

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи (проєкту)

перший (бакалаврський)
(освітньо-науковий рівень)

на тему «Проєктування технологічного процесу виготовлення
проміжного вала токарного верстата з ЧПК моделі 16K30Ф3»

Виконав: студент IV курсу, групи ВІ-91-1
спеціальності: _____

133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми: _____

«Металорізальні верстати та системи»
(назва освітньої програми)

Кирил КІБАЛЬНИК
(ім'я та ПІРІЗВИЩЕ)

Керівник Андрій ДОВГОПОЛОВ
(ім'я та ПІРІЗВИЩЕ)

Рецензент Павло КУШНІРОВ
(ім'я та ПІРІЗВИЩЕ)

Суми – 2023 року

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Інститут, факультет	<u>технічних систем та енергоефективних технологій</u>
Кафедра	<u>технології машинобудування, верстатів та інструментів</u>
Освітньо-науковий рівень	<u>перший (бакалаврський)</u> (назва)
Спеціальність	<u>133 «Галузеве машинобудування»</u> (шифр і назва)
Освітня програма	<u>«Металорізальні верстати та системи»</u> (назва освітньої програми, за наявності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технології
машинобудування, верстатів та
інструментів

_____ *Віталій ІВАНОВ*

«___» _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ

Кібальник Кирил Валентинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Проектування технологічного процесу виготовлення проміжного вала токарного верстата з ЧПК моделі 16К30Ф3

керівник проекту Довгополов Андрій Юрійович, канд. техн. наук, старший викладач
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «___» _____ 2023 року № ___

2. Строк подання студентом роботи (проекту) «01» червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи (проекту) _____

3.1 Робоче креслення деталі «Проміжний вал».

3.2 Річний обсяг випуску деталей – 10 шт.

3.3 Базовий технологічний процес виготовлення деталі «Проміжний вал».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі

4.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

4.3 Визначення типу виробництва та форми організації робіт

4.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

4.5 Вибір способу отримання вихідної заготовки, розроблення технічних вимог на її виготовлення

4.6 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

4.7 Проектування верстатного пристрою для установки заготовки

4.8 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Зміст графічної частини (перелік креслень, які потрібно розробити)

5.1 Креслення вихідної заготовки

5.2 Креслення маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі

5.3 Креслення операційного налагодження

5.4 Креслення верстатного пристрою

6. Інша конструкторська та технологічна документація

5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання «__» _____ 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	10.05.2023	
2	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	15.05.2023	
3	Оформлення пояснювальної записки	20.05.2023	
4	Оформлення комплекту технологічної документації	25.05.2023	
5	Оформлення креслень та презентації	31.05.2023	

Студент

_____ (підпис)

Керівник роботи (проєкту)

_____ (підпис)

Кирил КІБАЛЬНИК

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Андрій ДОВГОПОЛОВ

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Віталій Іванов
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня _____ бакалавр _____
(бакалавр / магістр)

зі спеціальності _____ 133 «Галузеве машинобудування» _____,
(код та назва)

_____ освітньо-наукової _____ програми _____ «Металорізальні верстати та системи» _____
(освітньо-професійної / освітньо-наукової) (назва програми)

на тему: _____ Проектування технологічного процесу виготовлення проміжного вала токарного верстата з ЧПК моделі 16К30Ф3 _____

Здобувача (ки) групи _____ ВІ-91-1 _____ Кібальник Кирил Валентинович _____
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Кирил КІБАЛЬНИК _____
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант¹⁾ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 52 с., 13 рис., 13 табл., 11 джерела посилань.

Мета роботи: Розроблення модернізованого технологічного процесу виготовлення деталі «Проміжний вал» токарного верстата з ЧПК моделі 16К30Ф3.

Об'єкт дослідження: «Проміжний вал» токарного верстата з ЧПК моделі 16К30Ф3.

У роботі був проаналізований пропонуваній модернізований процес виготовлення проміжного вала токарного верстата з ЧПК моделі 16К30Ф3 з використання сучасного металорізального обладнання та інструментів. Виконаний аналіз технологічності конструкції деталі. Встановлений тип виробництва. Обраний оптимальний метод отримання заготовки. Розраховані припуски та допуски для поверхні $\varnothing 90k6$. Виконаний аналіз та обґрунтування схем базування й закріплення заготовки на операціях 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК» та 025 «Зубофрезерна». До них же визначені режими різання, обґрунтований вибір верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів, виконане технічне нормування. Обґрунтований вибір металорізальних верстатів для операцій 005 «Заготівельна», 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК» та 025 «Зубофрезерна». Обґрунтований вибір верстатного пристрою.

Розглянуто надання першої допомоги в разі ураження людини електричним струмом.

Розроблено креслення заготовки, маршрутного технологічного процесу та операційного налагодження.

ВАЛ, ПРОКАТ, ПРИПУСК, ЗАКРІПЛЕННЯ, ІНСТРУМЕНТИ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, НОРМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ, ВВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналіз службового призначення верстата, вузла, деталі.....	5
2 Розроблення робочого креслення заданої деталі.....	11
3 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	13
4 Вибір способу отримання заготовки й розроблення технічних вимог до неї.....	15
5 Розроблення технологічного процесу виготовлення заданої деталі.....	19
5.1 Розрахунок припусків на механічне оброблення поверхонь.....	19
5.2 Аналіз та обґрунтування схем базування й закріплення заготовки.....	24
5.3 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів.....	28
5.4 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів.....	33
5.5 Визначення режимів різання.....	34
5.6 Технічне нормування операцій.....	37
6 Вибір верстатного пристрою.....	42
Висновки.....	45
Перелік джерел посилання.....	46
Додаток А.....	48
Додаток Б.....	49

ВСТУП

Ефективність виробництва, його технічний процес, якості продукції, що випускається в більшості залежить від розвитку виробництва, нового обладнання, машин, верстатів і апаратів від впровадження методів техніко-економічного аналізу, що забезпечують найбільш вигідне проектування технологічних розробок, організації і планування виробництва.

Метою даного дипломного проекту є поліпшення базового технологічного процесу виготовлення деталі «Вал проміжний». Для виконання потрібно звернути увагу на використання прогресивних методів обробки металу із застосуванням сучасних верстатів з ЧПУ та підвищення продуктивності праці за рахунок використання механізованого верстатного пристосування.

Деталь «Вал проміжний» входить до складу вузла, який є частиною токарного верстата з ЧПК моделі 16К30Ф3.

Токарний верстат з ЧПУ 16К30Ф3 призначений для токарної обробки поверхонь деталей типу тіл обертання зі ступінчастим та простим криволінійним профілями та для нарізування різьби; застосовується в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва у цехах машинобудівних заводів та інших галузях промисловості.

Верстат моделі 16К30Ф3 оснащений системою програмного керування H22-1M.

Технологічний процес обробки складається з семи операцій механічної обробки. Виконано обґрунтування способу отримання заготовки, детальний аналіз технологічної операції 025 токарна з ЧПК та 035 фрезерна з ЧПК: обґрунтовано схему базування і закріплення заготовки на операції, вибір металорізального верстата й технологічної оснастки, розраховані режими різання, виконане нормування операції.

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ВЕРСТАТА, ВУЗЛА, ДЕТАЛІ. ОПИС КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДЕТАЛІ ТА УМОВ ЇЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Деталь «Вал проміжний» входить до складу вузла, який є частиною токарного верстата з ЧПК моделі 16К30Ф3.

Існують різні типи верстатів з ЧПК в залежності від їх функції. Один з цих типів токарний верстат з ЧПК. Вони більш досконалі та точні, ніж звичайні токарні верстати. Вся робота дуже детально контролюється комп'ютером, що дозволяє всім деталям бути ідентичними для масового виробництва, підвищуючи продуктивність і дозволяючи виконувати більш складну роботу.

Верстати з ЧПК моделі 16К30Ф3 (рис. 1.1) будувалися на рязанському верстатобудівному заводі (РСЗ), призначені для виконання різноманітних токарних робіт, включаючи точіння конусів та нарізування різьби: метричних, дюймових, модульних, пітчевих. Інформація про його технічні характеристики наведена у таблиці 1.1.

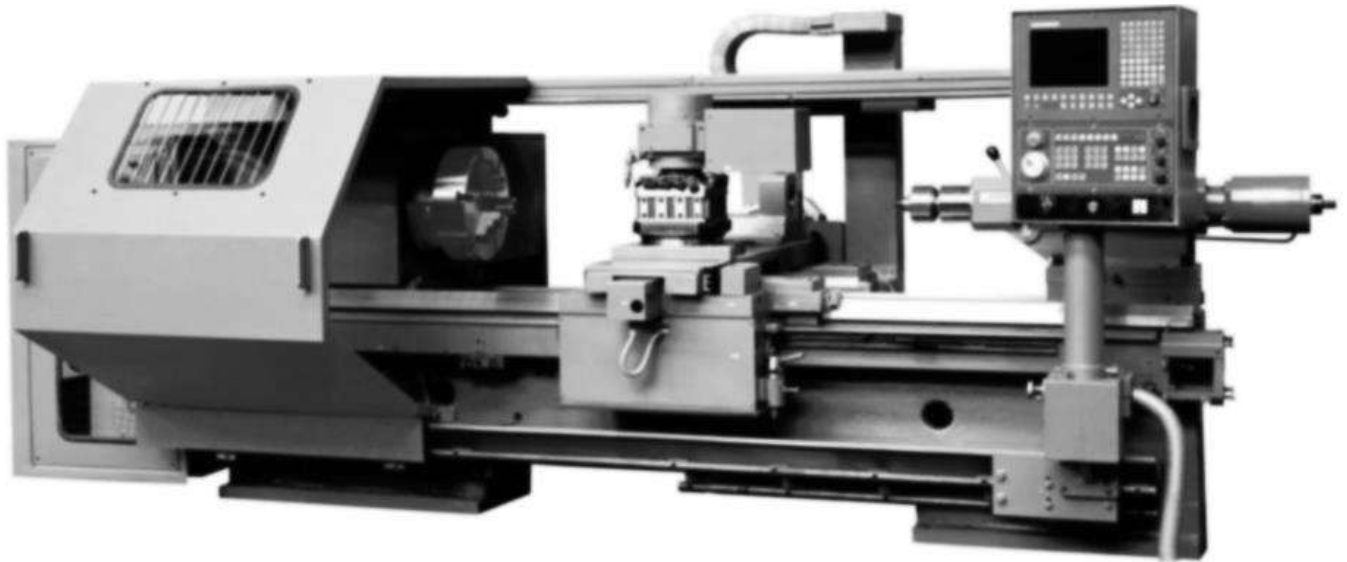


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд верстату токарного верстату з ЧПК моделі 16К30Ф3

Основні вузли верстату:

- станина;
- передня бабка зі шпинделем;
- система числового програмного управління;
- лінійні осі;
- вузол фіксації інструменту;
- задня бабка;
- кожух та елементи захисту.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики верстату 16К30Ф3

Найменування параметру	16К30Ф3
Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над станиною, мм	630
Найбільший діаметр виробу, що обробляється над станиною, мм	500
Найбільший діаметр виробу, що обробляється над супортом, мм	320
Найбільша довжина виробу, що встановлюється, мм	1400
Найбільший хід супорта, мм: – поздовжній	1200
– поперечний	300
Найбільший діаметр прутка, що проходить через отвір шпинделя, мм	70
Висота різця, що встановлюється в різцетримачі, мм	32
Частота обертання шпинделя, об/хв	6,3-1600
Кількість частот обертання шпинделя, загальна / за програмою	15/25

Продовження таблиці 1.1

Межі робочих подач, мм/об:	
– поздовжніх	0,01...20,47
– поперечних	0,01 ... 20,47
Швидкість швидкого переміщення, мм/хв:	
– поздовжні	10000
– поперечні	10000
Кількість інструментів, що встановлюються на одну грань різцетримача	до 2
Габарити верстата, мм	4975x2420x1540
Маса без виносного обладнання, кг	Не більше 7000
Маса з виносним обладнанням, кг	Не більше 7850

Проміжний вал – деталь, яка обертається навколо своєї осі, розташована у проміжку між чимось, передає крутний момент та забезпечує підтримання оберткових деталей машин, які на ньому розміщені, при цьому не є основною або головною.

В нашому випадку проміжний вал використовується в коробці швидкостей верстата 16К30Ф3. При його переміщенні по валу він входить в зчеплення з іншими зубчастими колесами (різного діаметру, та з різною швидкістю зубів) та приводить в рух шпindel з відповідною швидкістю. Це свого роду перемикач між різними шестернями. Саме тому він найперший і зношується.

На рисунку 1.2 зображена кінематична схема верстату 16К30Ф3. Вал позначений римською цифрою 8, але додатково помічений обводенням.

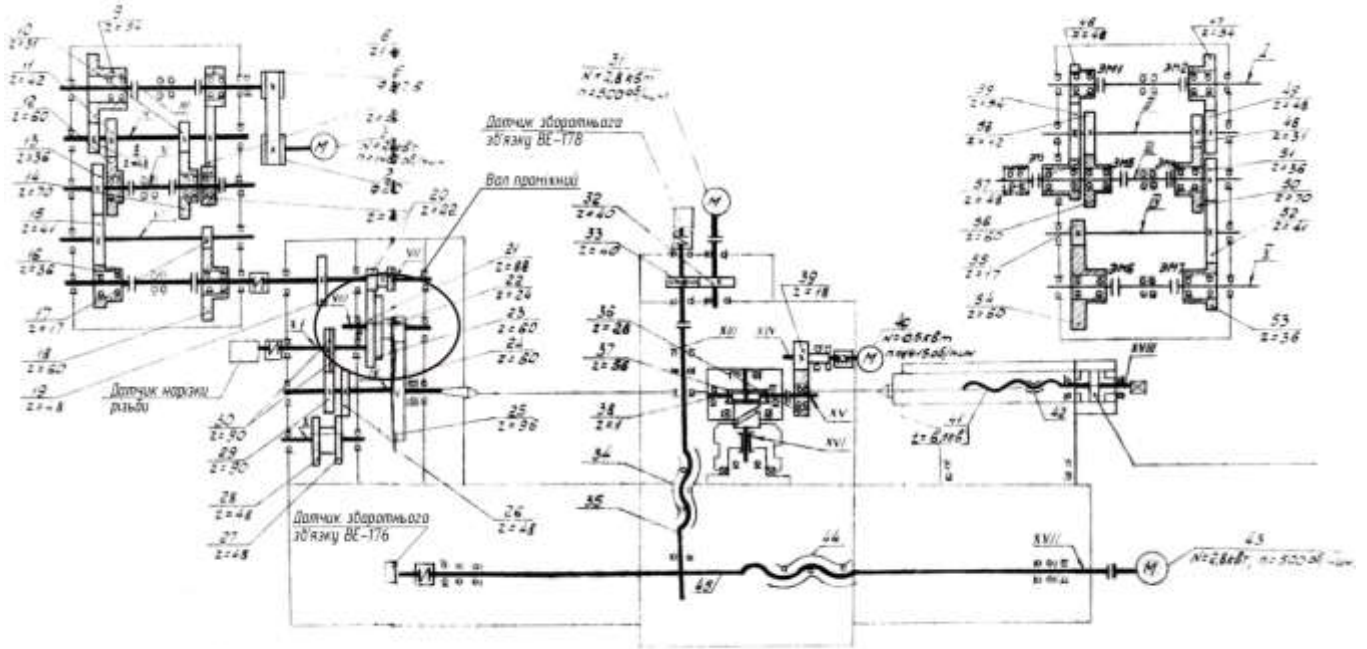


Рисунок 1.2 – Розташування проміжного валу на кінематичній схемі верстату моделі 16К30Ф3

Класифікація поверхонь деталі (рис. 1.3):

1. Конструкторські бази:
 - основні: 1, 2, 12;
 - допоміжні: 3, 8, 9.
2. Вільні бази: 4, 5, 6, 7, 10, 11.

Основні циліндричні поверхні 2 та 12 використовуються для закріплення вала у корпусі верстата на підшипниках, а торець 1 виконує роль упора в підшипниках.

Паз 8 та циліндрична поверхня 9 слугують для закріплення робочих коліс, та зуб'я 9 для передачі крутного моменту.

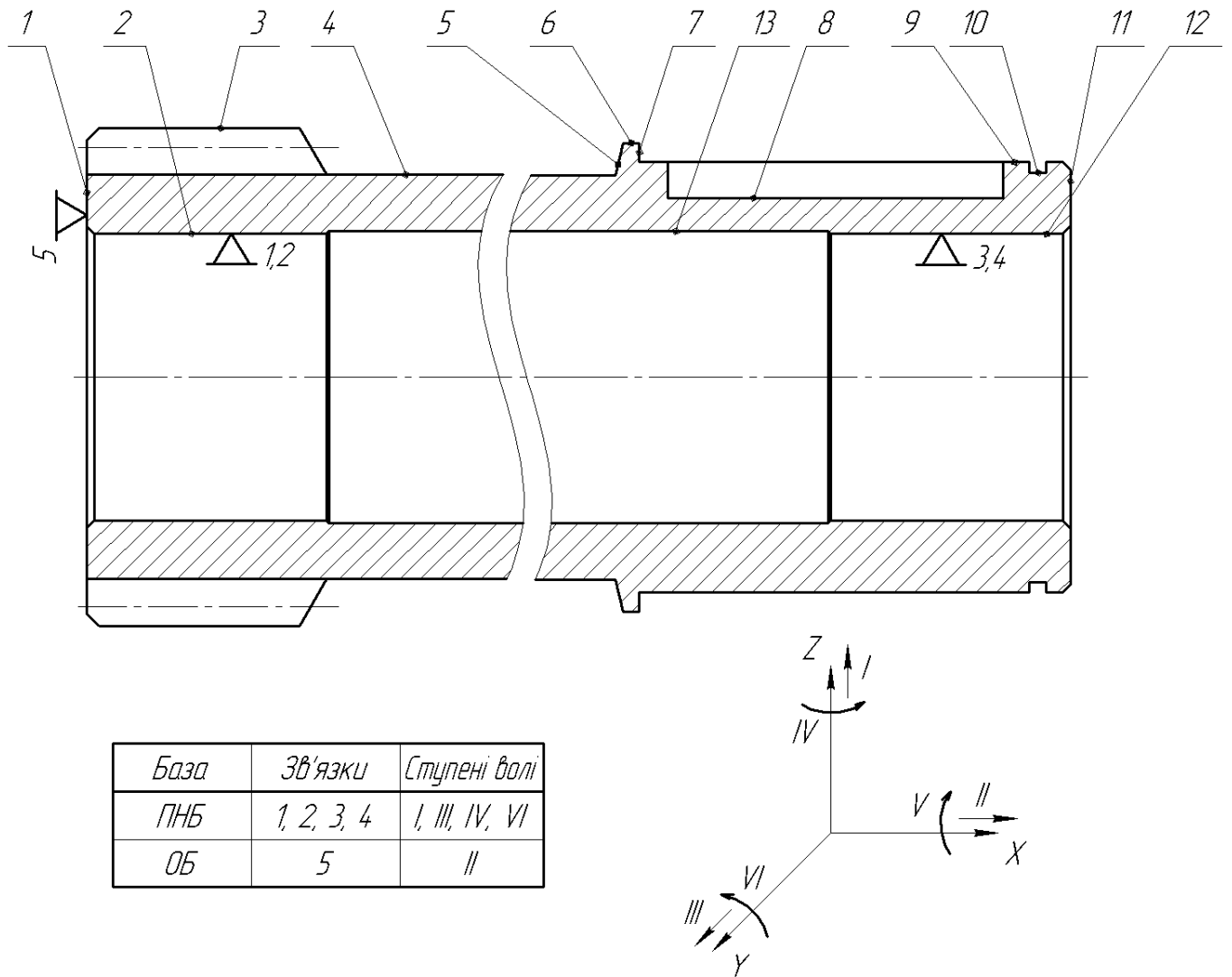


Рисунок 1.3 – Класифікація поверхонь деталі

Також на рисунку 1.3 бачимо таблицю відповідностей. Наша деталь позбавлена п'яти ступенів вільності. Подвійна напрямна база виключає 4 та опорна одного рухів заготовки. У результаті залишається один вільний рух, навколо своєї осі, що необхідне для нормального функціонування деталі у виробі. Виконаємо матрицю зв'язків та занесемо дані у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування бази
1	0	1	1	Подвійна напрямна база
α	0	1	1	
1	1	0	0	Опорна база
α	0	0	0	
Всього	1	2	2	5 зв'язків

2 РОЗРОБЛЕННЯ РОБОЧОГО КРЕСЛЕННЯ ЗАДАНОЇ ДЕТАЛІ

Розроблення робочого креслення деталі «Проміжний вал» для верстату з ЧПК моделі 16К30Ф3 виконувалося з допомогою САD системи. За чинними стандартами зображено достатню кількість проєкцій і перетинів, позначені розміри деталі, їх точність, шорсткість та надані технічні вимоги для її виготовлення. Виконане креслення за вимогами ЄСКД показано на рисунку 2.1.

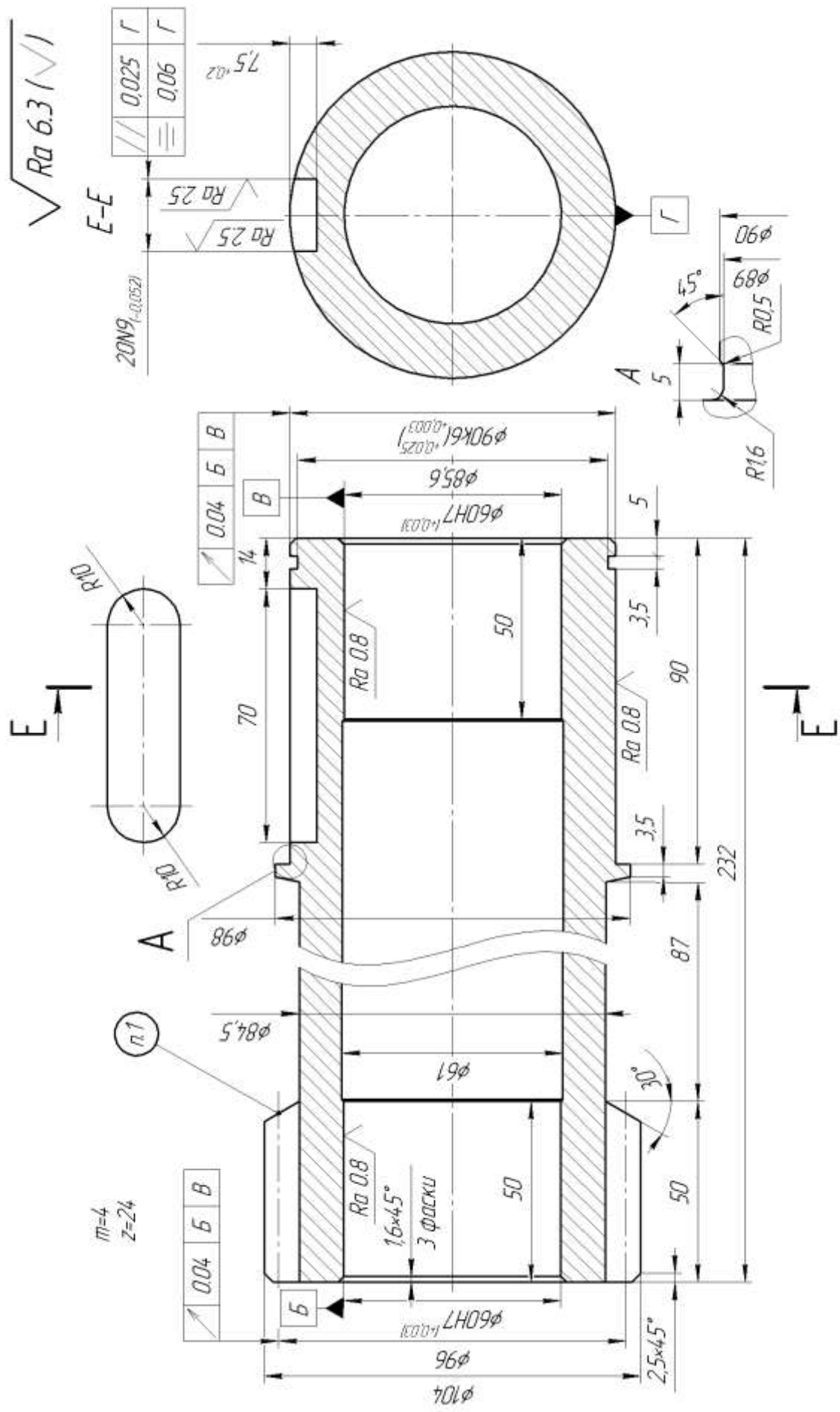


Рисунок 2.1 – Креслення деталі «Проміжний вал»

3 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ

У сучасному світі значну роль відіграє технологічність деталей, адже це впливає на трудомісткість і собівартість виробництва. Покращення технологічності дозволяє уникнути збитків підприємству.

Технологічність нашої деталі обумовлена стандартними конструкційними елементами. Також, використовуваний матеріал є достатньо розповсюдженим, це конструкційна легована сталь 40X ASTM A29/A29M. Її вміст вуглецю близько 0,4% з добавками хрому, молібдену та марганцю, які надають сталі підвищену міцність, твердість та стійкість до зносу. Дана сталь зазвичай використовується для виробництва зубчастих коліс, валів, пружин, ресор, елементів кріплення і т.д. Тобто ті деталі машин які мають бути міцними та зносостійкими. Більш детальний хімічний склад та механічні властивості наведено у таблицях 3.1 та 3.2 відповідно.

Заготовка – прокат діаметром 110 мм. З огляду на нашу деталь, це є найбільш оптимальним, адже усі поверхні в цілому мають просту поверхню для механічної обробки. Маса готового виробу складає 5,9 кг. Деталь являє собою тіло обертання з відношення довжини до діаметру 232/104 мм.

Таблиця 3.1 – Масова частка елементів сталі 40X не більше, %

Елементи	Кремній	Марганець	Мідь	Нікель	Сірка	Вуглець	Фосфор	Хром
Масова частка не більше %	0,17-0,37	0,5-0,8	0,3	0,3	0,035	0,36-0,44	0,035	0,8-1,1

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сталі 40Х

Стандарт	Стан постачання, режим термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (кДж/м ²)
ASTM A29/A29 М	Пруток. Загартування 860 °С, олія. Відпустка 500 °С, вода чи олія	25	780	980	10	45	59

Деталь «Проміжний вал» має такі нетехнологічні елементи: поверхні з високою точністю і шорсткістю, які збільшують стадії обробки, вимагають високоякісного обладнання та інструменту, фаски ускладнюють програмування обробки поверхонь, закритий шпонковий паз послаблює міцність деталі, зуб'я які потребують додаткового обладнання і значно збільшують час на обробку.

В загалом базування деталі виконується по декільком поверхням. Два зовнішні циліндри ($\varnothing 104$ та $90k6$) та два внутрішні під втулку (60H7). Забезпечується достатній доступ інструменту.

4 ВИБІР СПОСОБУ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВКИ Й РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО НЕЇ

Під час проектування процесу виготовлення деталі, важливу роль відіграє і вибір заготовки. Раціонально встановлений метод її отримання, форми і величини припусків та напусків впливають на обсяг майбутньої механічної обробки, а також фінансові витрати на виготовлення деталі.

Варто пам'ятати, що в процесі конструкторської підготовки виробництва вже визначений матеріал деталі. Маса та обсяг випуску також впливають на спосіб отримання заготовки.

Виготовлення деталей машин виконується з застосуванням наступних заготовок:

- лиття,
- кування,
- штампування,
- пресування
- металопрокат
- труби
- вирізання з листового матеріалу або холодне штампування

Деталь «Вал проміжний» виготовляється у кількості 10 шт. та має масу 5,9 кг, тож виробництво дрібносерійне.

Відомостей про метод отримання заготовки на проміжний вал відсутні. Тому будемо розглядати два можливі методи її отримання: лиття в пісочні форми та метод прокату. Після розрахунків порівняємо вартість обох заготовок S_1 і S_2 , та виберемо найвигідніший.

Спочатку здійснимо розрахунок вартості заготовки, отриманої литтям. Виконується за формулою:

$$S_1 = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{\Pi} \right) - (Q - q) \cdot S_{отх}, \quad (4.1)$$

де $C_i = 97\,000$ грн. – базова вартість 1 т заготовок, грн.;

$Q = 15,5$ кг – маса заготовки;

$q = 5,9$ – маса деталі;

$K_T = 1,0$ – коефіцієнт, який залежить від класу точності;

$K_C = 1,0$ – коефіцієнт, який залежить від ступеня складності;

$K_B = 1,13$ – коефіцієнт, який залежить від маси заготівки;

$K_M = 1,0$ – коефіцієнт, який залежить від марки матеріалу;

$K_{\Pi} = 1,0$ – коефіцієнт, який залежить від обсягу випуску заготовок.

Після підстановки усіх значень отримуємо:

$$S_1 = \left(\frac{97000}{1000} \cdot 15,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \right) - (15,5 - 5,9) \cdot 48,5 = 1233,36 \text{ грн.}$$

Далі виконаємо економічний розрахунок заготовки методом прокату за наступною формулою:

$$S_2 = M + \Sigma C_{o.з}, \quad (4.2)$$

$$S_2 = 1005,55 + 138 = 1143,55 \text{ грн.}$$

де M – витрати на матеріали заготовки, грн.;

$\Sigma C_{o.з}$ – технологічна собівартість виправлення, калібрування, розрізання, грн.

Розрахувати витрати на матеріали можна за наступною формулою:

$$M = Q \cdot S - (Q - q) S_{отх}, \quad (4.3)$$

$$M = 17,76 \cdot 85 - (17,76 - 5,9) \cdot 42,5 = 1005,55 \text{ грн.},$$

де $Q = 17,76$ кг – маса заготовки (розраховується через об'єм та густину матеріалу заготовки), кг;

$S = 85$ грн – ціна 1 кг матеріалу заготовки, грн.;

$q = 5,9$ – маса деталі, кг;

$S_{отх} = 42,5$ – ціна 1 кг відходів, грн.

Додатково потрібно розрахувати залишок прутка. Сталь гарячекатана кругла за ДСТУ 4738:2007 постачається в прутках завдовжки 2...6 м. То ж за формулою дізнаємося витрати залишкового прутка:

$$\sum C_{\text{оз}} = \frac{C_{\text{п.в.}} \cdot t_{\text{шт. (шт.к.)}}}{60}, \quad (4.4)$$

де $C_{\text{п.в.}}$ – приведені витрати на робочому місці, грн./ос.;

$t_{\text{шт. (шт.к.)}}$ – штучний чи штучно-калькуляційний час виконання заготівельної операції, хв.

Орієнтуючись на заводські дані маємо такі приведені витрати на робочому місці:

Для правки $C_{\text{п.в.}} = 140$ грн/год, $t_{\text{шт}} = 25$ хв;

Для розрізання $C_{\text{п.в.}} = 160$ грн/год, $t_{\text{шт}} = 30$ хв;

$$\sum C_{\text{оз}} = \frac{140 \cdot 25}{60} + \frac{160 \cdot 30}{60} = 138 \text{ грн}$$

Після підрахунку витрат на заготовку методом лиття і прокату, ми можемо виконати розрахунок економічного ефекту

$$E_{\text{заг}} = (S_1 - S_2) \cdot N, \quad (4.5)$$

де S_1 і S_2 – вартість заготовки базового варіанта та того, що проектується, відповідно;

N – річний обсяг випуску деталей.

Підставляємо наші значення та отримуємо:

$$E_{\text{заг}} = (1233,36 - 1005,55) \cdot 10 = 2278 \text{ грн.}$$

З розрахунків бачимо, що найбільш вигідним для наших умов буде використання заготовки отриманої методом прокату. А економія на 10 деталей буде складати 2278 грн. Ескіз заготовки зображено на рисунку 4.1

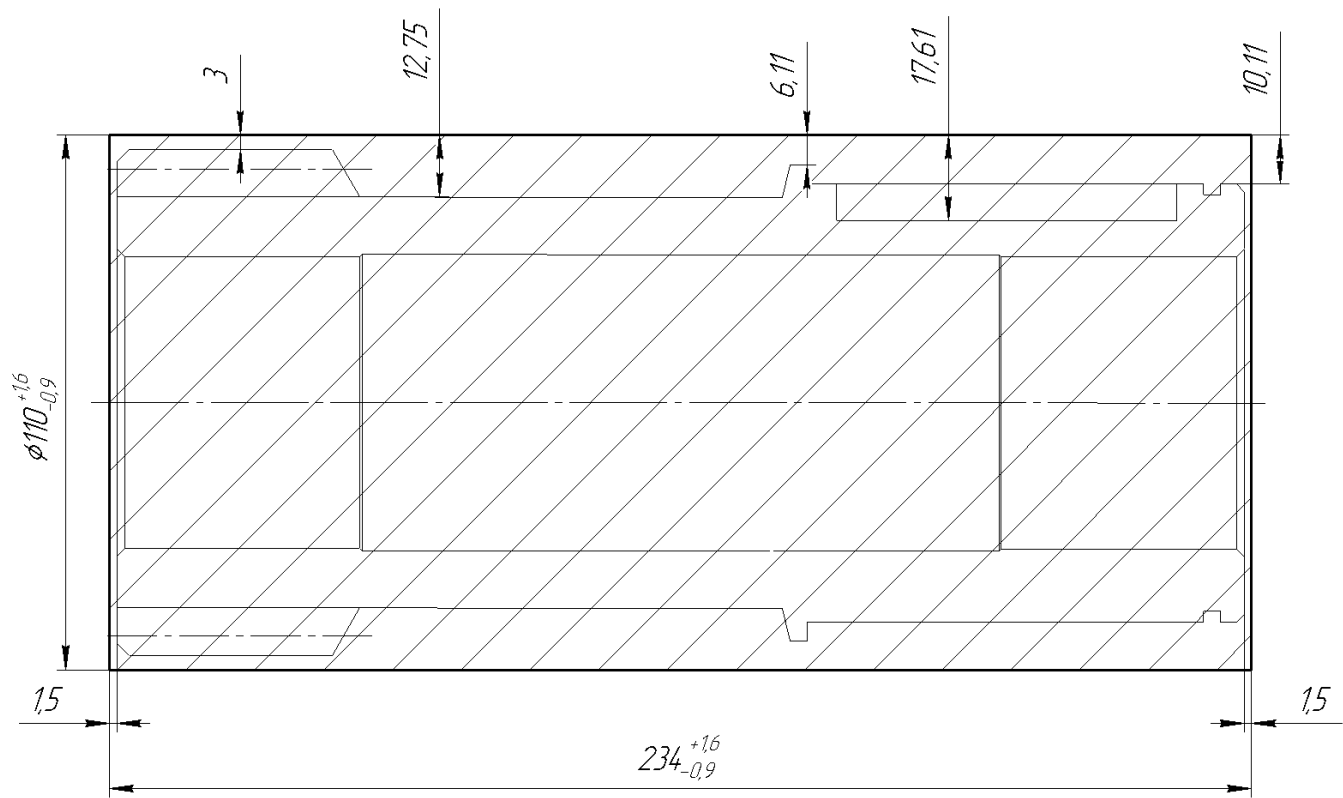


Рисунок 4.1 – Ескіз заготовки

5 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАДАНОЇ ДЕТАЛІ

5.1 Розрахунок припусків на механічне оброблення поверхонь

Виконаємо детальний розрахунок на зовнішній циліндр $\varnothing 90k6 \begin{pmatrix} +0,025 \\ +0,003 \end{pmatrix}$, довжиною 90 мм. Розмір заготовки $\varnothing 110$ мм.

Формула [1] для розрахунку мінімального проміжного припуску при обробці зовнішніх та внутрішніх поверхонь:

$$2Z_{i \min} = 2((Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (5.1)$$

де Rz_{i-1} – висота нерівностей профілю на попередньому переході;

h_{i-1} – глибина дефектного шару, яка формується на попередньому переході;

ρ_{i-1} – значення просторового відхилення;

ε_i – похибка установки заготовки на переході.

Номінальний припуск на обробку зовнішньої поверхні:

$$2z_i = 2z_{i \min} + e_{iD_{i-1}} + e_{iD_i}, \quad (5.2)$$

де $e_{iD_{i-1}}$ – нижнє відхилення діаметру поверхні попереднього переходу;

e_{iD_i} – нижнє відхилення діаметр поверхні виконуваного переходу.

Номінальний припуск на обробку зовнішньої поверхні:

$$2z_i = 2z_{i \min} + TD_{i-1} + TD_i, \quad (5.3)$$

де Td_{i-1} – допуск розміру попереднього переходу;

Td_i – допуск розміру виконуваного переходу.

Обробка зовнішньої циліндричної поверхні виконується у чотири етапи: чорнове точіння, напівчистове, чистове та оздоблювальне. Значення Rz_{i-1} та H_{i-1} можна знайти за джерелами [2]. Внесемо дані у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Значення Rz та h

№	Стадія обробки	Параметр шорсткості Rz, мкм	Глибина дефектного шару h, мкм
0	Заготівельна	200	300
1	Чорнове точіння	63	60
2	Напівчистове точіння	30	30
3	Чистове точіння	20	30
4	Оздоблювальне точіння	3	5

Значення просторового відхилення для відповідних переходів складають:

$$\rho_{\text{чор.}} = 6 \text{ мкм} = 0,006 \text{ (мм)}$$

$$\rho_{\text{н/ч.}} = 5 \text{ мкм} = 0,005 \text{ (мм)}$$

$$\rho_{\text{чис.}} = 4 \text{ мкм} = 0,004 \text{ (мм)}$$

$$\rho_{\text{озд.}} = 2 \text{ мкм} = 0,002 \text{ (мм)}$$

Похибка установки на переході ϵ_{yi} :

$$\epsilon_{\text{чор.}} = 130 \text{ мкм} = 0,130 \text{ (мм)}$$

$$\epsilon_{\text{н/ч.}} = 125 \text{ мкм} = 0,125 \text{ (мм)}$$

$$\epsilon_{\text{чис.}} = 120 \text{ мкм} = 0,120 \text{ (мм)}$$

$$\epsilon_{\text{озд.}} = 80 \text{ мкм} = 0,080 \text{ (мм)}$$

Розрахуємо мінімальні, номінальні і максимальні припуски по переходам, а також розміри заготовки по переходах.

Оздоблювальна операція:

$$d_{\text{ном озд.}} = 90 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{min озд.}} = d_{\text{ном озд.}} - e_{i_{\text{озд.}}}; \quad (5.4)$$

$$d_{\text{min озд.}} = 90 + 0.003 = 90,003 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{max озд.}} = d_{\text{ном озд.}} + e_{s_{\text{озд.}}}; \quad (5.5)$$

$$d_{\text{max озд.}} = 90 + 0.025 = 90.025 \text{ (мм)}; \quad (5.6)$$

$$Td_{\text{озд.}} = e_{s_{\text{озд.}}} + e_{i_{\text{озд.}}} = 0.025 - 0.003 = 0,022 \text{ (мм)}; \quad (5.7)$$

$$2Z_{\text{min озд.}} = 2 (Rz_{(i-1)} + h_{(i-1)} + \sqrt{\rho_{(i-1)}^2 + \epsilon_{yi}^2}); \quad (5.8)$$

$$2Z_{\min \text{ озд.}} = 2 (3 + 5 + \sqrt{2^2 + 80^2}) = 176 \text{ (мкм)} = 0,176 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\text{ном озд.}} = 2Z_{\min \text{ озд.}} + ei_{\text{чис}} + es_{\text{озд.}}; \quad (5.9)$$

$$2Z_{\text{ном озд.}} = 0,176 + 0,054 + 0,025 = 0,255 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\max \text{ озд.}} = 2Z_{\min \text{ озд.}} + Td_{\text{озд.}} + ei_{\text{чис.}}; \quad (5.10)$$

$$2Z_{\max \text{ озд.}} = 0,176 + 0,022 + 0,054 = 0,250 \text{ (мм)}.$$

Чистове точіння:

$$d_{\min \text{ чис.}} = d_{\text{ном озд.}} + 2Z_{\min \text{ озд.}} + es_{\text{озд.}}; \quad (5.11)$$

$$d_{\min \text{ чис.}} = 90 + 0,176 + 0,025 = 90,201 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{ном чис.}} = d_{\max \text{ чис.}} = d_{\min \text{ чис.}} + ei_{\text{чис.}}; \quad (5.12)$$

$$d_{\text{ном чис.}} = d_{\max \text{ чис.}} = 90,201 + 0,054 = 90,255 \text{ (мм)};$$

$$Td_{\text{чис.}} = es_{\text{чис.}} + ei_{\text{чис.}} = 0 + 0,054 = 0,054 \text{ (мм)}; \quad (5.13)$$

$$2Z_{\min \text{ чис.}} = 2 (Rz_{(i-1)} + h_{(i-1)} + \sqrt{\rho_{(i-1)}^2 + \epsilon y_i^2}); \quad (5.14)$$

$$2Z_{\min \text{ чис.}} = 2 (20 + 30 + \sqrt{4^2 + 120^2}) = 340 \text{ (мкм)} = 0,340 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\text{ном чис.}} = 2Z_{\min \text{ чис.}} + ei_{\text{н/ч.}}; \quad (5.15)$$

$$2Z_{\text{ном чис.}} = 0,340 + 0,350 = 0,690 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\max \text{ чис.}} = 2Z_{\min \text{ чис.}} + ei_{\text{чис.}} + ei_{\text{н/ч.}}; \quad (5.16)$$

$$2Z_{\max \text{ чис.}} = 0,340 + 0,054 + 0,350 = 0,744 \text{ (мм)}.$$

Напівчистове точіння:

$$d_{\min \text{ н/ч}} = d_{\text{ном чис.}} + 2Z_{\min \text{ чис.}}; \quad (5.17)$$

$$d_{\min \text{ н/ч}} = 90,255 + 0,340 = 90,595 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{ном н/ч}} = d_{\max \text{ н/ч}} = d_{\min \text{ н/ч}} + ei_{\text{н/ч.}}; \quad (5.18)$$

$$d_{\text{ном н/ч}} = d_{\max \text{ н/ч}} = 90,595 + 0,350 = 90,945 \text{ (мм)};$$

$$Td_{\text{н/ч}} = es_{\text{н/ч}} + ei_{\text{н/ч}} = 0 + 0,350 = 0,350 \text{ (мм)}; \quad (5.19)$$

$$2Z_{\min \text{ н/ч.}} = 2 (Rz_{(i-1)} + h_{(i-1)} + \sqrt{\rho_{(i-1)}^2 + \epsilon y_i^2}); \quad (5.20)$$

$$2Z_{\min \text{ н/ч}} = 2 (30 + 30 + \sqrt{5^2 + 125^2}) = 370 \text{ (мкм)} = 0,370 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\text{ном н/ч}} = 2Z_{\min \text{ н/ч}} + ei_{\text{чор.}}; \quad (5.21)$$

$$2Z_{\text{ном н/ч}} = 0,370 + 0,87 = 1,24 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\max \text{ н/ч}} = 2Z_{\min \text{ н/ч}} + ei_{\text{н/ч}} + ei_{\text{чор.}}; \quad (5.22)$$

$$2Z_{\max \text{ н/ч}} = 0,370 + 0,350 + 0,87 = 1,59 \text{ (мм)};$$

Чорнове точіння:

$$d_{\min \text{ чор.}} = d_{\text{ном н/ч}} + 2Z_{\min \text{ н/ч}}; \quad (5.23)$$

$$d_{\min \text{ чор.}} = 90,945 + 0,370 = 91,315 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{ном чор.}} = d_{\max \text{ чор.}} = d_{\min \text{ чор.}} + ei_{\text{чор.}}; \quad (5.24)$$

$$d_{\text{ном чор.}} = d_{\max \text{ чор.}} = 91,315 + 0,87 = 92,185 \text{ (мм)};$$

$$Td_{\text{чор.}} = es_{\text{чор.}} + ei_{\text{чор.}} = 0 + 0,87 = 0,87 \text{ (мм)}; \quad (5.25)$$

$$2Z_{\min \text{ чор.}} = 2 (Rz_{(i-1)} + h_{(i-1)} + \sqrt{\rho_{(i-1)}^2 + \epsilon y_i^2}); \quad (5.26)$$

$$2Z_{\min \text{ чор.}} = 2 (63 + 60 + \sqrt{6^2 + 130^2}) = 506 \text{ (мкм)} = 0,506 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\text{ном чор.}} = 2Z_{\min \text{ чор.}} + ei_{\text{заг.}}; \quad (5.27)$$

$$2Z_{\text{ном чор.}} = 0,506 + 2,2 = 2,7 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\max \text{ чор.}} = 2Z_{\min \text{ чор.}} + ei_{\text{чор.}} + ei_{\text{заг.}}; \quad (5.28)$$

$$2Z_{\max \text{ чор.}} = 0,506 + 0,87 + 2,2 = 3,576 \text{ (мм)};$$

Заготовка:

$$d_{\min \text{ заг.}} = d_{\text{ном чор.}} + 2Z_{\min \text{ чор.}}; \quad (5.29)$$

$$d_{\min \text{ заг.}} = 92,185 + 0,506 = 92,691 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{ном заг.}} = d_{\max \text{ заг.}} = d_{\min \text{ заг.}} + ei_{\text{заг.}}; \quad (5.30)$$

$$d_{\text{ном заг.}} = d_{\max \text{ заг.}} = 92,691 + 2,2 = 94,891 \text{ (мм)};$$

$$Td_{\text{заг.}} = es_{\text{заг.}} + ei_{\text{заг.}} = 0 + 2,2 = 2,2 \text{ (мм)}. \quad (5.31)$$

Зробимо схему допусків та припусків для розміру $\varnothing 90k6$ (рис. 5.1).

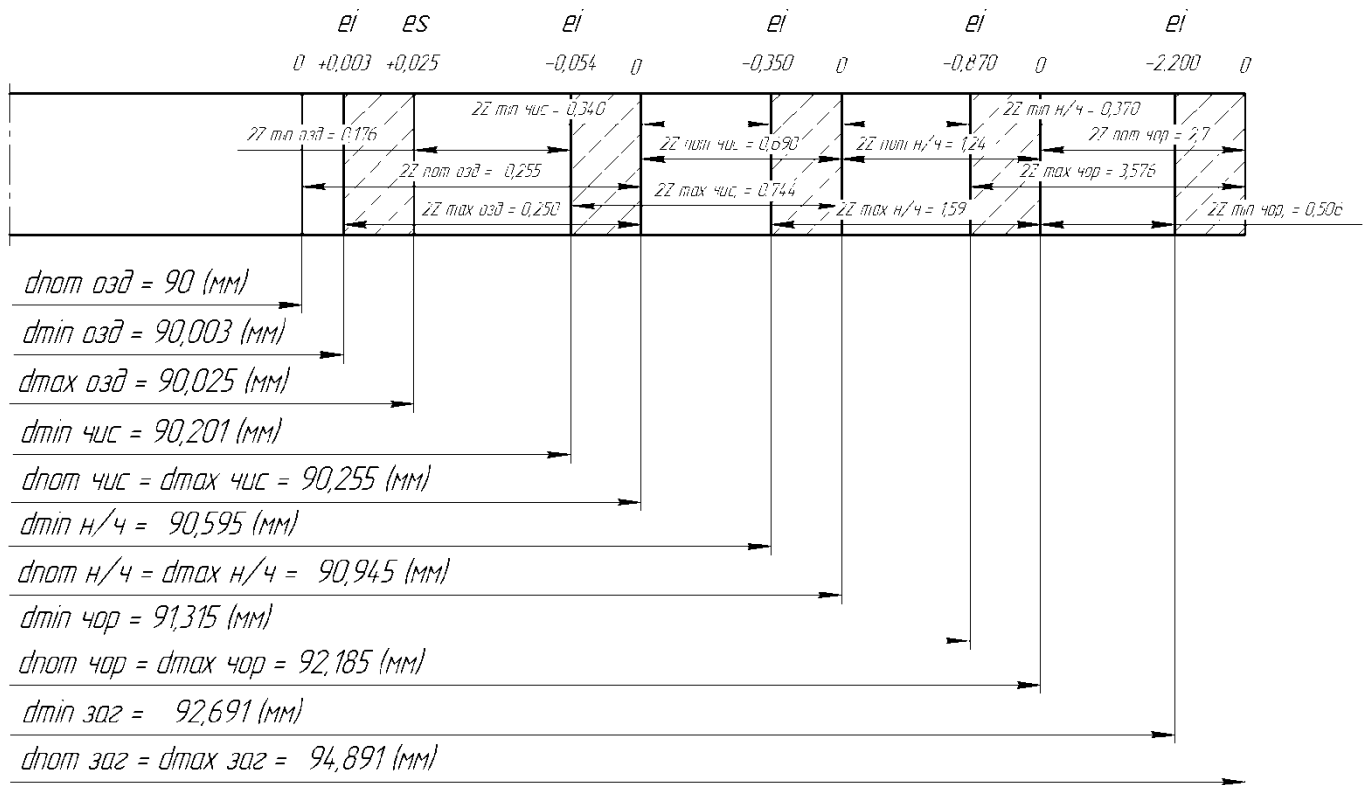


Рисунок 5.1 – Схема допусків та припусків

5.2 Аналіз та обґрунтування схем базування й закріплення заготовки

Розглянемо схеми базування й закріплення заготовки на операціях 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК» та 025 «Зубофрезерна».

Механічна обробка заготовки на операції 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК» проводиться у два установи на верстаті з ЧПК моделі СТХ alpha 500. Виконується чорнове та чистове точіння, фрезерування пазу, свердління та розточування отвору. На точних поверхнях $\varnothing 90\text{k6}$ та $\varnothing 60\text{H7}$ залишається припуск для термічної обробки.

Проаналізуємо схему базування і закріплення заготовки на установі 1 операції 015.

На ній забезпечується точність лінійних розмірів: 14 (0;-0,430); 50 (+0,620;0) та 90 (0;-0,870) мм (рис. 5.2). Пов'язано це з тим, що для них технологічна база (ТБ) та вимірювальна (ВБ) збігаються. Але для розмірів 3,5 (0;-0,300); 70 (0;-0,740) та 87 (0;-0,870) мм може бути присутня похибка базування.

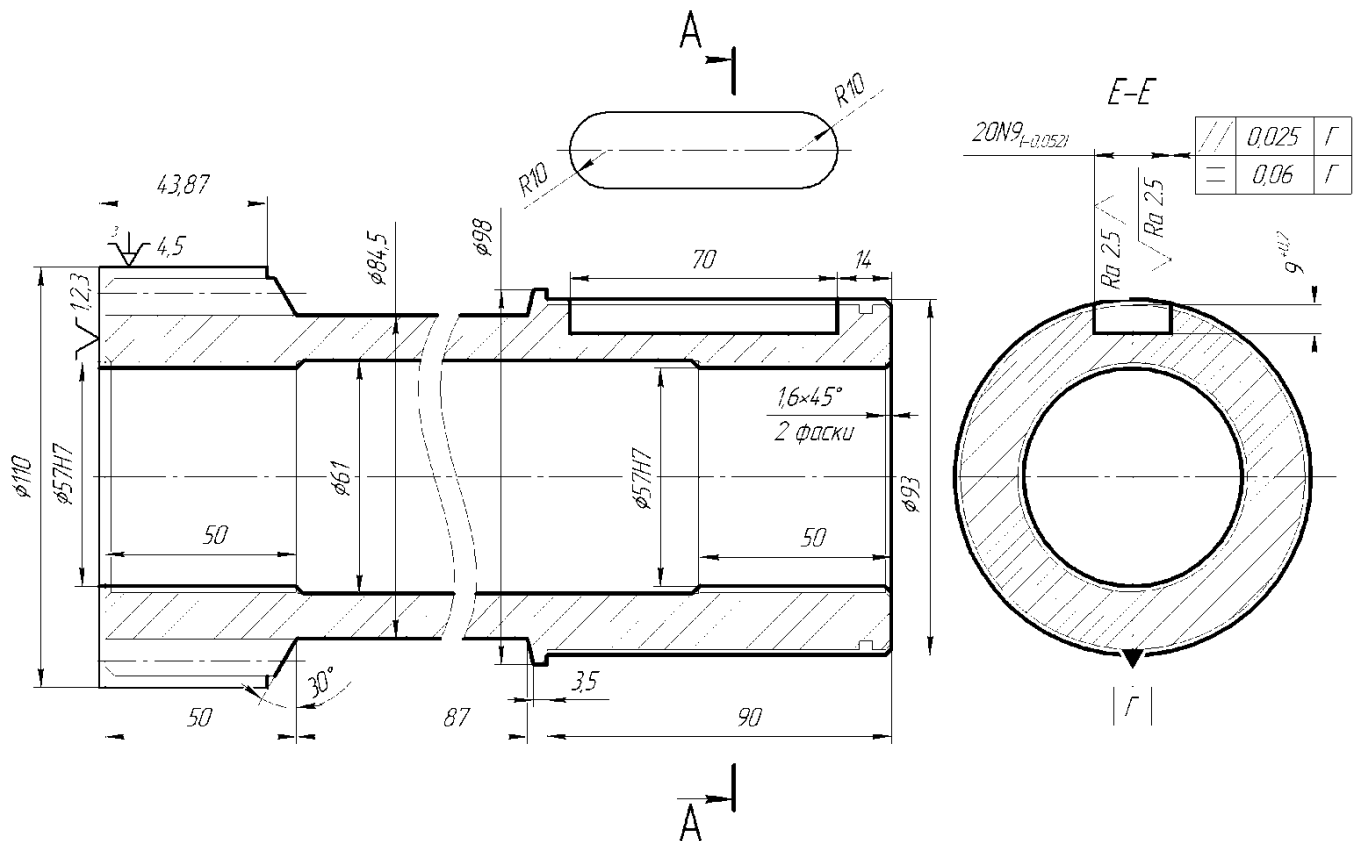


Рисунок 5.2 – Схема базування і закріплення на операції 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК» – установ 1

Лінійний розмір 3.5:

$$\varepsilon_{6\ 3.5} = T_{90H14} = 0,870 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{6\ 3.5} = 0,870 > T_{3,5} = 0,300 \text{ мм.}$$

Бачимо, що запропонована схема базування не забезпечує виконання лінійного розміру 3,5 мм. Тому для забезпечення необхідної точності даного розміру необхідно підвищити квалітет розміру 90 мм до 11:

$$\varepsilon_{6\ 3.5} = T_{90H11} = 0,220 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{6\ 3.5} = 0,220 < T_{3,5} = 0,300 \text{ мм.}$$

Тепер виконання лінійного розміру 3,5 мм забезпечує точність на запропонованій схемі базування.

Лінійний розмір 70:

$$\varepsilon_{6\ 70} = T_{14H14} = 0,430 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{6\ 70} = 0,430 > T_{70} = 0,740 \text{ мм.}$$

В цьому випадку ніяких проблем не виникає. Виконання розміру 70 забезпечує необхідну точність.

Лінійний розмір 87:

$$\varepsilon_{6\ 87} = T_{50H14} = 0,620 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{6\ 87} = 0,620 > T_{87} = 0,870 \text{ мм.}$$

Тут також бачимо, що виконання розміру 87 забезпечує необхідну точність.

Проаналізуємо схему базування і закріплення заготовки на установі 2 операції 015.

На ній забезпечується точність лінійних розмірів 44,37 (0;-620) та 10 мм (рис. 5.3). В цьому випадку технологічна база (ТБ) та вимірювальна (ВБ) збігаються для усіх розмірів.

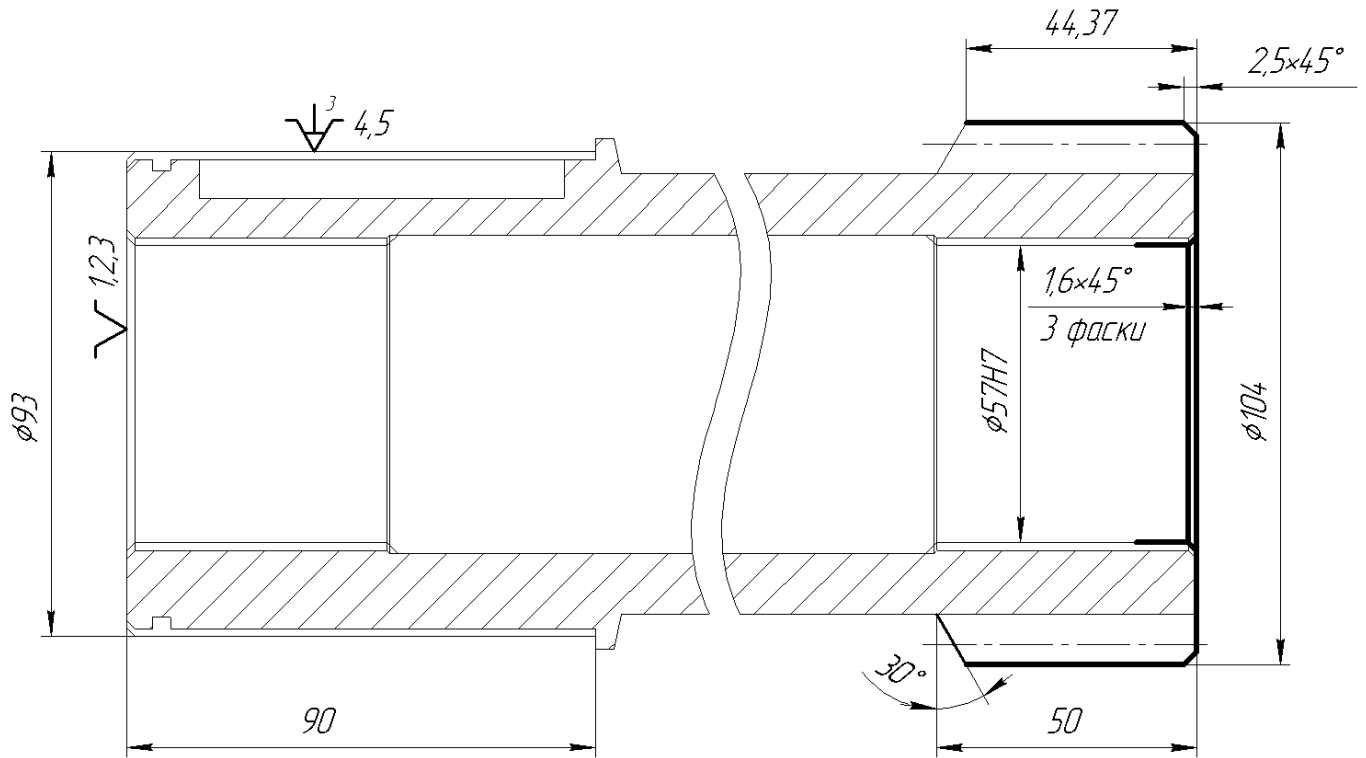


Рисунок 5.3 – Схема базування і закріплення на операції 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК» – установ 2

На операції 025 «Зубофрезерна» формуються зуб'я майбутньої деталі. Заготовка встановлюється у затискний пристрій та базується по отвору і торцям, лишаючись п'яти ступенів волі (рис. 5.4). Фіксується положення оправкою оправку. Операція виконується з одного установа.

На креслені деталі «Вал проміжний» бачимо, що допуск радіального биття зубів відносно поверхонь Б і В 0,04 мм. Пропонована схема базування забезпечує виконання даної умови і є цілком прийнятною.

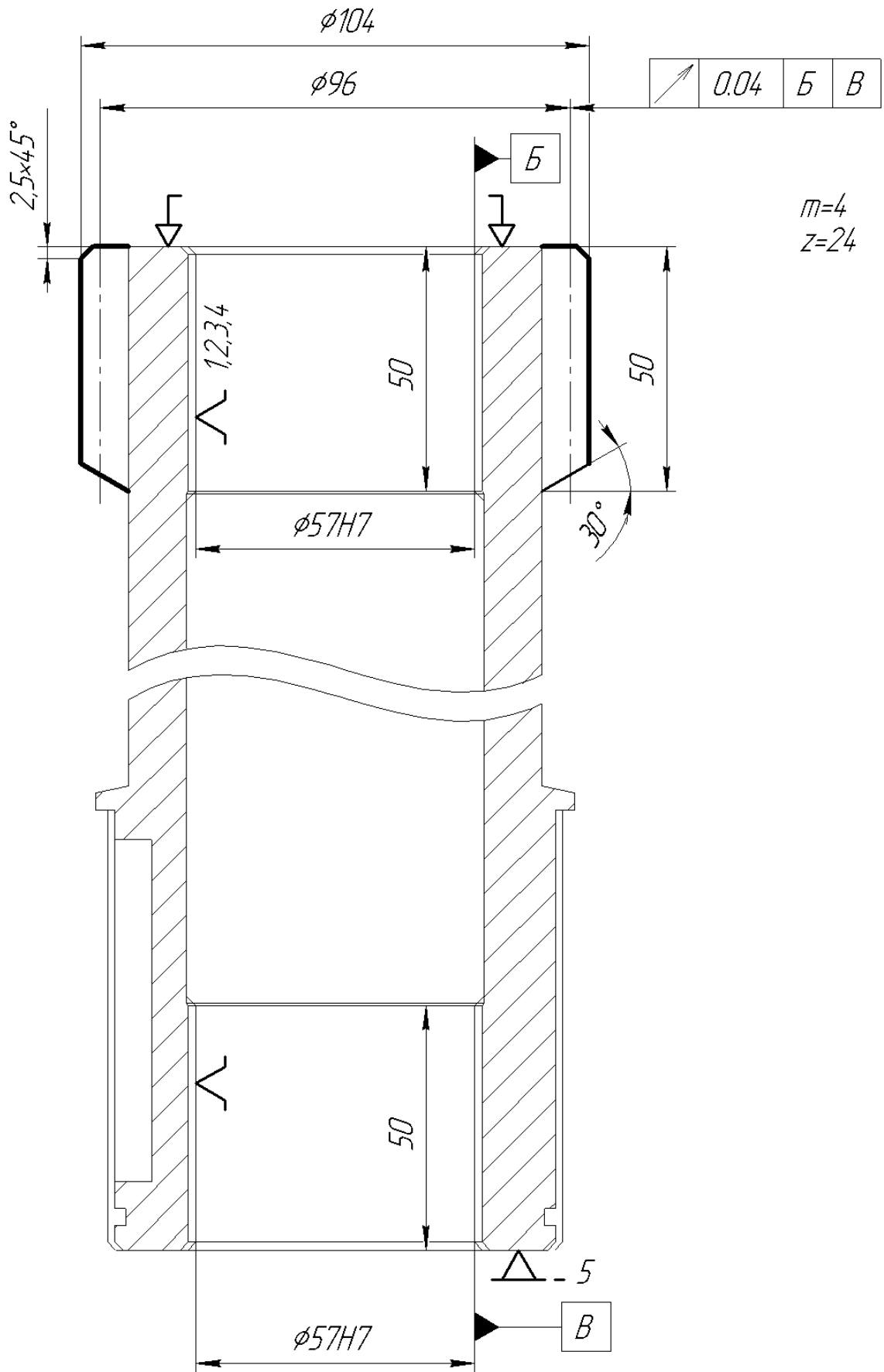


Рисунок 5.4 – Схема базування і закріплення на операції 025 «Зубофрезерна»

5.3 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів

На операції 005 «Заготівельна» використовується стрічкова пила по металу Holzmann BS 370 TOP 400V (рис. 5.5). Верстат має потужний двошвидкісний електродвигун, що гарантує постійну швидкість руху пильного полотна у двох діапазонах 34 та 68 м/хв за будь-яких навантажень. Вони застосовуються на невеликих виробництвах у штучному та дрібносерійному виробництві, призначені для розпилу інструментальних та нержавіючих сталей, кольорових та легких металів, як профілів, так і суцільних заготовок. Його характеристики наведені у таблиці 5.2.



Рисунок 5.5 – Загальний вигляд стрічкова пила по металу Holzmann BS 370 TOP 400V

Таблиця 5.2 – Характеристика стрічкової пилки по металу Holzmann BS 370

TOP 400V

Найменування характеристики	Величина
Напруга, В	400
Робоча зона, мм	2200 x 1800 x 2100
Висота робочого столу, мм	900
Максимальний діаметр різання круглої заготовки	
90°	Ø 270
+45°	Ø 240
+60°	Ø 160
-45°	Ø 210
Потужність, кВт	1,5
Потужність електродвигуна насоса рідини, що охолоджує, Вт	1,5 та 2,1
Кількість швидкостей, шт.	2
Швидкість різального полотна, м/хв	34 та 68
Розмір стрічкового полотна ДхШхТ, мм	3160 x 27 x 0,9
Вага брутто, кг	490
Вага нетто, кг	420
Габарити ШхДхВ, мм	765 x 1770 x 1120
Рівень звукового тиску, дБ(А)	75,6
Рівень звукової потужності, дБ(А)	88,5

На операції 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК» у базовому технологічному процесі використовується точіння, свердлування та розточування на токарно-гвинторізному верстаті моделі 1К62. Це застаріле універсальне обладнання. Замість нього пропонуємо токарно-фрезерний верстат моделі СТХ alpha 500 (рис. 5.6). Він має наступні переваги:

- максимальна стабільність і довгострокова точність обробки;
- висока точність із лінійними шкалами по осі X;
- скорочення кількості операцій механічної обробки, об'єднавши токарну обробку з фрезерною;
- зменшення кількості обладнання для виробництва деталі;
- зменшення часу на обробку.



Рисунок 5.6 – Загальний вигляд верстату СТХ alpha 500

У таблиці 5.3.1 наведені основні технічні характеристики токарно-фрезерного верстату з ЧПК моделі СТХ alpha 500.

Таблиця 5.2 – Технічна характеристика верстату CTX alpha 500

Найменування характеристики	Величина
<p>Робоча зона</p> <ul style="list-style-type: none"> – максимальний діаметр деталі, що встановлюється, мм 500 – максимальний діаметр точіння, мм 200 – максимальна довжина заготовки при обробці в центрах (оброблювана), мм 500 – максимальна довжина заготовки за наявності противошпинделя (оброблювана), мм 470 – максимальний діаметр затискного патрона, мм 255 	
<p>Головний шпиндель</p> <ul style="list-style-type: none"> – максимальна частота обертання шпинделя, об/хв 6000 – потужність (тривалість включення 100 %), кВт 13 – крутний момент (тривалість включення 100%), Нм 172 – діаметр шпинделя у передньому підшипнику: 100 мм 100 – максимальний внутрішній діаметр затискної втулки: 66 мм 66 	
<p>Револьверна головка</p> <ul style="list-style-type: none"> – кріплення інструменту з VDI/DIN 69880: 12 12 – кількість приводних інструментів/макс. частота обертання, об/хв 12/5000 – потужність (тривалість включення 100%), кВт 3 – крутний момент (тривалість включення 100%), Нм 13 	
<p>Супорт револьверної головки</p> <p>Прискорений хід осей X/Y/Z, м/хв.</p>	30/22,5/30
<p>Вага верстата, кг</p>	5000

На операції 020 «Зубофрезерна» формуються зуб'я на зубофрезерному верстаті моделі 5К310 (рис. 5.7). У пропонованому технологічному процесі цей верстат збігається з базовим. Через те, що деталь має одиничне виробництво, використання більш сучасного та дорогого обладнання на цій операції не є раціональним. У таблиці 5.3.2 наведені основні технічні характеристики зубофрезерного верстату моделі 5К310.



Рисунок 5.7 – Загальний вигляд верстату 5К310

Таблиця 5.3 – Технічна характеристика верстату 5К310

Найменування характеристики	Величина
Найбільший модуль колеса, що нарізається, мм	4
Найбільший діаметр нарізних циліндричних прямозубих коліс (0°) із задньою стійкою (з контрпідтримкою), мм	200

Продовження таблиці 5.3

Найбільший кут нахилу зуб'їв, що нарізаються, оброблюваних коліс, град	±60
Діаметр столу, мм	200
Відстань між осями столу та фрези, мм	40...180
Відстань від площини столу до осі фрези, мм	145...365
Прискорене переміщення столу, мм/хв	130
Габаритні розміри верстата (довжина x ширина x висота), мм	2000 x 1300 x 2040
Маса верстата з електрообладнанням та охолодженням, кг	4350

5.4 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів

Операція 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК»

Верстатне пристосування:

патрон трьохкулачковий 7100-0009 ГОСТ 2675-80 з ключем під розмір 14

Металорізальний інструмент:

різець токарний T-Max P DCLNL 1616H 12 з механічним кріпленням твердосплавної пластини CNMG 12 04 08-XMR 4315; різець токарний CoroTurn TR-V13VBN 1616K-S з механічним кріпленням твердосплавної пластини TR-VB1302-F 1125; фреза діаметром 20 мм CoroMill 390 R390-020A20-11L з пластиною R390-11 T3 08M-PM 4220; свердло діаметром 54 мм CoroDrill DS20-D5400L50-05 з периферійною пластиною DS20-0708-P-M7W 4324 та центральною DS20-0708-C-M7 1344; розточний різець T-Max P A25T-DCLNR 12 та пластиною CNGA120408S01525 6050; відрізний різець CoroCut N123G30-21A2 з пластиною L123G2-0300-0503-CR 1125

Вимірювальний інструмент:

калібр-пробка гладка прохідна 8136-0023 Н7 ГОСТ 14815-69; ШЦ- П-250-0.05 ГОСТ166-89; ШР-2 ГОСТ 4126-66.

Операція 025 «Зубофрезерна»

Верстатне пристосування:

патрон трьохкулачковий 7100-0009 ГОСТ 2675-80; оправка циліндрична центрована 7110-0495 ГОСТ 16217-70

Металорізальний інструмент:

Фреза черв'ячна 2510-4088 ГОСТ 9324-80.

Вимірювальний інструмент:

мікрометр МЗ 75-100 ГОСТ 6507-90; штангенциркуль ШЦ-250-0,05 ГОСТ 166-89.

5.5 Визначення режимів різання

Розвиток технологій змінює суспільство. Наше життя постійно трансформується та прагне процвітання. Перед нами виникають нові можливості. У сучасному світі обираючи інструменти з різноманітних каталогів, деякі компанії надають спеціальні калькулятори для індивідуального розрахунку рекомендованих режимів різання.

Після вибору усіх необхідних інструментів для формування поверхні деталі «Вал проміжний» використовуючи каталог компанії Sandvik, також був використаний калькулятор для підбору режимів різання. Усі рекомендації відповідно до кожного інструменту для операції 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК» внесені у таблицю 6.5.1.

Таблиця 5.4 – Режими різання для операції 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК»,
установ 1

Серія інструменту	Швидкість різання, м/хв	Подача, мм/об	Подача на зуб, мм	Глибина різання, мм	Число проходів
Токарний різець T- Max P					
– зовнішнє точіння	330	0,3	-	2,3 1,6	3 1
– підрізання торцю	330	0,311	-	1,5	1
Токарний різець CoroTurn TR	304	0.073	-	0.284 0.229	23 1
Відрізний різець Coro Cut 1-2	170	0.15	-	3	2
Свердло CoroDrill DS20	255	0.178	-	233.5	1
Розточний різець T-Max P					
– чорнове точіння	166	0,138 0,143	-	0,146 0,136	23 1
– чистове точіння	166	0,139 0,143		0,144 0,136	6 1
Фреза торцева CoroMill	412	-	0,12	4,5	2

Таблиця 5.5 – Режими різання для операції 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК»,
установ 2

Серія інструменту	Швидкість різання, м/хв	Подача, мм/об	Глибина різання, мм	Число проходів
Токарний різець T-Max P				
– зовнішнє точіння	330	0,311	1,5	2
– підрізання торцю	330	0,311	1,5	1
Розточний різець T-Max P				
– чорнове точіння	166	0,138	0,146	23
		0,143	0,136	1
– чистове точіння	166	0,139	0,144	6
		0,143	0,136	1

Рекомендовані режими різання для операції 025 «Зубонарізна» наведені у таблиці 6.5.2.

Таблиця 5.7 - Режими різання для операції 025 «Зубонарізна»

Найменування параметру	Величина
Осьова подача фрези (S_o), мм/об	1,63
Швидкість різання, мм/хв.	33,5
Частота обертання фрези, про/хв	85
Потужність, кВт	0,9
Необхідна потужність верстата (з урахуванням ККД), кВт	2,3
Час обробки однієї деталі, хв	27
Стійкість фрези між переточками, шт	8
Час обробки однієї деталі, хв	23

5.6 Технічне нормування операцій

Ефективність проектованого технологічного процесу визначається за трудомісткістю та собівартістю виконання технологічних операцій. В свою чергу, основою для їх розрахунку є технічне нормування операцій.

Виконаємо технічне нормування для операції 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК»

Формула для розрахунку норми штучного часу:

$$t_{\text{шт}} = t_0 + t_{\text{доп}} + t_{\text{обс}} + t_{\text{відп}}, \quad (5.32)$$

де t_0 – основний (технологічний) час, хв;

$t_{\text{доп}}$ – допоміжний час, хв;

$t_{\text{обс.}}$ – час обслуговування робочого місця, хв;

$t_{\text{відп.}}$ – час, необхідний на особисті потреби робітника, хв;

Норма штучно-калькуляційного часу

$$t_{\text{шт.к.}} = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{п.з}}}{n}, \quad (5.33)$$

де $t_{\text{п.з}}$ – підготовчо-заклучний час, хв;

n – кількість деталей у партії.

Підготовчо-заклучний час визначимо за формулою:

$$t_{\text{п.з.}} = t_{\text{п.з.1}} + t_{\text{п.з.2}}, \quad (5.34)$$

де $t_{\text{п.з.1}} = 20$ хв. – час на налагодження верстата;

$t_{\text{п.з.2}} = 5$ хв. – час на отримання і здачу інструмента.

Тоді:

$$t_{\text{п.з.}} = 20 + 5 = 25 \text{ хв.}$$

За допомогою раніше визначених режимів різання, визначаємо основний час за формулою:

$$t_0 = \frac{L_{\text{різ}} + y}{S_0 \cdot n} \cdot i, \quad (5.35)$$

де $L_{\text{різ}}$ – довжина різання;
 y – величина врізання та перебігу;
 i – кількість робочих ходів;
 S_0 – подача;
 n – частота обертання.

Основний час в залежності від інструменту, використовуваного під час обробки на першому установі:

$$t_0 \text{ різ. 1 чор.} = \frac{189,63+2}{0,3 \cdot 1090} \cdot 3 = 1,758 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ різ. 1 н/ч.} = \frac{189,63+2}{0,311 \cdot 1130} \cdot 1 = 0,545 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ різ. 1 торець} = \frac{55+2}{0,311 \cdot 1130} \cdot 1 = 0,162 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ різ. 2 чор.} = \frac{94,13+2}{0,073 \cdot 1140} \cdot 23 = 26,568 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ різ. 2 н/ч.} = \frac{94,13+2}{0,073 \cdot 1150} \cdot 1 = 1,145 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ від. різ.} = \frac{4,5+2}{0,15 \cdot 639} \cdot 2 = 0,136 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ свердло} = \frac{233,5+2}{0,178 \cdot 1500} \cdot 1 = 0,882 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ розт. різ.(1)} = \frac{75+2}{0,139 \cdot 975} \cdot 23 = 13,068 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ розт. різ.(2)} = \frac{75+2}{0,143 \cdot 868} \cdot 1 = 0,620 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ розт. різ.(3)} = \frac{50+4}{0,139 \cdot 975} \cdot 6 = 2,391 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ розт. різ.(4)} = \frac{50+2}{0,143 \cdot 945} \cdot 1 = 0,385 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ фрез.} = \frac{70+0}{0,12 \cdot 6000} \cdot 2 = 0,194 \text{ хв.}$$

Основний час в залежності від інструменту, використовуваного під час обробки на другому установі:

$$t_0 \text{ різ. 1 чор.} = \frac{44,37+2}{0,311 \cdot 981} \cdot 1 = 0,152 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ різ. 1 н/ч.} = \frac{44,37+2}{0,311 \cdot 1010} \cdot 1 = 0,148 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ різ. 1 торець} = \frac{55+2}{0,311 \cdot 2000} \cdot 1 = 0,092 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ розт. різ.(1)} = \frac{65+2}{0,138 \cdot 975} \cdot 23 = 11,453 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ розт. різ.(2)} = \frac{65+0}{0,143 \cdot 868} \cdot 1 = 0,524 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ розт. різ.(3)} = \frac{50+4}{0,139 \cdot 975} \cdot 6 = 2,391 \text{ хв.};$$

$$t_0 \text{ розт. різ.(4)} = \frac{50+0}{0,143 \cdot 945} \cdot 1 = 0,370 \text{ хв.};$$

Для операції 015 значення t_0 буде дорівнювати сумі усіх значень для кожного інструменту та установу розрахованих вище:

$$t_0 = 1,758 + 0,545 + 0,162 + 26,568 + 1,145 + 0,136 + 0,882 + 13,068 + 0,620 + 2,391 + 0,385 + 0,194 + 0,152 + 0,148 + 0,092 + 11,453 + 0,524 + 2,391 + 0,370 = 62,984 \text{ хв.}$$

Далі визначимо допоміжний час $t_{\text{доп}}$ для усієї операції за формулою:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст.зн.}} + t_{\text{кер}} + t_{\text{вим}}, \quad (5.36)$$

де $t_{\text{вст.зн.}} = 6$ хв. – час на встановлення та зняття деталі;

$t_{\text{кер}} = 0,75$ хв. – час на прийоми керування верстатом;

$t_{\text{вим}} = 3$ хв. – час на вимірювання деталі.

Тоді:

$$t_{\text{доп}} = 6 + 0,75 + 3 = 9,75 \text{ хв.}$$

Формула для розрахунку оперативного часу:

$$t_{\text{оп}} = t_0 + t_{\text{доп}}. \quad (5.37)$$

Тоді:

$$t_{\text{оп}} = 62,984 + 9,75 = 72,734 \text{ хв.}$$

Формула для розрахунку часу на обслуговування:

$$t_{\text{обс}} = t_{\text{оп}} * 3,5\%. \quad (5.38)$$

Тоді:

$$t_{\text{обс}} = 72,734 * 0,035 = 2,55 \text{ хв.}$$

Формула для розрахунку часу на відпочинок:

$$t_{\text{відп}} = t_{\text{оп}} * 5\%. \quad (5.39)$$

Тоді:

$$t_{\text{відп}} = 72,7341 * 0,05 = 3,64 \text{ хв.}$$

Тепер ми маємо усі значення для розрахунку норми штучного часу за формулою 5.32:

$$t_{\text{шт}} = 62,984 + 9,75 + 2,55 + 3,64 = 78,924 \text{ хв.}$$

Норма штучно-калькуляційного часу буде складати:

$$t_{\text{шт.к.}} = 78,924 + \frac{25}{10} = 81,424 \text{ хв.}$$

Виконаємо технічне нормування для операції 025 «Зубофрезерна».

За формулою 5.35 визначимо основний час:

$$t_0 = \frac{125+52}{1,63 \cdot 85} \cdot 1 = 1,278 \text{ хв.}$$

Час на налагодження верстата дорівнює 15 хв., час на отримання і здачу інструмента дорівнює 5 хв. Відповідно до формули 5.34 підготовчо-заклучний час буде:

$$t_{\text{п.з.}} = 15 + 5 = 20 \text{ хв.}$$

Далі визначимо допоміжний час для усієї операції за формулою 5.36:

$$t_{\text{доп}} = 4,5 + 1 + 2 = 7,5 \text{ хв.}$$

При цьому час на встановлення та зняття деталі = 4,5 хв., час на прийоми керування верстатом = 1 хв. та час на вимірювання деталі = 2 хв.

Оперативний час для операції 025:

$$t_{\text{оп}} = 1,278 + 7,5 = 8,778 \text{ хв.}$$

За формулою 5.38 розрахуємо час на обслуговування:

$$t_{\text{обс}} = 8,778 * 0,035 = 0,307 \text{ хв.}$$

Розрахуємо час на відпочинок:

$$t_{\text{відп}} = 8,778 * 0,05 = 0,439 \text{ хв.}$$

За формулою 5.32 визначимо норму штучного часу:

$$t_{шт} = 1,278 + 7,5 + 0,307 + 0,439 = 9,524 \text{ хв.}$$

Норму штучно-калькуляційного часу розраховуємо за формулою 5.33:

$$t_{шт.к.} = 9,524 + \frac{20}{10} = 11,524 \text{ хв.}$$

Після розрахунку усіх необхідних норм часу, внесемо дані в таблицю 5.8.

Таблиця 5.8 – Результати технічного нормування

Найменування операції	t_o , хв	$t_{доп}$, хв	$t_{оп}$, хв	$t_{шт}$, хв	$t_{п.з}$, хв	$t_{шт.к.}$, хв
015 - Токарно-фрезерна з ЧПК	62,984	9,75	72,734	78,924	25	81,424
025 - Зубофрезерна	1,278	7,5	8,778	9,524	20	11,524

6 ВИБІР ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ

На операції 050 виконується точіння циліндричних та торцевих поверхонь деталі «Вал проміжний». Обробка ведеться на трьохкулачковому пневматичному патроні KS160-3 (рис. 6.1).



Рисунок 6.1 – Загальний вигляд трьохкулачкового пневматичного патрона KS160-3

Токарний патрон – спеціальний пристрій для кріплення деталей або інструменту на осі шпинделя. Він є важливим елементом оснастки токарного верстата. Надійність закріплення заготовки на верстаті, в значній мірі впливає на точність обробки. Для виготовлення токарних патронів використовується сталь та чавун. Особливо міцними виконуються кулачки для токарних патронів, які зазнають значних поверхневих навантажень у процесі роботи. Тому для їх виробництва застосовується високоякісна сталь, яка піддається загартування.

Трьохкулачковий пневматичний патрон складається з двох частин: безпосередньо патрона та пневматичного механізму, який містить повітряний циліндр, поршнево-штокову пару та повітропровід з арматурою.

Технічні характеристики трьохкулачкового пневматичного патрона KS160-3 наведені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Характеристики трьохкулачкового пневматичного патрона KS160-3

Найменування характеристики	Величина
Хід губки (діаметр), мм	4,4
Максимальна статична сила затиску, кН	48
Максимальна статична сила утримання, кН	26
Діапазон тиску, МПа	0,4-0,8
Гранична швидкість, об/хв	3000
Діапазон затиску, мм	4-180
Діапазон утримання, мм	18-180
Вага, кг	15

Виконаємо розрахунок коефіцієнту запасу:

$$K=K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (6.1)$$

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

$K_1 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує зміну сили різання;

$K_2 = 1,03$ – коефіцієнт, що враховує зростання сил різання при затупленні інструментів;

$K_3 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при переривчастому різанні

$K_4 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вид приводу пристрою

$K_5 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток у ручних затискачах

$K_6 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує наявність моментів, що прагнуть повернути заготівлю на опорах

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,03 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,545$$

Виконаємо розрахунок для тангенціальної сили різання, максимальне навантаження при точінні за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_{pz} \cdot t \cdot S^{0.75} \cdot V^{0.15} \cdot K_p, \quad (6.2)$$

де $C_p = 300$ – коефіцієнт, що показує сумарний вплив параметрів режиму різання;

$t = 1.5$ мм – глибина різання;

$S = 0,073$ – подача;

$V = 304$ – швидкість різання;

$K_p = 0,846$ – поправочний коефіцієнт.

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 0,073^{0.75} \cdot 304^{0.15} \cdot 0,846 = 227 \text{ Н}$$

Формула для розрахунку сили затиску:

$$Q = k \sqrt{\left(\frac{P_z D_1}{3f D_2}\right)^2 + \left(\frac{P_x}{3f}\right)^2}, \quad (6.3)$$

де $k = 1,5$ – коефіцієнт запасу;

$P_z = 227$ – окружна сила;

$P_x = 0,4$ – осьова сила;

$f = 0,16$ – коефіцієнт тертя;

$D_1 = 93$ мм – діаметр оброблюваної поверхні;

$D_2 = 104$ мм – діаметр базової поверхні.

$$Q = 1,5 \sqrt{\left(\frac{227 \cdot 93}{3 \cdot 0,16 \cdot 104}\right)^2 + \left(\frac{0,4}{3 \cdot 0,16}\right)^2} = 634 \text{ Н}$$

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота включала в себе різні етапи. Було виконано наступне:

1. Проведений аналіз службового призначення токарного верстата з ЧПК моделі 16К30Ф3 та деталі «Вал проміжний», який входить до коробки швидкостей. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації.
2. Виконаний аналіз технологічності конструкції деталі.
3. Встановлений тип виробництва – дрібносерійний.
4. Обраний оптимальний метод отримання заготовки – прокат.
5. Розроблений технологічний процес виготовлення деталі «Вал проміжний». Розраховані припуски та допуски для поверхні $\varnothing 90k6$. Виконаний аналіз та обґрунтування схем базування й закріплення заготовки на операціях 015 «Токарно-фрезерна з ЧПК» та 025 «Зубофрезерна». До них же визначені режими різання, обґрунтований вибір верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів, виконане технічне нормування. Для трьох операцій обґрунтований вибір металорізальних верстатів.
6. Обґрунтований вибір верстатного пристрою, а саме трьохкулачкового пневматичного патрону.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

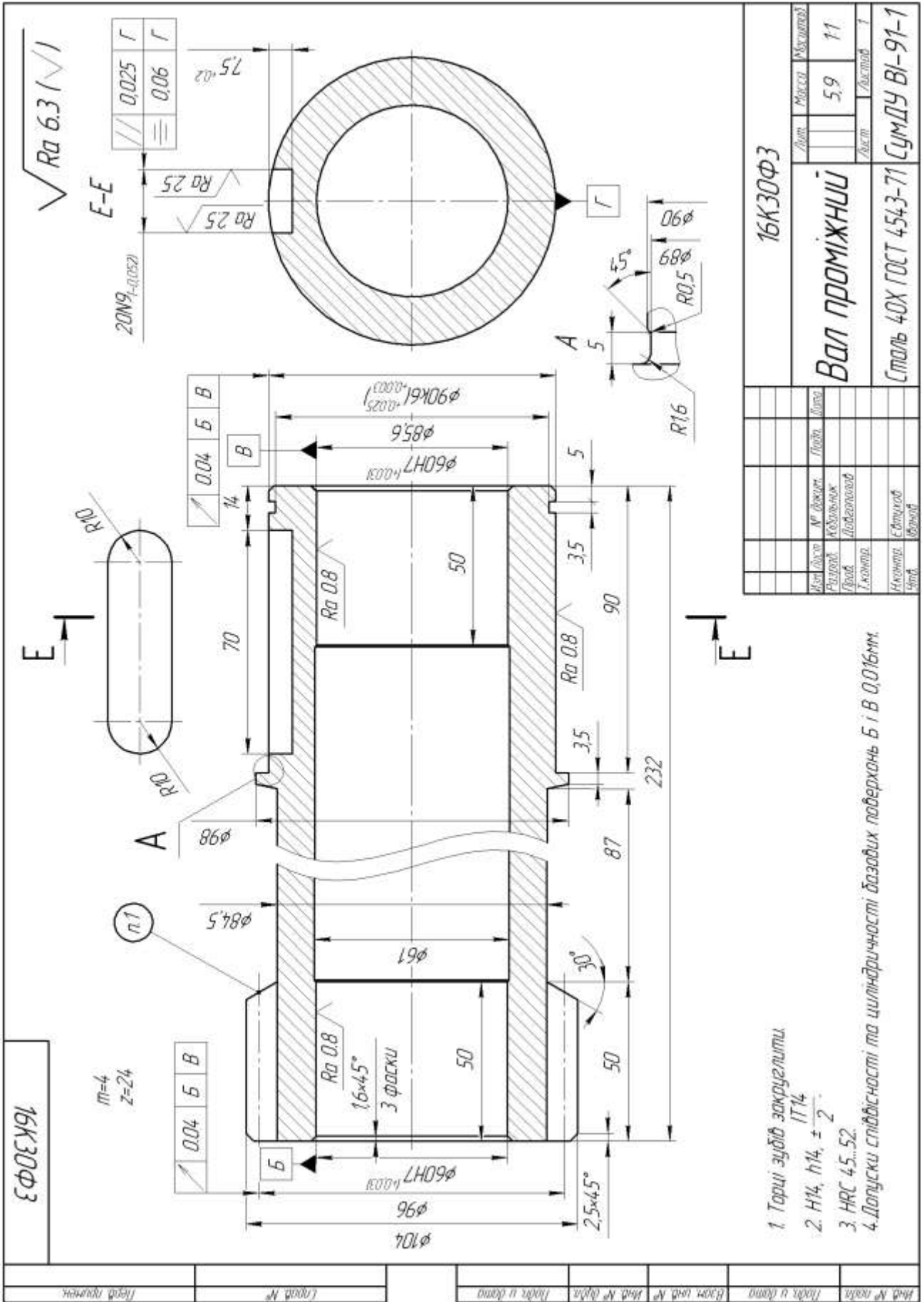
1. **Добрянський, С. С.** Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафеев; КПШ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПШ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
2. **Попович, В. В.** Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підруч. для вищ. навч. закл. / В. В. Попович, В. В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.
3. **Бойко, Ю. І.** Технологія машинобудування. Курсове проектування: навч. посіб. / Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко. – Київ: НУХТ, 2018. – 195 с.
4. **Мазур, М. П.** Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога та ін.; під заг. ред. М. П. Мазура. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2011. – 422 с.
5. **Паливода, Ю. Є.** Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Р. Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
6. **Петров, О. В.** Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 123 с.
7. **Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проектів з технології машинобудування: у 2 ч. – Ч. 1. Загальні відомості / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 55 с.**
8. **Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проектів з технології машинобудування : у 2 ч. – Ч. 2. Приклади оформлення технологічної документації / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 59 с.**

9. **Петраков, Ю. В.** Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 1 [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 288 с.

10. Sandvik Coromant [Електронний ресурс]: Інструменти – режим доступу до каталогу інструментів: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools>.

11. Токарно-фрезерний верстат з ЧПК моделі CTX alpha 500 [Електронний ресурс]: WEB-сайт. – Режим доступу: <https://en.dmgmori.com/products/machines/turning/universal-turning/ctx/ctx-alpha-500>.
– Назва з екрану.

ДОДАТОК А
КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ



ДОДАТОК Б

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Надання першої допомоги в разі ураження людини електричним струмом.

Електричний струм — невидимий для людини, не має запаху та кольору. Тому його важко виявити. Ураження відбувається коли людина, з одного боку, доторкається неізольованого проводу, металевого корпусу електроприладу з несправною ізоляцією або металевого предмета під напругою, а з іншого боку — землі, заземлених предметів, труб тощо.

Вплив електричного струму на організм залежить від типу струму, напруги, тривалості його проходження, шляху проходження, індивідуальних особливостей і навколишнього середовища.

Електротравми бувають двох видів:

- місцева, коли виникає локальне ураження організму;
- загальна (електричний удар), коли уражається або виникає загроза ураження всього організму через порушення нормальної діяльності життєво важливих органів і систем.

Залежно від наслідків ураження електричні удари поділяють на ступені:

- I ступінь — судомне, ледве відчутне скорочення м'язів;
- II ступінь — судомне скорочення м'язів без втрати свідомості;
- III ступінь — судомне скорочення м'язів із втратою свідомості;
- IV ступінь — втрата свідомості і порушення серцево-судинної діяльності та дихання;
- V ступінь — стан клінічної смерті.

Смертельне ураження електричним струмом може настати за його напруги 127—220 В і більше. При ураженні струмом напругою понад 10 000 В смерть настає від значних опіків.

Ніколи не можна відмовлятися від надання допомоги та вважати її мертвою лише через відсутність дихання, серцебиття або пульсу. Рішення про доцільність застосування заходів з оживлення та висновок про стан потерпілого приймають лікарі.

Перед наданням першої допомоги потрібно оцінити обстановку та переконатися у власній безпеці. Якщо є небезпека, викличте аварійно-рятувальну службу. Доки вона прибуде — попереджайте про небезпеку довколишніх.

Найпростіші дії надання першої допомоги збільшують шанси на порятунок потерпілого на 30%, якщо їх виконають протягом перших чотирьох хвилин. Очікувати, що медичні працівники швидко прибудуть на місце події, не варто. Тож вміння працівників надавати першу допомогу має істотне значення для порятунку життя людини. Діяти потрібно у такій послідовності.

Спочатку потрібно звільнити потерпілого від струмопровідних частин обладнання, а саме: якомога швидше відключити ту частину електрообладнання, до якої доторкається людина.

Ураження струмом у більшості випадків призводить до судом м'язів, тому сам потерпілий не може розірвати контакт з провідником.

Під час знеструмлення електрообладнання одяг та поверхня тих предметів, якими до нього торкаються, мають бути абсолютно сухими, адже вологі або мокрі предмети є гарними провідниками струму. Звільнити особу від струмопровідних частин або дроту в електроустановках напругою до 1000 В можна за допомогою:

- палиці;
- дошки;
- шапки;
- сухих рукавиць;
- рукавів одягу;
- діелектричних рукавиць.

Для звільнення потерпілого від струмопровідних частин під напругою понад 1000 В слід одягнути діелектричні рукавиці та боти і діяти штангою або ізолювальними кліщами, розрахованими на відповідну напругу.

Провідники потрібно перерізати інструментом з ізольованими ручками або перерубати сокирою з дерев'яним сухим топорищем.

Потерпілого можна відтягнути за одяг подалі від місця ураження, не торкаючись при цьому відкритих частин його тіла та металевих предметів, розташованих поруч. Також потрібно уникати контакту із його взуттям, яке може бути вологим, а отже гарно проводити електричний струм.

Найкращий варіант — одягнути під час порятунку діелектричні рукавиці. Їх можна обмотати сухим одягом або натягнути на них рукава верхнього одягу. Якщо поруч є гумовий килимок або суха дошка, їх також використовують для того, щоб ізолювати себе.

Потрібно пам'ятати, що приблизно оцінити напругу в електричному ланцюзі — неможливо, отже краще перестраховатися.

Перш ніж оцінити стан потерпілого та розпочати надання першої допомоги, потрібно упевнитися у власній безпеці.

Потерпілого слід переносити в інше місце лише в тих випадках, коли йому та особі, що надає допомогу, продовжує загрозувати небезпека або коли надання допомоги на місці неможливе.

Можна виділити три стани людини залежно від дії електроструму на її організм:

1. Потерпілий при свідомості. Достатньо залишити його під наглядом у стані спокою, викликати медиків.

2. Потерпілий непритомний, однак дихає. Людину кладуть горизонтально, розстібають комір, пасок, послаблюють тісний одяг. До прибуття медичного персоналу можна спробувати привести особу до тями за допомогою нашатирного спирту.

3. У потерпілого уривчасте дихання або він взагалі не дихає. Потрібно здійснювати непрямий масаж серця та штучне дихання до приїзду лікарів швидкої допомоги.

Для того, щоб оцінити стан людини, її можна легенько потручити за плече і голосно запитати про щось. Якщо потерпілий у стані клінічної смерті, негайно розпочинають реанімаційні заходи — штучне дихання та закритий масаж серця. Ці заходи проводять до приїзду швидкої або доки не з'являться ознаки життя. У такому випадку потерпілого переводять у безпечне положення — лежачи на лівому боці.

Якщо постраждалий лежить на висоті, необхідно перед спуском на землю зробити йому штучне дихання безпосередньо в люльці, на щоглі або на опорі.

Якщо потерпілий у свідомості, йому можна дати знеболювальне та заспокійливе.

На місця опіків потрібно накласти стерильні пов'язки. При кровотечі на рану накладають стискаючу пов'язку або джгут.

Незалежно від ступеню ураження струмом, потерпілий ще деякий час має бути під наглядом медичного персоналу. Не варто відправляти таку особу додому або відразу допускати її до роботи. Адже дія електричного струму на організм може проявитися через кілька годин і привести до тяжких наслідків.