток 4 гідроциліндра переміщається праворуч і рухає клин 8, який, за допомогою пружини 9, переміщає затискачі 6 і звільняє оброблену деталь. Для налаштування фрези використовується установ.

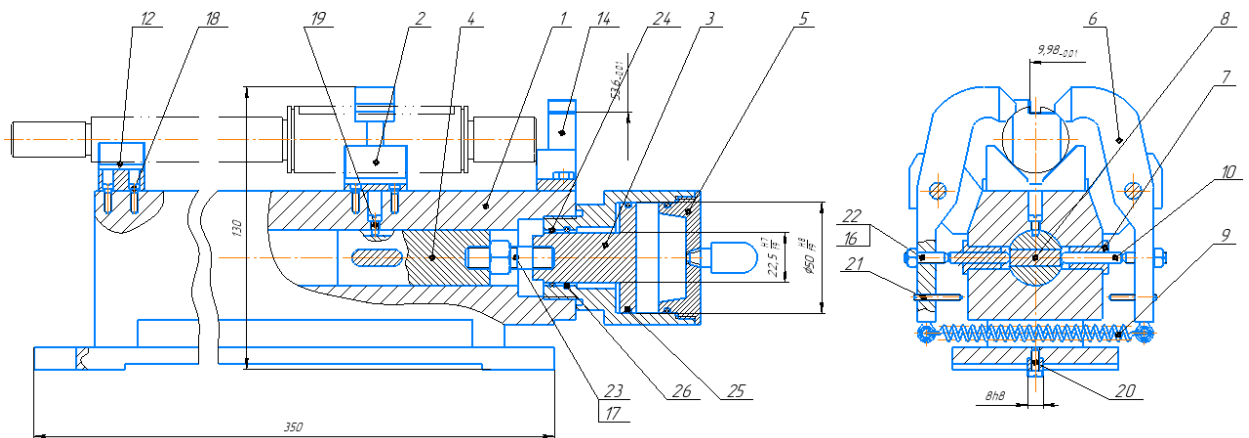


Рисунок 2.1 – Конструкція пристосування

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.

Похибка встановлення [10] 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 $\varnothing 34,5^{+0,1}$ (рис. 2.2).

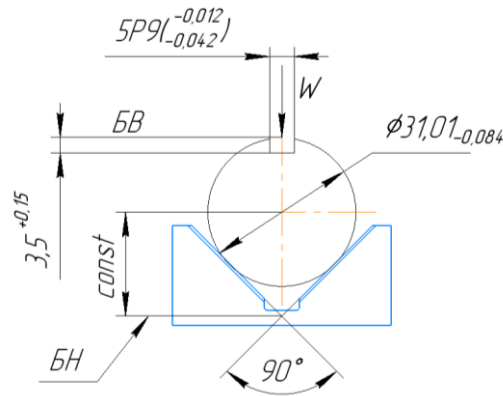


Рисунок 2.2 – Схема установки

Похибка базування [10] розраховується за формулою:

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

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

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

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

Похибку закріплення визначаємо залежно від напрямку сили закріплення. Так як напрямок розміру обробки та сили співпадають, то похибка закріплення дорівнює:

$$\varepsilon_3 = 0,04 \cdot \sin 45 = 0,03 \text{ мм} \quad (2.2)$$

Похибка встановлення згідно формули (2.1):

$$S_{\text{cp}} = S - \frac{TS}{2} = 3 - \frac{0,006}{2} = 2,997 \text{ мм}; \quad (2.12)$$

$$H_{\text{уст}} = B_{1\text{cp}} + B_{2\text{cp}} - S_{\text{cp}} = 12,06 + 21,9 - 2,997 = 30,96 \text{ мм}. \quad (2.13)$$

Допуск установу [10] визначаємо згідно формули:

$$TH_{\text{уст}} \leq TA - (K_1 \cdot \varepsilon_{\text{баз}} + \varepsilon_{\text{зак}} + K_2 \cdot \omega) \quad (2.14)$$

де TA – допуск на розмір обробки;

K_1 – коефіцієнт, що враховує реальну похибку базування;

K_2 – коефіцієнт, що враховує частку середньої економічної точності обробки та який залежить від конструкції пристосування;

$\omega = 0,016 \text{ мм}$ – середня економічна точність обробки.

$$TH_{\text{уст}} \leq 0,15 - (0,8 \cdot 0,059 + 0,035 + 0,6 \cdot 0,016) = 0,02 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$TH = 0,02 \leq \left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{3}\right) \cdot TA = \frac{1}{3} \cdot 0,15 = 0,05 \text{ мм} \quad (2.15)$$

Виконавчий розмір установка:

$$H = H_{\text{уст}} + a = 30,96 + 5 = 35,96 \text{ мм} \quad (2.16)$$

де $a=5 \text{ мм}$ – відстань до основи призми (знаходиться графічно).

$$\frac{B_{\text{cp}}}{2} = \frac{\left(B - EJ + \frac{EJ - ES}{2}\right)}{2} = \frac{\left(5 - 0,042 + \frac{0,042 - 0,012}{2}\right)}{2} = 2,488 \text{ мм} \quad (2.17)$$

$$H_1 = \frac{B_{\text{cp}}}{2} + S_{\text{cp}} = 2,488 + 2,997 = 5,485 \text{ мм} \quad (2.18)$$

де $S = 3_{-0,006}$ – товщина щупа.

B – ширина пазу.

$$TH_{yct} \leq T_{TB} - k \cdot \omega \quad (2.19)$$

де T_{TB} – технічні вимоги до похибки розміщення пазу;

k – коефіцієнт, що враховує реальну похибку базування;

ω – середня економічна точність обробки.

$$TH_{yct} = 0,03 - 0,6 \cdot 0,03 = 0,012 \Rightarrow 0,01 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$TH = 0,01 \leq \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{3}\right) T_{TB} = \frac{1}{3} \cdot 0,03 = 0,01 \text{ мм} \quad (2.20)$$

Виконавчий розмір установка: $H=5,48^{+0,01}$

2.1.3 Розрахунок необхідного сили затиску. Вибір приводу

Визначимо силу різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^{n \cdot z}}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}; \quad (2.21)$$

де $x; y; q; w; n; C_p$ – коефіцієнти [8]

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

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750}\right)^{0,3}; \quad (2.22)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{650}{750}\right)^{0,3} = 0,95$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,022^{0,72} \cdot 5^{1,2}}{5^{0,86} \cdot 1000^0} \cdot 0,95 = 267,3 \text{ Н}$$

Згідно схеми (рис. 2.4) [11] визначимо всі моменти та сили що діють в закріпленні:

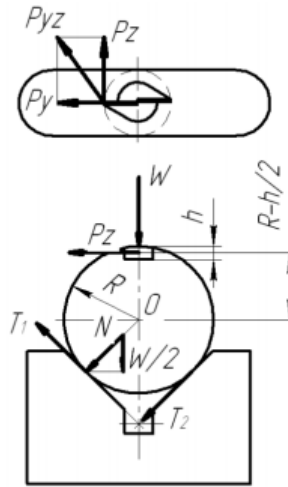


Рисунок 2.4 – Схема до визначення сили закріплення [11]

$$k \sum M_{\text{хакт}} + \sum M_{\text{хпр}} = 0; \quad (2.23)$$

$$k \cdot \gamma \cdot P_{zy} \cdot \left(R - \frac{h}{2}\right) - 2 \cdot T \cdot R = 0; \quad (2.24)$$

$$T = T_1 = T_2; \quad (2.25)$$

$$T = f \cdot N; \quad (2.26)$$

$$N = \frac{W}{2 \sin(\alpha/2)}; \quad (2.27)$$

$$k \cdot \gamma \cdot P_{zy} \cdot \left(R - \frac{h}{2}\right) = f \cdot \frac{W}{\sin(\alpha/2)} \cdot R; \quad (2.28)$$

$$P_{zy} = 1,2 \cdot P_z \quad (2.29)$$

Сила закріплення:

$$W = \frac{1,2 \cdot k \cdot P_z \cdot \left(R - \frac{h}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{f \cdot R}; \quad (2.30)$$

де f – коефіцієнт тертя;

k – коефіцієнт запасу закріплення.

Коефіцієнт запасу закріплення [11]:

$$k=k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (2.31)$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу;

k_1 – коефіцієнт нерівномірності сил різання;

k_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання.

k_3 – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання;

k_4 – коефіцієнт, що враховує мінливість сил затиску;

k_5 – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток;

k_6 – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту.

$$k=1,5 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 3,06$$

Сила закріплення згідно формули (2.30):

$$W = \frac{267,3 \cdot 1,2 \cdot 3,06 \cdot \left(0,0155 - \frac{0,003}{2}\right) \sin(90/2)}{0,15 \cdot 0,0155} = 3931,7 \text{ H}$$

Визначимо силу на штоці, для чого розгляне кінетичну схему пристосування (рис. 2.5) [11]:

$$P = \frac{W}{2 \cos \gamma} = \frac{3931,7}{2 \cos 70} = 5781,9 \text{ H} \quad (2.45)$$

$$\sum M_o = 0; \quad (2.45)$$

$$P \cdot L - P_1 \cdot L_1 + P_{np} \cdot R_1 + F_1 \cdot R + F_2 \cdot h_1 = 0; \quad (2.45)$$

$$F_1 = f(P_1 - P_{np} + P \sin \gamma) = fP_1 - fP_{np} + fP \sin \gamma; \quad (2.45)$$

$$F_2 = fP_1 \quad (2.45)$$

$$P \cdot L - P_1 \cdot L_1 + P_{np} \cdot h + f \cdot P_1 \cdot R - f \cdot P_{np} \cdot R + f \cdot P \cdot \sin \gamma \cdot R + fP_1 \cdot h_1 = 0; \quad (2.45)$$

$$P \cdot (L + f \cdot \sin \gamma \cdot R) + P_{np} \cdot (h - f \cdot R) = P_1 \cdot (L_1 - f \cdot (R - h_1)) \quad (2.45)$$

$$P_1 = \frac{P \cdot (L + f \cdot \sin \gamma \cdot R) + P_{np} \cdot (h - f \cdot R)}{L_1 - f \cdot (R - h_1)} \quad (2.45)$$

$$Q = 2 P_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta); \quad (2.45)$$

$$P_1 = \frac{5781,9 \cdot (0,045 + 0,15 \cdot \sin 70 \cdot 0,004) + 4 \cdot (0,064 - 0,15 \cdot 0,004)}{0,048 - 0,15 \cdot (0,004 - 0,005)} = 5488,4 \text{ H}$$

$$Q = 2 \cdot 5488,4 \cdot \operatorname{tg}(20) = 3995,3 \text{ H}$$

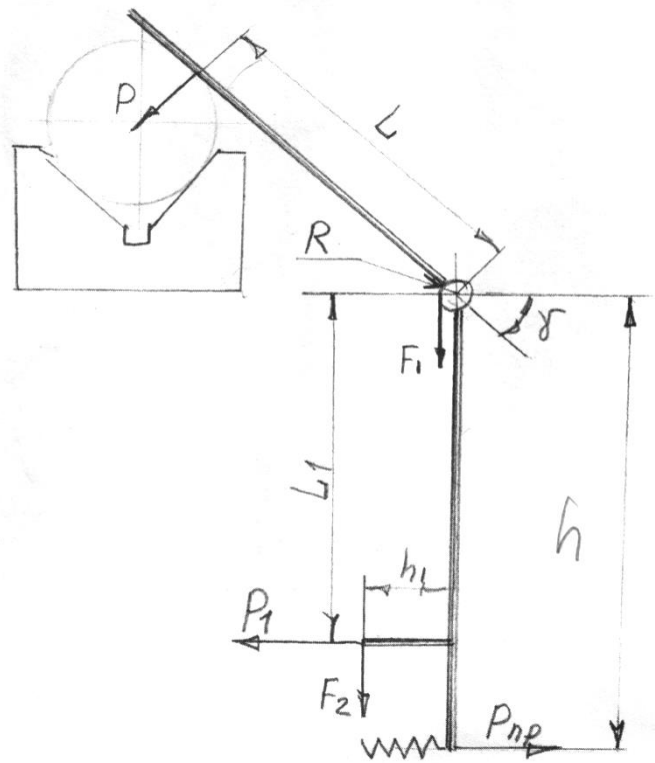


Рисунок 2.5 – Схема пристосування [11]

Мінімальний діаметр штока [11]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 3995,3}{3,14 \cdot 100}} = 10,7 \rightarrow 22 \text{ мм} \quad (2.45)$$

де α – коефіцієнт затягування;

$[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг для сталі 40Х.

Діаметр циліндра [11]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{p \cdot \eta \cdot \pi} + d^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3995,3}{3,14 \cdot 8 \cdot 0,85} + 22^2} = 35 \rightarrow 50 \text{ мм} \quad (2.44)$$

де p – тиск в гідросистемі;

η – ККД, що враховує втрати на тертя.

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування (рис. 2.4) призначено для вимірювання радіального биття зовнішніх циліндричних поверхонь. Воно являє собою корпус 5 з встановленими на ньому центрами 1 і 2, в які встановлюється деталь. Вимірювання биття проводиться шляхом обертання деталі по індикаторному годиннику, який кріпиться на штанзі 3. Штанга 3 розташована збоку від деталі і закріплена на корпусі 5 пристосування трьома болтами 7. Вона також має можливість повороту навколо своєї осі на 360 градусів. А також є можливість перезакріплення по висоті штанги 3 з індикаторним годинником на необхідний діаметр. Дані особливості пристрою дозволяють легко здійснювати його переналагодження.

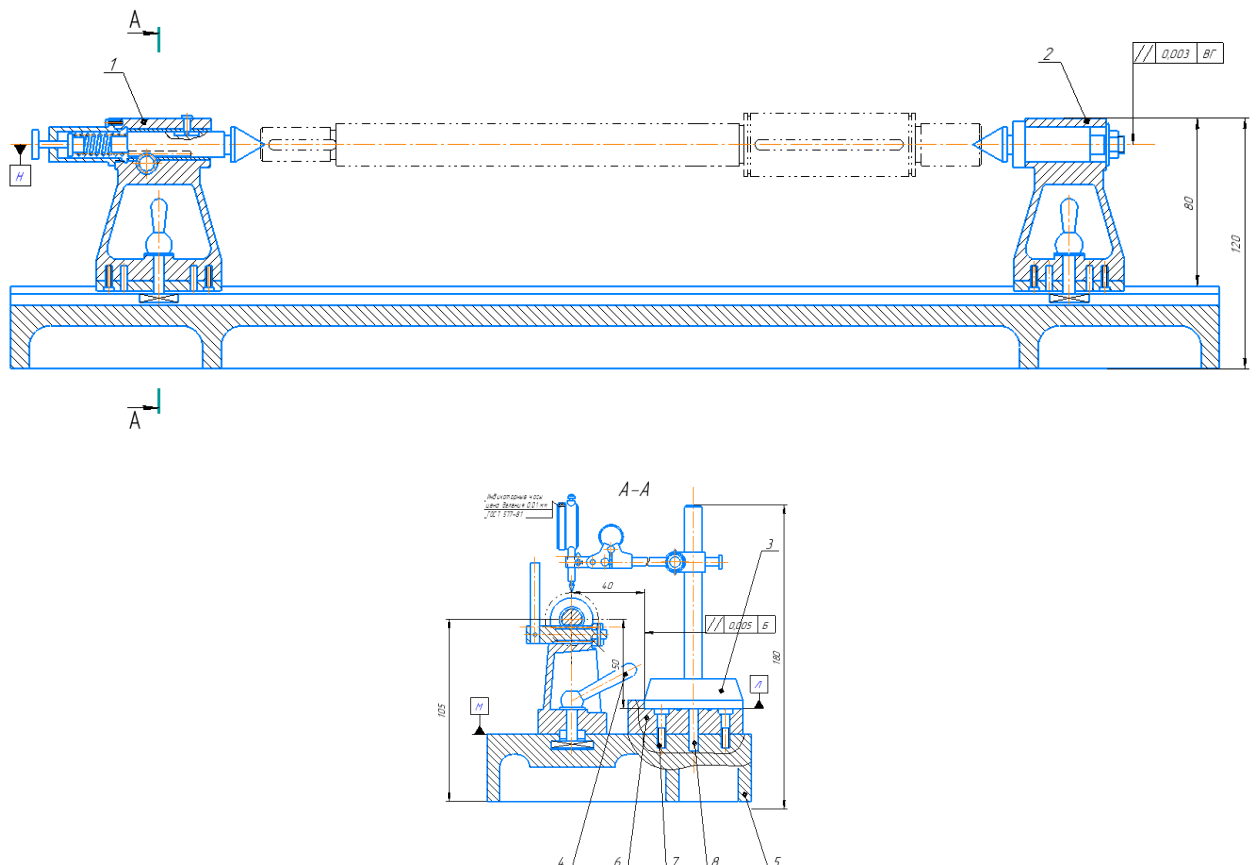


Рисунок 2.4 – Контрольне пристосування

2.3 Розрахунок на міцність деталі

Перевірку міцності валу ступінчастого виконаємо за допомогою програмного забезпечення NX CAE. Оцінку міцності деталі виконаємо на основі отриманих в цій програмі максимальних навантажень та зображення місць з небезпечним перерізом. По отриманим значенням граничних навантажень визначено фактичний коефіцієнт міцності. Довідковий коефіцієнт запасу міцності залежить від ступеня відповідальності конструкції та умов її експлуатації, визначається за наступною формулою:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\max}} = 1,5 \dots 3 \quad (2.16)$$

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

$\sigma_{\max}$ – максимальне напруження, яке виникає в деталі.

В редукторі вал ступінчастий витримує крутильне навантаження за рахунок передачі крутного моменту через шпонкові з'єднання. Для валу ступінчастого небезпечними місцями в конструкції є шпонкові пази та перехід з одного діаметру на інший.

Для розрахунку напружено-деформованого стану спочатку було створимо 3D-модель валу ступінчастого (рис. 2.5).

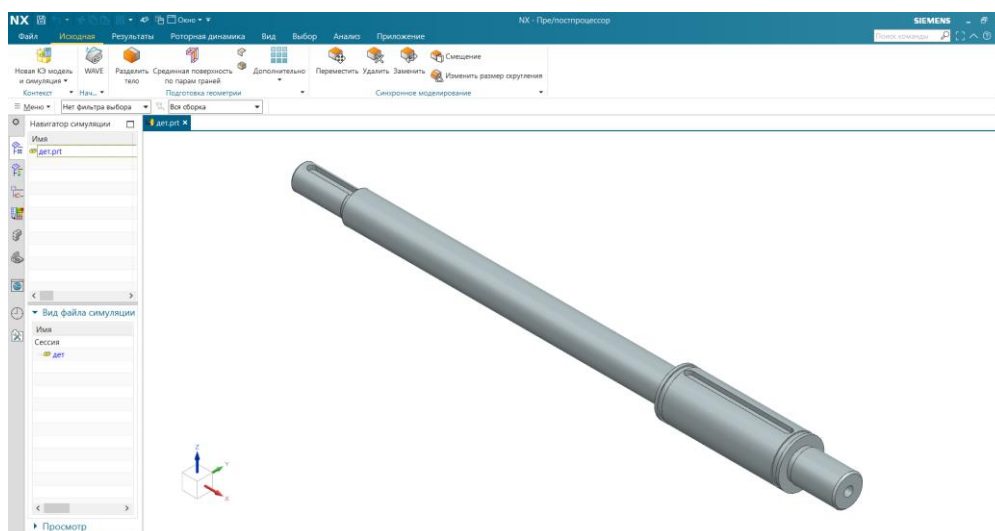


Рисунок 2.5 – 3D-модель

Далі модель валу ступінчастого було розбито на кінцеві елементи (рис. 2.6).

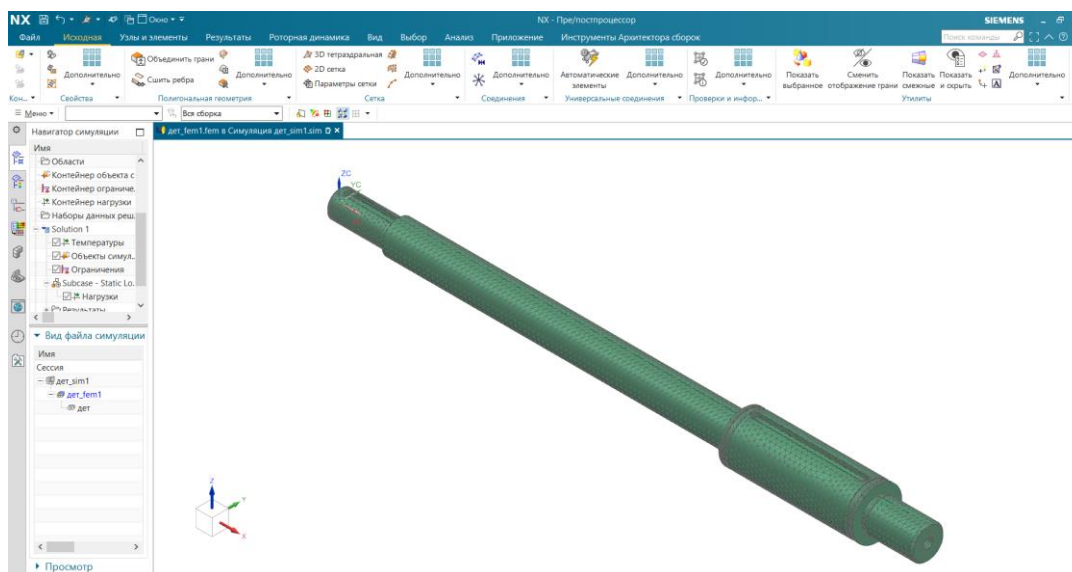


Рисунок 2.6 – Модель валу, розбита на кінцеві елементи

Далі на шийки з шпонковими пазами прикладемо крутильні моменти рівні 2000 Нм та крайню шийку діаметром 20 мм заневолимо у підшипнику (рис. 2.7).

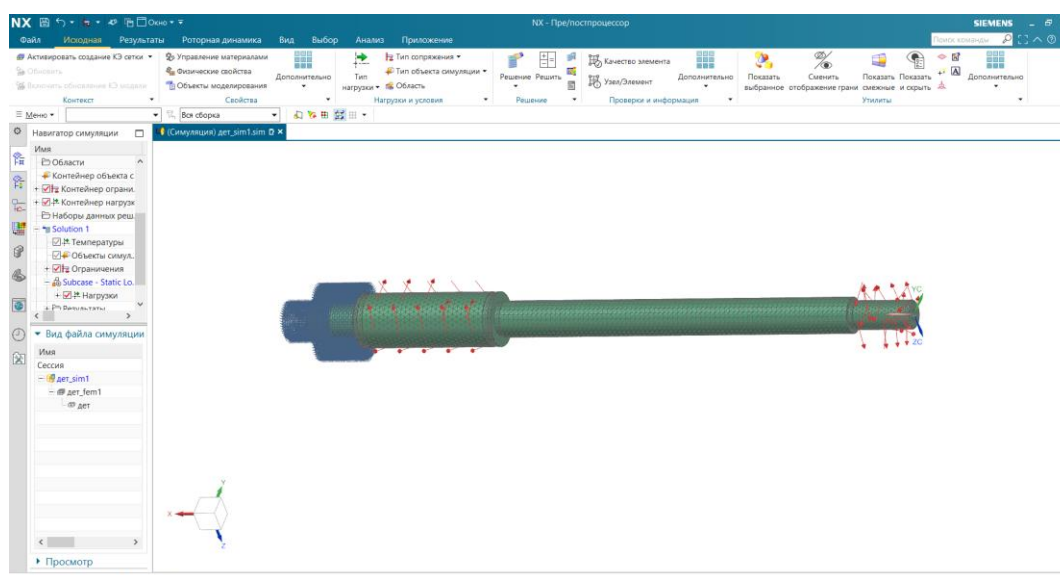


Рисунок 2.7 – Модель валу з навантаженнями

Далі виконаємо розрахунок валу на міцність. Після закінчення програмного розрахунку отримано графічне зображення розподілу напружень (рис. 2.8).

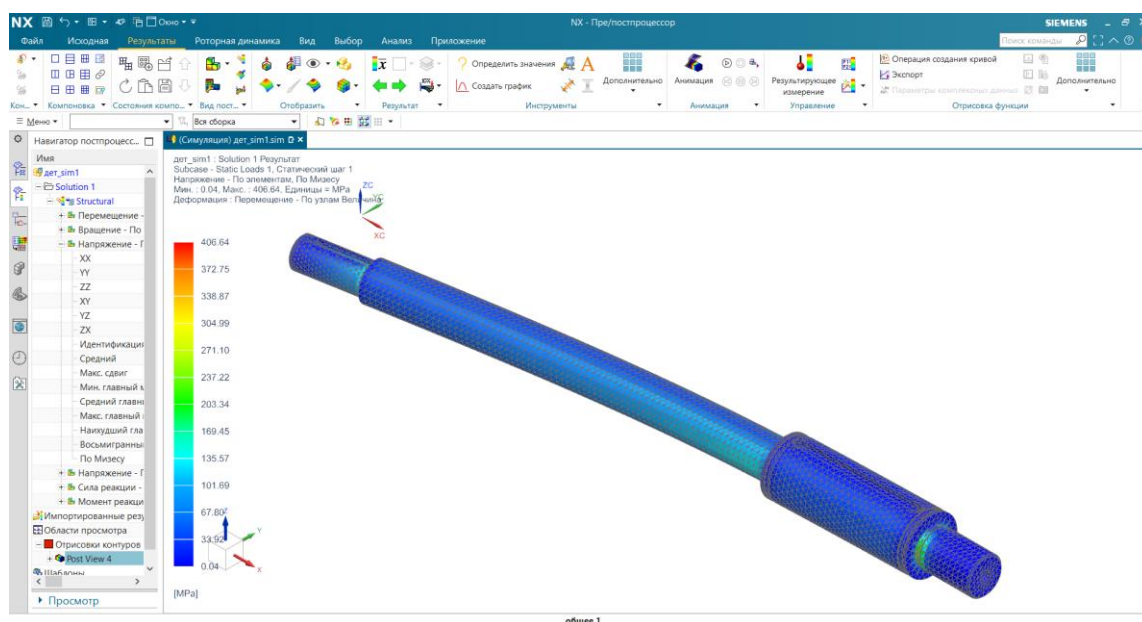


Рисунок 2.8 – Розподіл напружень

Максимальне напруження 406,64 МПа знаходиться у куті сходинок переходу між діаметром 30 мм та 20 мм.

Згідно формули (2.39) розрахуємо коефіцієнт запасу міцності:

$$k = \frac{785}{406,64} = 1,9$$

По результатам розрахунку отримано значення коефіцієнту міцності 1,9, що дає змогу зробити висновок, що конструкцію деталі можна вважати прийнятими.

3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

Річна верстатоемність розрахуємо для кожної операції за формулою:

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

де $N=6000$ шт – річна програма випуску.]

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

Розраховуємо кількість верстатів, необхідних для виконання операцій за формулою:

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

де $F_{г \cdot m}=4000$ 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:

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

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

Визначаємо середній коефіцієнт завантаження верстатів за формулою:

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

$$\overline{K_3} = \frac{2,39}{14} = 0,17$$

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

Параметри	Номер операції													
	015	020	025	030	035	040	045	050	055	060	085	090	095	100
	Модель верстата													
	HG-1500	CT 16A25	CT 16A25	CT 16A25	CT 16A25	2M135	2M135	VF-4	VF-4	VF-4	3A151	3A151	3A151	3A151
$t_{\text{в-к}}$	2,60	21,69	19,05	7,17	7,06	3,88	3,88	5,11	6,10	6,00	1,73	4,08	5,51	1,77
T	15600	130140	114300	43020	42360	23280	23280	30660	36600	36000	10380	24480	33060	10620
S_p	0,07	0,54	0,48	0,18	0,18	0,10	0,10	0,13	0,15	0,15	0,04	0,10	0,14	0,04
S_n	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
K_s	0,07	0,54	0,48	0,18	0,18	0,10	0,10	0,13	0,15	0,15	0,04	0,10	0,14	0,04

Розраховуємо кількість деталей-операцій, що виконуються на технологічній лінії обробки валу ступінчастого: $O=14$ деталей-операцій.

Призначаємо багатOVERстатну обробку на токарній групі верстатів з ЧПК (операції 020...035) на фрезерній групі верстатів з ЧПК (операції 050...060). Максимальне значення основного часу буде на операції 020 – 18,5 хв, а на операції 055 – 4,5 хв.

Розраховуємо 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 багатOVERстатну зону обслуговування, хв;

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

$$m_{\text{сток}} = \frac{18,5 + 0,88}{1,9 + 0,15} = 9,45$$

$$m_{\text{сфрез}} = \frac{4,5 + 0,78}{0,5 + 0,15} = 8,12$$

Число операторів у зоні обслуговування розраховуємо за формулою:

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

$$R_{\text{ток}} = \frac{4}{9,45} = 0,42$$

$$R_{\text{фрез}} = \frac{3}{8,12} = 0,36$$

Згідно розрахунків для роботи на чотирьох токарних верстатах призначаємо одного оператора та на трьох фрезених верстатах призначаємо одного оператора. Таким чином, для обслуговування $O=14$ верстатів необхідно $M=9$ робочих операторів.

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції за формулою:

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

$$K_{30} = \frac{14}{9} = 1,55$$

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

При розробці технологічного процесу виготовлення деталі «Вал ступінчастий» було зроблено розрахунок економічної ефективності згідно рекомендацій [12]. В якому порівнюємо обробку на універсальних токарно-гвинторізних верстатах з обробкою на токарних верстатах з ЧПК згідно таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

Розрахункові параметри	Базова технологія						Нова технологія			
Модель верстата	1К62	1К62	1К62	1К62	1К62	1К62	СТ16А25	СТ16А25	СТ16А25	СТ16А25
Штучний час $t_{шт}$, хв	30	25	15	12	10	8	21,32	18,68	6,8	6,69
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	132800						650000			
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань N_a , %	14	14	14	14	14	14	14,2	14,2	14,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів N , кВт	10	10	10	10	10	10	15	15	15	15

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників по формулі:

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

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

$t_{шт-иі}$ – норма штучного часу виконання і-ої операції, год;

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

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

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

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

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	30	76,6	1,2	1,4	64,34
015	Токарна	25	76,6	1,2	1,4	53,62
020	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
025	Токарна	12	76,6	1,2	1,4	25,74
030	Токарна	10	76,6	1,2	1,4	21,45
035	Токарна	8	76,6	1,2	1,4	17,16
					Σ	214,48

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	21,3	57,5	1,2	1,4	34,29
025	Токарна	18,68	57,5	1,2	1,4	30,07
030	Токарна	6,8	57,5	1,2	1,4	10,95
035	Токарна	6,69	57,5	1,2	1,4	10,77
					Σ	86,09

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою:

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

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

$Ч_n$ – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

$\Phi_p = 2028$ год – річний фонд часу одного.

$m_{\text{оп}}$ – 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 , хв	$C_{\text{тар.н}}$, грн	$Ч_n$	$k_{\text{доп}}$	$k_{\text{соц}}$	$З_o$, грн
020	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	24,57
025	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	24,57
030	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	24,57
035	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	24,57
						Σ	98,29

Визначимо амортизаційні відрахування на обладнання за формулою:

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

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:

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

де $Ц_{\text{ін}ij}$ – 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 $t_{маш}/t_{шт}$;

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	30	132800	14	4015	2,32
015	Токарна	25	132800	14	4015	1,93
020	Токарна	15	132800	14	4015	1,16
025	Токарна	12	132800	14	4015	0,93
030	Токарна	10	132800	14	4015	0,77
035	Токарна	8	132800	14	4015	0,62
					Σ	7,72

Таблиця 4.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
020	Токарна	21,3	650000	14,2	4015	8,16
025	Токарна	18,68	650000	14,2	4015	7,16
030	Токарна	6,8	650000	14,2	4015	2,61
035	Токарна	6,69	650000	14,2	4015	2,56
					Σ	20,49

Таблиця 4.7 – Витрати на інструмент за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ц _i грн	п _{ін}	T, хв	п _j	η _{мi}	S _{ін} грн
010	Токарна	30	Різець прохід.	250	2	60	12	0,4	3,85
015	Токарна	25	Різець. прохід.	250	2	60	12	0,4	3,21
020	Токарна	15	Різець. прохід.	250	2	60	12	0,4	1,92
025	Токарна	12	Різець. прохід.	250	2	60	12	0,4	1,54
030	Токарна	10	Різець. канав.	200	1	45	8	0,4	1,98
035	Токарна	8	Різець. канав.	200	1	45	8	0,4	1,58
								Σ	14,07

Таблиця 4.8 – Витрати на інструмент за новою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ц _i грн	п _{ін}	T, хв	п _j	η _{мi}	S _{ін} грн
020	Токарна	21,3	Різець прохід.	350	1	180	5	0,4	2,76
025	Токарна	18,68	Різець прохід.	350	1	180	5	0,4	2,42
030	Токарна	6,8	Різець прохід.	350	1	180	5	0,4	0,39
			Різець канав.	350	1	160	1	0,4	1,66
035	Токарна	6,69	Різець прохід.	350	1	180	5	0,4	0,39
			Різець канав.	350	1	160	1	0,4	1,82
								Σ	9,44

Визначимо витрати на електроенергію за формулою:

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

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

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

η – коефіцієнт корисної дії обладнання;

k_e – коефіцієнт виконання норм часу;

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

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
010	Токарна	30	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	5,42
015	Токарна	25	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,52
020	Токарна	15	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,71
025	Токарна	12	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,17
030	Токарна	10	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,81
035	Токарна	8	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,45
										Σ	18,07

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
020	Токарна	21,3	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	14,20
025	Токарна	18,68	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	12,46
030	Токарна	6,8	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	4,53
035	Токарна	6,69	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	4,46
										Σ	35,66

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою:

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

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

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

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	132800	0,02	0,64	0,28
015	Токарна	132800	0,02	0,64	0,28
020	Токарна	132800	0,02	0,64	0,28
025	Токарна	132800	0,02	0,64	0,28
030	Токарна	132800	0,02	0,64	0,28
035	Токарна	132800	0,02	0,64	0,28
				Σ	1,7

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	650000	0,02	0,78	1,69
025	Токарна	650000	0,02	0,78	1,69
030	Токарна	650000	0,02	0,78	1,69
035	Токарна	650000	0,02	0,78	1,69
				Σ	6,76

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули:

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

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

$C_{гн}$ – 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	$t_{ин}$, хв	K_T	T_m	m	S_{ii} , грн
020	Токарна	Різець прохід.	19,3	50,9	6	4	0,9	180	5	0,09
025	Токарна	Різець прохід.	15,6	50,9	6	4	0,9	180	5	0,07
030	Токарна	Різець прохід.	3,4	50,9	6	4	0,9	180	5	0,01
		Різець канав.	2,7	50,9	6	4	0,9	160	1	0,07
035	Токарна	Різець прохід.	3,2	50,9	6	4	0,9	180	5	0,01
		Різець канав.	2,5	50,9	6	5	0,9	160	1	0,08
020	Токарна	Різець прохід.	21,3	50,9	6	5	0,9	180	5	0,12
									Σ	0,45

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою:

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

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

$$I_{n1} = 214,48 \cdot 0,2 = 42,89 \text{ грн}$$

$$I_{n2} = 86,09 \cdot 0,2 = 17,22 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою:

$$C_T = Z_o + Z_n + A_{\text{від}} + S_{\text{ін}} + S_e + S_p + S_n + I_n \quad (4.9)$$

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	Вдосконалений
Заробітна плата верстатника	Z_o	214,48	86,09
Заробітна плата наладчика	Z_n		98,29
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{\text{від}}$	7,72	20,49
Витрати на різальний інструмент	$S_{\text{ін}}$	14,07	9,44
Витрати на електроенергію	S_e	18,07	35,66
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	1,7	6,76
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_n		0,45
Витрати інші	I_n	42,89	17,22
Технологічна собівартість	C_T	298,93	274,4

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою:

$$E_{\text{ур}} = (C_{T_1} - C_{T_2}) \cdot N \quad (4.10)$$

$$E_{\text{ур}} = (298,93 - 274,4) \cdot 6000 = 147180 \text{ грн}$$

Згідно проведених розрахунків оцінки очікуваної економічної ефективності впровадження вдосконаленої технологічної обробки деталі «Вал ступінчастий» з заміною обробки на універсальних верстатах обробленням на верстатах з ЧПК дає змогу зекономити 147180 грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Захист від підвищеного рівня шуму

Шум – це найпоширеніше явище на промислових підприємствах [13]. На жаль, проблему підвищених рівнів шуму з виробництва не завжди звертають увагу, оскільки негативний ефект, викликаний шумом, є очевидним. Робітники, у яких розвивається втрата слуху, можуть не підозрювати про це доти, поки проблема не набуває характеру незворотного фізичного недоліку. На відміну від різких травмуючих впливів високих рівнів шуму (наприклад, вибуху), втрата слуху внаслідок дії виробничого шуму відбувається поступово.

Залежно від характеру спектра виділяють такі шуми:

- 1) широкосмугові (більше однієї октави);
- 2) тональні;
- 3) постійні (рівень звуку за восьмигодинний робочий день змінюється у часі не більше ніж на 5 дБ);
- 4) непостійні (рівень звуку за восьмигодинний робочий день змінюється у часі щонайменше 5 дБ).

У свою чергу непостійний шум буває:

- 1) вагається;
- 2) уривчастим;
- 3) імпульсивним.

Загальноприйняте, що щоденний середній шум менше 80 дБ не становить загрози здоров'ю людей. Рівні шумів понад 90 дБ є шкідливими. У той же час, люди, схильні до впливу шумів в межах від 85 до 90 дБ, повинні перебувати під наглядом фахівців, оскільки при довгостроковій роботі в таких умовах у найбільш чутливих до шумів людей розвивається погіршення слуху.

Все починається з тимчасової зміни порога чутності, який згодом стає постійним. Цей процес проходить швидше, якщо індивідуальний поріг

чутності не відновлено повною мірою до наступного шуму. Індивідуальна чутливість людей до впливу шумів може відрізнятися.

Підвищені шуми на робочих місцях можуть негативно впливати на здатність робітників виконувати свої виробничі завдання. Загалом, людина здатна нормально виконувати будь-які прості, рутинні завдання навіть за таких рівнів шуму, як 130...140 дБ (вплив вищих рівнів шумів може викликати порушення у роботі опорно-рухового апарату зору людини). Що ж до виконання складніших завдань, які потребують концентрації та уваги персоналу, то шум інтенсивністю понад 95 дБ може бути причиною виробничого браку, травм, виходу з експлуатації устаткування тощо. А виконання кваліфікованої роботи високої точності та концентрації може бути проблематичним навіть на рівні шумів 80...85 дБ. Переривчасті імпульсні шуми є більш дезорганізуючими, ніж постійні шуми. Шуми дратують меншою мірою, якщо людина здатна контролювати походження шумів.

Негативний вплив шумів на людину може продовжуватись і після їх припинення. Найчастіше, це виявляється у підвищеній дратівливості та агресивності. Крім того, проведені дослідження показують, що шумні умови праці можуть бути причиною розвитку таких захворювань, як підвищений артеріальний тиск та безсоння. Розвиток серцево-судинних захворювань та виразкової хвороби теж може бути тісно пов'язаний із постійною роботою в умовах галасливого виробництва.

Заходи боротьби з виробничим шумом можна розділити забезпечення колективного захисту всіх співробітників підприємства та індивідуального кожного з працюючих. Пріоритетним напрямом завжди є колективний захист, який може включати такі заходи як, наприклад, своєчасне обслуговування і заміна механізмів, що вийшли з ладу, інкапсуляція шумного обладнання, встановлення шумопоглинаючих екранів. Якщо заходи щодо колективного захисту не дають задовільного результату, необхідно забезпечити індивідуальний захист кожного співробітника підприємства.

Дуже часто навіть за наявності на підприємстві розробленої програми

захисту від підвищених шумів самі робітники не хочуть застосовувати засоби захисту органів слуху. У такій ситуації підприємство має не тільки забезпечити робітників досить ефективними засобами захисту, які викликають мінімальний дискомфорт у роботі, а й провести вступні інструктажі, щоб розповісти робітникам, навіщо необхідно користуватися засобами захисту, як ними користуватися та як їх обслуговувати. Добробут підприємства залежить від наявності висококваліфікованих здорових робітників, здатних виробляти матеріальні цінності з високою продуктивністю праці, і програма захисту робітників від шкідливих факторів, присутніх у виробництві є однією з найважливіших для нормальної довгострокової роботи підприємства.

Одним із простих способів мотивації співробітників є проведення регулярних аудіометричних випробувань та оцінка їх результатів. Порівняння показань поточної аудіограми робітника з його попередніми аудіограмами та/або можливо, з аудіограмами гіпотетичної особи з “нормальним” слухом, подібним до віку та статі, може бути сильним фактором мотивації для застосування засобів захисту органів слуху.

Залежно від параметрів шумів (інтенсивність та частота) та умов роботи необхідно вибрати засоби захисту органів слуху, які максимально підходять для кожного конкретного виду виконуваних робіт.

Протишумні вкладки або беруші рекомендується застосовувати у випадках, коли робітники піддаються впливу підвищених шумів протягом тривалого часу. Протишумні вкладки встановлюються всередину слухових каналів і знижують рівень чутного шуму. Існує два види берушів: одноразового використання та багаторазові. Одноразові беруші, найчастіше, виготовляються зі спіненого поліуретану, який після стиснення відновлює свою первісну форму. Такі протишумні вкладки зазвичай досить м'які і комфортні, їх можна застосовувати для захисту від дратівливих шумів навіть під час сну. Беруші багаторазового використання виготовляються з м'яких полімерів, які можуть зберігати свої характеристики протягом тривалого часу. Часто вони комплектуються тасьмою для можливості носіння на шиї під час

перерв в експлуатації та футляром для гігієнічного зберігання. Багаторазові беруші легко очищаються за допомогою мила та води.

Для частого, але нетривалого перебування у зоні шуму найкраще підходять протишумні навушники. Необхідно звернути увагу саме на нетривалість у використанні навушників – будь-які навіть найкомфортніші протишумні навушники не можна носити тривалий час, оскільки вони чинять певний тиск на голову, а під ізолюючими чашками утворюється піт.

Всі засоби індивідуального захисту від шуму мають свої характеристики, що шумоізолюють. Величина зниження шуму у певних діапазонах частот, що виражається в дБ, для різних засобів захисту може суттєво відрізнятися. Завдання полягає в тому, щоб забезпечити достатній, але не надлишковий захист (рівень шуму всередині захищеного вуха має бути в межах 70...75 дБ). Надмірна шумоізоляція може викликати почуття замкнутості і тривоги, людина може не чути попереджувальні сигнали механізмів, що рухаються.

ВИСНОВКИ

Було спроектовано технологічний процес виготовлення валу ступінчастого. Було економічно обґрунтовано отримання заготовки штампуванням КГШП, розраховано масу заготовки рівну 1,7 кг та коефіцієнт використання матеріалу рівний 0,64. Економічний ефект від впровадження отримання заготовки штампуванням на КГШП становив 34311 грн.

Був розроблений маршрут виготовлення деталі, який містив замість токарної та фрезерної обробки на універсальних верстатах обробку на верстатах з ЧПК. За рахунок цих заходів зменшився загальний час оброблення деталі та собівартість її виготовлення.

Для фрезерування шпонкового пазу на верстаті з ЧПК була розроблена керуюча програма в програмному забезпеченні NX CAM.

Було спроектовано робоче пристосування для фрезерування шпонкового пазу. Для нього було розраховано похибку встановлення, був проведений розрахунок на точність, розраховано зусилля затиску і обраний гідроциліндр. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю радіального биття.

Для виготовлення валу ступінчастого було розроблено планування дільниці. Було визначено кількість технологічного обладнання – 14 верстатів, чисельність основних виробничих робітників – 9 чоловік.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Справочник металлиста. В 5-и т. Т. 2. / [под. ред. А.Г. Рахштадта, В.А. Брострема]. – М. : Машиностроение, 1976, – 720 с.
2. Богуслаев В.О. Основы 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 14.312-74. Единая система технологической подготовки производства. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 11 с.
4. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 57 с.
5. 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.
6. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 652 с.
8. 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.
9. Справочник нормировщика – машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.

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

11. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Технологічна оснастка» для студентів зі спеціальностей: 131 «Прикладна механіка» освітня програма «Технології машинобудування» 133 «Галузеве машинобудування» освітня програма «Металорізальні верстати та системи» усіх форм навчання / укл.: Е.В. Вишнепольський, О.Б. Козлова – Запоріжжя: НУЗП, 2020. – 70 с.

12. 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.

13. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

ДОДАТОК А
Специфікація робочого пристосування

Перв. примен.		Формат	Зона	Паз	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Спроб. №						<u>Документация</u>		
						<u>Складальные кресления</u>		
						<u>Детали</u>		
			1		Корпус	1		
			2		Призма	2		
			3		Поршень	1		
			4		Штак	1		
			5		Кришка	1		
			6		Затискач	2		
			7		Втулка	2		
			8		Клин	1		
			9		Пружина	1		
Подп. и дата			10		Палец	2		
			11		Штуцер	1		
			12		Призма	1		
			13		Штуцер	1		
			14		Установ	1		
Взам. инв. №								
Подп. и дата						<u>Стандартные изделия</u>		
			15		Болт М10х40 ГОСТ 7805-70	2		
Инв. № подл.					НУЗП 293226.011			
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
	Разраб.	Коломиець						
	Пров.	Тришин						
	Н.контр.	Дядя						
	Утв.	Дядя						
Пристосування для фрезерування шпоночного пазу						Лист	Лист	Листов
							1	2
						НУЗП Гр. М-110сп		

ДОДАТОК Б
Технологічні карти

Дубл.			
Взам.			
Підл.			

Розроб.	Коломієць			НУЗП	НУЗП 7154 13.011		М-110сп.1014.1.000001
Перевір.	Тришин						

				Вал ступінчастий			
Н.Контр	Дядя						

А	Цех	Діл	РМ	Опер.	Код, найменування операції	Позначення документа										
Б	Код, найменування устаткування					СМ	Проф.	Р	УП	КП	КОВД	ОН	ОП	Кшт	Тп.з.	Тшт

[illegible]

A 01	005	2170 Заготівельна	107 №001
------	-----	-------------------	----------

[illegible]

А 04 010 5000 Термічна обробка 107 №002

Б 05	344210	Електроніч Н-75	3	19100	5	2	1	10	шт	72	1
------	--------	-----------------	---	-------	---	---	---	----	----	----	---

[illegible]

А 07	015	4269 Фрезерно-центровальная	107 №703
------	-----	-----------------------------	----------

Б 08	381800	Фрезерно-центровальный НГ-1500	1	194	79	4	1	1	1	1	шт	72	1	26	26
------	--------	--------------------------------	---	-----	----	---	---	---	---	---	----	----	---	----	----

[illegible]

1	10	020 4 233 Токрарна з ЧПК	100 №0001
---	----	--------------------------	-----------

[illegible][illegible]

1	13	025	4233 Токмарица з ЧПК	1007 №704
---	----	-----	----------------------	-----------

[illegible][illegible]

А 16 030 4233 Токарна з ЧПК 10П №004

Б	17	381021	Токарний з ЧПК СТ 16A25	1	16045	4	1	1	1	шт	72	1	27	7,17
---	----	--------	-------------------------	---	-------	---	---	---	---	----	----	---	----	------

[illegible]

MA	
----	--

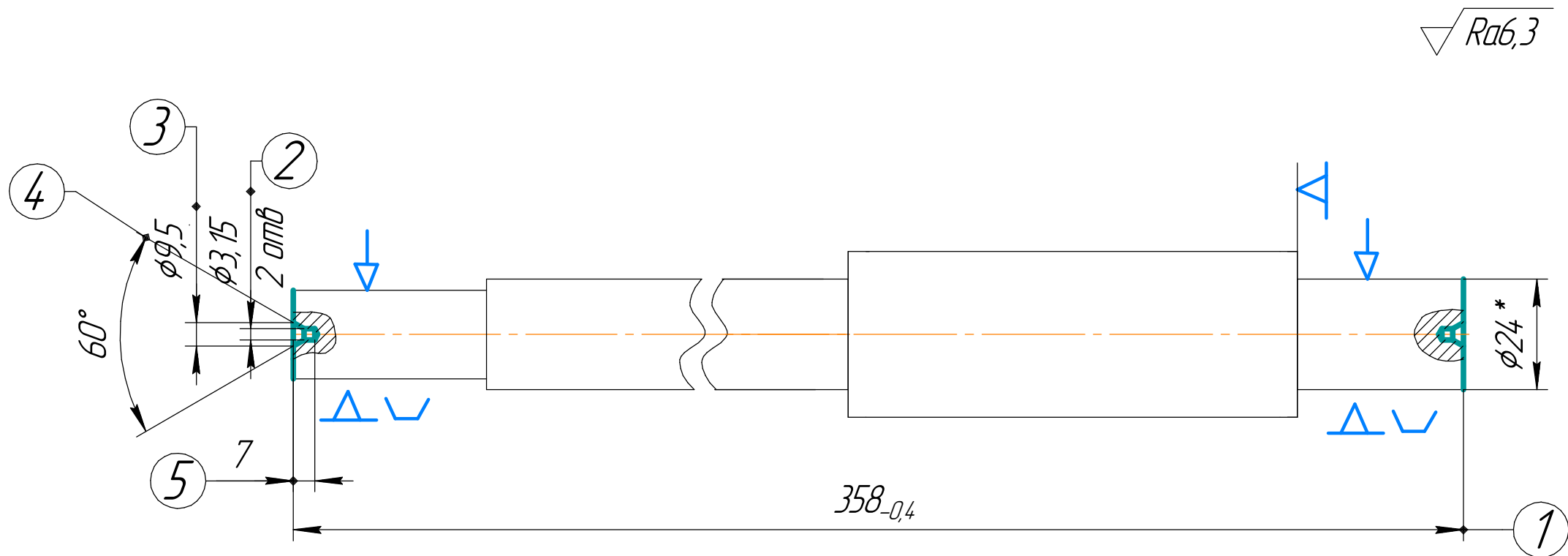
[illegible]

Додл.																			
Взам.																			
Подл.																			
										НУЗП 0214.123011			Листів 4		Лист 4				
					НУЗП			НУЗП 7154.13.011			М-110сп.1014.1.000001								
А	Цех	Діл	РМ	Опер.	Код найменування операції			Позначення документа											
Б	Код найменування устаткування				СМ	Проф.	Р	УП	КП	КОВД	ОН	ОП	Кшт	Тп.з.	Тшт				
А 01				095	4 131 Круглошліфувальна							ЮП №010							
Б 02	3811311				Круглошліфувальний 3А151			2	19630	5	1	1	1	шт	72	1 30 5,51			
03																			
А 04				100	4 131 Круглошліфувальна							ЮП №010							
Б 05	3811311				Круглошліфувальний 3А151			2	19630	5	1	1	1	шт	72	1 30 1,77			
06																			
А 07				105	0125 Мийна							ЮП №008							
Б 08	514230				Мийна машина ММ-3			2	11629	4	2	1	1	шт	72	1			
09																			
А 10				110	0200 Контрольна							ЮП №009							
Б 11	XXXXXX				Контрольний стіл			2	13063	5	1	1	1	шт	72	1			
12																			
А 13																			
Б 14																			
15																			
А 16																			
Б 17																			
А 18																			
Б 19																			
МК																			

Дудл.			
Взам.			
Підп.			

1001 2105-04	Формы 1			

							НУЗП 0214.1.23011	1	1
Розроб.	Коломієць			НУЗП	НУЗП 7154.13.011		М-110сп.2014.1.00015		
Перевір.	Тришин								
Н. контр.	Дядя			Вал ступінчастий					015



* розміри для довідок

Дудл.																	
Взам.																	
Підл.																	
НУЗП 02.14.123.011												Листів 1		Лист 1			
Розроб.		Коломієць		НУЗП		НУЗП 7154.13.011				М-110сп.6014.1.00015							
Перевір.		Тришин		Вал ступінчастий												015	
Н.контр.		Дядя															
Найменування операції				Матеріал		Твердість		ТВ	МД	Проф. і розм.		МЗ		КВЗ			
Фрезерно-центрувальний				Сталь 40Х ГОСТ 4543-71		160...210 НВ		к2	1,1			1,7		0,64			
Устаткування, пристрій ЧПК				Позначення програми		То	Тв	Тп.з.	Тш-к	30ТС							
Фрезерно-центрувальний НГ-1500				-		0,23	1,72	26	2,6	5% емульсія "Укрінол-1" ТУ-38-101197-76							
Р				П	D, B	L	t	i	S		n		V				
О 01	1. Встановити та закріпити деталь												t _{вст} =0,25 хв				
Т 02	ПР Пристосування спеціальне																
03																	
О 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	100	43,1	3	1	300		750		105				
09																	
О 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 14952-75																
13	СИ Калібр-пробка спеціальна Ø3,15Н14.																
Р 14				01	3,15	7,9	1,6	1	0,06		1080		16				
О 15	4. Зняти деталь												t _{зн} =0,25 хв				
ОК																	

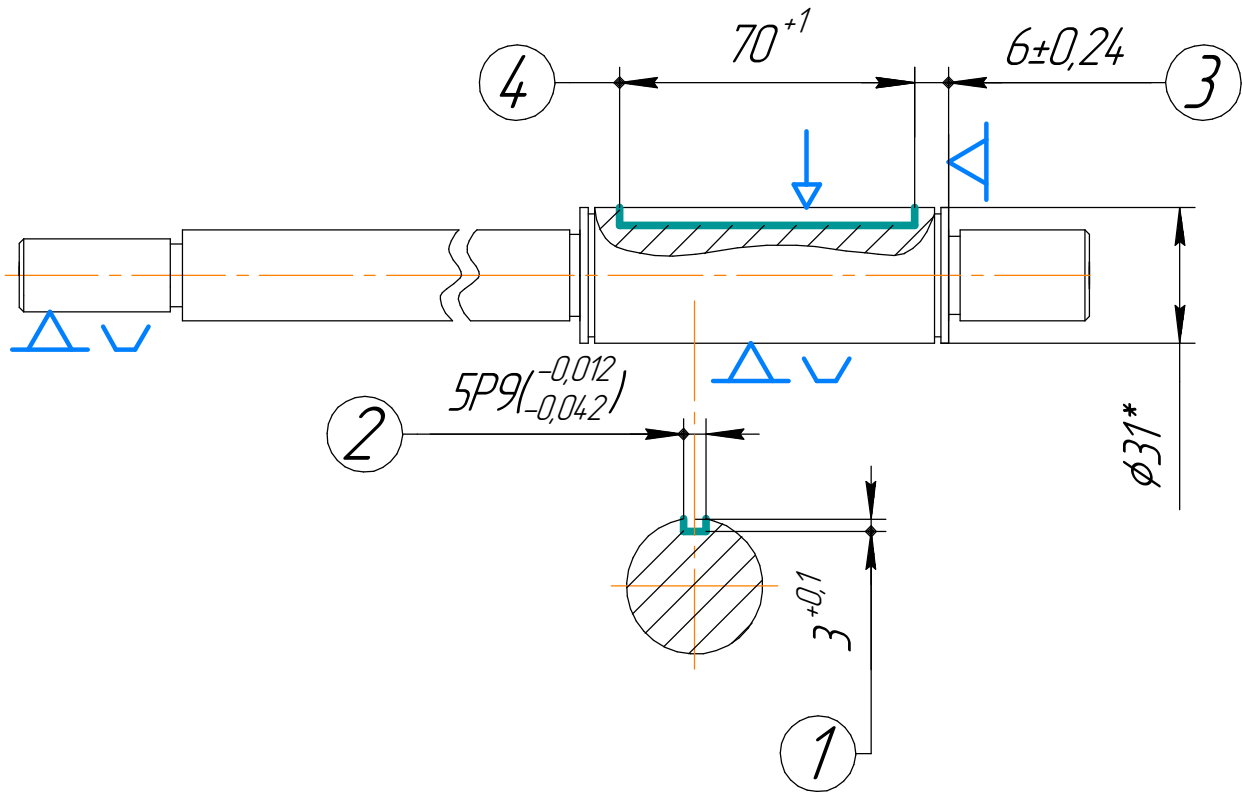
Дудл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--

ГОСТ 3.1105-84		Форма 7	

						НУЗП 0214.1.23011		1	1	
Розроб.	Коломієць			НУЗП	НУЗП 7154.13.011		М-110сп.2014.1.00060			
Перевір.	Тришин									
				Вал ступінчастий						
Н. контр.	Дядя									060

$\sqrt{\text{Ra}3.2}$



* розміри для довідок

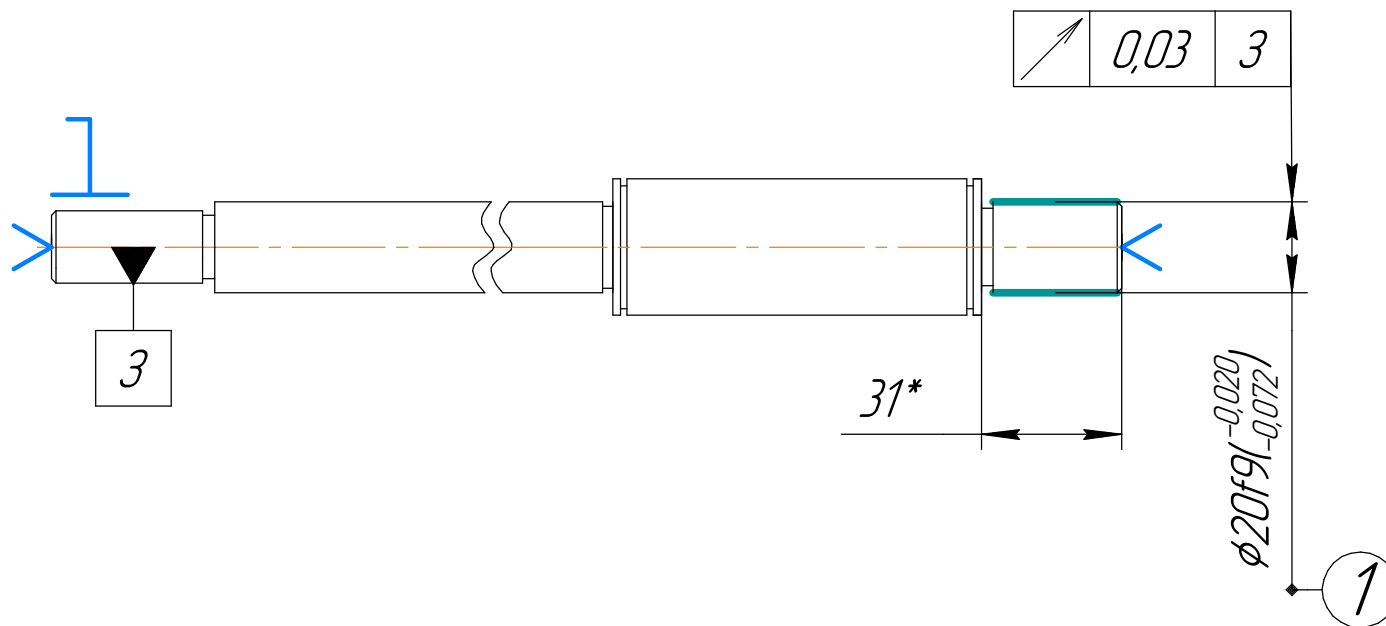
КЗ			
----	--	--	--

Дудл.																	
Взам.																	
Підл.																	
НУЗП 02.14.123.011												Листів 1		Лист 1			
Розроб.		Коломієць		НУЗП		НУЗП 7154.13.011				М-110сп.6014.1.00060							
Перевір.		Тришин		Вал ступінчастий													
Н.контр.		Дядя														060	
Найменування операції				Матеріал				Твердість		ТВ	МД	Проф. і розм.		МЗ		КВЗ	
Фрезерна з ЧПК				Сталь 40Х ГОСТ 4543-71				160...210 НВ		к2	1,1			1,7		0,64	
Устаткування, пристрій ЧПК				Позначення програми				То	ТВ	Тп.з.	Тш-к	30ТС					
Фрезерний з ЧПК FV-4				-				4,42	0,78	21	6	5% емульсія "Укрінол-1" ТУ-38-101197-76					
Р				П	D, B	L	t	i	S	n	V						
O 01	1. Встановити та закріпити деталь										t _{вст} =0,15 хв						
T 02	ПР Пристосування спеціальне																
03																	
O 04	2. Фрезерувати ааз витримуючи розміри 1, 2, 3, 4.																
T 05	ВИ Патрон 1-30-5-90 ГОСТ 26539-85																
06	РИ Фреза 2234-0353 P6M5 ГОСТ 9140-78																
07	СИ Калібр пазовий 8154-0219 5P9 ГОСТ 24121-80.																
P 08				01	5	65/3	2	2	40/15	1000	16						
09																	
O 10	3. Зняти деталь										t _{зн} =0,15 хв						
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
OK																	

1007 2105-04				Формы 7



Ra1,6



* розміри для довідок

