

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему «Розроблення технологічного процесу механічної обробки
ступінчастого вала з використанням каталогів інструменту
Sandvik»

Виконав: студент групи Маш-42сп

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Пашко Володимир Володимирович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Швець Олексій Петрович
(Прізвище та ініціали)

Львів-Дубляни 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

Освітній ступінь «Бакалавр»

Спеціальність 133 - Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
Машинобудування
(назва кафедри)

(підпис)
професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
(прізвище та ініціали)

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

Пашку Володимиру Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розроблення технологічного процесу механічної обробки ступінчастого вала з використанням каталогів інструменту Sandvik»

Керівник роботи _____
к.т.н., доцент Швець Олексій Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЛНУП від 25 лютого 2025 року №123/к-с

2. Строк подання студентом роботи до “ ____ ” _____ 20__ року

3. Вихідні дані до работ: довідкова література, характеристики конструкційних матеріалів та типових заготовок, робочі креслення ступінчастих валів, каталоги металообробних верстатів, технологічної оснастки та інструменту, електронні каталоги «Sandvik», методики розробки технологічних процесів, типові технологічні процеси механічної обробки деталей типу «Вал»,

методики розрахунку режимів різання, інструкції з охорони праці, довідкові дані з нормування праці та методики визначення затрат на виробництво.

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

4.1. Конструктивна частина; 4.2. Технологічна частина; 4.3. Вибір інструменту за каталогами «Sandvik»; 4.4. Охорона праці; 4.5. Розрахунок собівартості виготовлення ступінчастого вала.

5. Перелік графічного матеріалу:

Графічні матеріали до роботи виконати у вигляді презентації в середовищі PowerPoint обсягом 10-12 листів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		Завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 5	Швець О.П. доц. каф. машинобудування			
4	Городецький І.М. доц. каф. фізики та інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання “ ____ ” _____ 20__ року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Конструктивна частина	21.03.25	
2	Технологічна частина	04.04.25	
3	Вибір інструменту за каталогами «Sandvik»	25.04.25	
4	Охорона праці	02.05.25	
5	Розрахунок собівартості виготовлення ступінчастого вала	16.05.25	
6	Оформлення пояснювальної записки	30.05.25	
7	Оформлення графічної частини	16.06.25	

Студент

(підпис)

Пашко В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Швець О.П.

(прізвище та ініціали)

Пашко В.В. «Розроблення технологічного процесу механічної обробки ступінчастого вала з використанням каталогів інструменту Sandvik».
/Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, 2025. 53 с.

Проведено аналіз конструкцій ступінчастих валів та існуючих технологій їх виготовлення. Проаналізовано можливі технологічні матеріали та обґрунтовано вибір необхідного типу заготовки. Запропоновано технологію виготовлення ступінчастого вала з використанням інструменту фірми Sandvik. Розроблено маршрут обробки заготовки, підібрано необхідне технологічне обладнання та визначено параметри його роботи. Описано особливості вибору технологічного інструменту за каталогами Sandvik. Розглянуто питання охорони праці під час роботи на металообробних верстатах. Визначено собівартість виготовлення вала за запропонованою технологією.

Табл. 15; рис. 17; бібліогр. джерел 21; дод. 1.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА	6
1.1 Аналіз експлуатації деталі у машинобудуванні	6
1.2 Огляд конструктивних та експлуатаційних вимог до деталі	6
1.3 Вибір матеріалу вала	8
1.4 Вибір заготовки	9
1.5 Вибір технологічних баз	11
Висновки за розділом	12
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	13
2.1 Розробка маршрутного операційного процесу	13
2.2 Призначення технологічних переходів для процесу обробки вала	14
2.3 Розробка операційного технологічного процесу	20
2.4 Нормування технологічних операцій	25
Висновки за розділом	27
3 ВИБІР ІНСТРУМЕНТУ ЗА КАТАЛОГАМИ «SANDVIK»	28
3.1 Загальні вимоги до вибору інструменту	28
3.2 Вибір інструменту для токарної операції	29
3.3 Вибір інструменту для фрезерної операції	37
Висновки за розділом	40
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	41
4.1 Аналіз вимог з охорони праці під час роботи на верстатах	41
4.2 Логічне моделювання виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків під час роботи на металообробних верстатах	43
Висновки за розділом	45
5 РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА	47
Висновки за розділом	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	51
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	52
ДОДАТКИ	54

ВСТУП

Стан розвитку промисловості країни в значній мірі залежить від продуктивності праці. Сучасні умови виробництва визначаються рівнем розвитком технологій та використанням високоякісних та продуктивних машин у всіх сферах та галузях. Це стосується й галузі машинобудування, яка займається розробкою та виробництвом машин, обладнання та їх складових.

Машини полегшують життя людини та підвищують продуктивність її праці. Розробка машин є непростим процесом, в якому із сировини та заготовок виробляють деталі та конструюють машини.

У процесі виробництва, на кожному етапі можуть виникати проблеми, пов'язані з вимогами якості деталей, заданих конструктором. Весь процес складається з досить складної технічної системи, яка включає в себе верстати, технологічне оснащення, ріжучий інструменти та заготовки. Це формує особливий напрямок покращення технології машинобудування як наукової дисципліни.

Підготовка до проектування технологічного процесу деталі починається з вивчення вимог до її конструктивних і експлуатаційних параметрів, а також критичного аналізу необхідної точності та інших технічних вимог. Далі, за визначеною послідовністю розробляється технологічний процес. Це об'єднує технологію зі службовим призначенням деталі та гарантує відповідність та правильність рішення, що приймаються на різних етапах технічної підготовки виробництва.

Ефективність запропонованої технології в значній мірі залежить від її технічного забезпечення, зокрема від ефективності вибору необхідних технологічних інструментів та пристроїв. Тому вирішення питання використання каталогів сучасного інструменту є актуальним питанням організації машинобудівного виробництва в цілому.

1. КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз експлуатації деталі у машинобудуванні

Вали механічних передач, як елементів різноманітних машин і обладнання, функціонують в умовах високих навантажень та частот обертання. Це характеризує високі вимоги до них та відносить їх до найбільш відповідальних деталей машини. Значні пошкодження або повне руйнування вала може спричинити вихід з ладу всієї конструкції механізму. Через це до валів ставлять високі вимоги за всіма характеристиками, як за точністю виготовлення, так і за міцністю, жорсткістю, стійкістю та обмеженням в коливаннях.

Вали призначені для передачі крутного моменту та монтажу на них різних деталей та механізмів. Ступінчасті вали поділяються на гладкі, фланцеві та вали-шестірні. Так чи інакше, вони є поєднанням гладких посадкових та непосадкових, шліцевих, шпонкових, різьбових та перехідних поверхонь. Для того щоб зробити вал легше їх досить часто роблять порожнистими [1, 4].

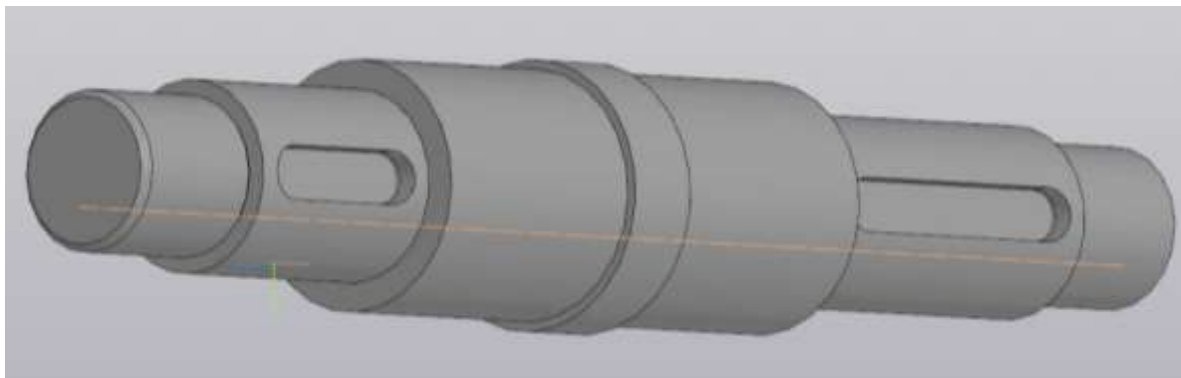


Рисунок 1.1 – 3D модель ступінчастого вала

1.2 Огляд конструктивних та експлуатаційних вимог до деталі

Найбільш складними в розробці, а також виготовленні серед усіх валів є ступінчасті вали. Причиною цього є наявність в них шийок під підшипники та зубчасті колеса (цапф), шпонкових канавок, шліцевих, різьбових та конусних

поверхонь. З точки зору економічності розробки слід вважати найбільш технологічними конструкція валів, у яких передбачається збільшення діаметрів до кінця або ж у центрі вала.

Під час експлуатації на вал впливають зусилля згину та кручення, а в окремих випадках, вали можуть піддаватись і деформації розтягу. Крутний момент зазвичай передається не на всій довжині, а згинальні моменти на опорах валу дорівнюють нулю. Тому бажано конструювати вали змінного перерізу, які наближаються до тіл рівного опору. Ступінчасті вали легкі у проектуванні та виготовленні, за рахунок своєї форми.

Форми валів визначають розподіл згинальних і крутних моментів по їх довжині. Добре продумане проектування вала характеризується балкою рівного опору. За співвідношенням довжини вала до середнього діаметру (L/D), при якому значення менше 10, їх відносять до жорстких валів, при більшому значенні їх визначають як не жорсткий вал.

Вали мають обертовий рух, а відповідно, зазнають змінних навантажень, напружень та деформації. Тому пошкодження валів носять втомний характер [1].

Технологічність форм деталі розцінюють з урахуванням специфічності обраного способу обробки, конкретних умов та типу виробництва, а також технологічних можливостей та специфіки виробу. Крім стандартних вимог, до технологічності валів пред'являються деякі специфічні вимоги:

- перепади діаметрів ступінчастих валів мають бути мінімальними;
- довжини ступенів валів бажано проектувати рівними;
- шліцеві та різьбові ділянки валів бажано конструювати відкритими або закінчувати канавками для виходу інструменту. На валу канавки необхідно задавати однакової ширини;
- вали повинні мати центрувальні отвори [10].

Як і будь-яка інша деталь вал може зношуватися. Зношування, зазвичай, має втомний характер, однак є також низка причин, які посилюють зношування частин виробу, зокрема:

- вільна посадка;
- зношування шийок при монтажі та демонтажі підшипників;
- шорсткість і твердість поверхні;
- дефекти, які усувають під час ремонту.

1.3 Вибір матеріалу вала

Визначення необхідного матеріалу та способу його обробки залежить від призначених умов працездатності. Вали переважно виготовляють з конструкційних та легованих сталей, до яких висуваються вимоги підвищеної міцності, кращої оброблюваності, невеликої чутливості до концентрації напружень, а також поліпшеної зносостійкості. Досить рідко вали відливають із чавуну.

В основному використовуються для виготовлення валів термічно оброблювані сталі 45, 40 Х. Для високонапружені валів відповідальних механізмів і машин застосовують леговані сталі 40ХН, 40 ХР2МА; 30ХГТ та ін.

Висока твердість цапф є особливим критерієм швидкохідних валів, які обертаються в підшипниках ковзання. Такі вали виготовляють із цементованих сталей 12Х, 12ХН3А; 1ХХГТ.

В основному критеріями працездатності валів є їх жорсткість, об'ємна міцність та зносостійкість при відносних переміщеннях, які спричиняють корозію.

У нашій роботі вал буде виготовлятися зі сталі 40Х. Для вибору відповідного способу виготовлення заготовки доцільно провести аналіз хімічного складу даного матеріалу [11].

Таблиця 1.1 - Хімічний склад сталі 40Х за вмістом компонентів, %

С	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu	N
0,32- 0,40	0,17- 0,37	0,50- 0,80	до 0,25	до 0,30	до 0,40	до 0,035	до 0,30	до 0,008

1.4 Вибір заготовки

До заготовок для виготовлення ступінчастих валів висуваються свої вимоги, такі як:

- наближення форми та розмірів заготовки до форми та розмірів готової деталі, тобто зменшення припусків на обробку та підвищення їх точності;
- технологічність конструкції заготовки;
- можливість застосування найбільш прогресивних методів отримання заготовки;
- наявність зручних та надійних технологічних баз та поверхонь для транспортування [21].

Заготовки для валів отримують відрізанням від гарячокатаних або холоднотягнутих нормальних прутків і безперечно піддають механічній обробці.

Прокат круглого перерізу надходить на машинобудівні заводи у вигляді багатометрових прутків, з яких у заготівельних цехах нарізаються заготовки необхідної довжини. Різання може бути проведено різними способами на різному устаткуванні з дотриманням певних умов. Процес має бути продуктивним, забезпечувати необхідну точність по довжині заготовки, перпендикулярність торців вала, необхідну якість поверхні торців, включаючи задану шорсткість, а також мінімальні втрати металу.

При виборі заготовки, з якої виготовлятиметься ступінчастий вал, будемо керуватиметься такими положеннями: матеріалом, з якого виготовляється деталь; якістю поверхневого шару та масою, а також коефіцієнтом використовуваного матеріалу.

Матеріалом виготовлення вала прийнято сталь 40Х [11]. Поверхню деталі складають прості циліндричні поверхні, які одержують в результаті механічної обробки різанням.

Як заготовку для виготовлення деталі приймаємо круглий прокат діаметром 72 мм (за найбільшим діаметром деталі).

Заготовка: Циліндр $\frac{72 \text{ ДСТУ 7806:2015}}{\text{Сталь 40Х ДСТУ 7806}}$

Прийmemo, що обрізання заготовки проводиться на фрезерно-відрізному верстаті (точність обрізки – до 4,5 мм) Виходячи з цього, довжину заготовки беремо більшою за довжину деталі на величину припуску під обробку торцевих поверхонь [21].

Маса заготовки визначається за наступною залежністю:

$$m_{\text{заг}} = v_{\text{заг}} \cdot \rho, \quad (1.1)$$

де $v_{\text{заг}}$ – об'єм заготовки, який визначається за формулою:

$$v_{\text{заг}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{заг}}^2 \cdot L_{\text{заг}}}{4}, \text{ м}^3 \quad (1.2)$$

де $\rho = 7820 \text{ кг/м}^3$ – щільність сталі.

$L_{\text{заг}}$ – довжина заготовки, м.

Враховуючи довжину деталі $L_{\text{д}} = 376 \text{ мм}$, точність відрізання 4,5 мм та припуск на обробку торців вала 2,5 мм, необхідна довжина заготовки $L_{\text{заг}}$ становитиме:

$$L_{\text{заг}} = 376 + 2 \cdot (4,5 + 2,5) = 390 \text{ мм} = 0,39 \text{ м}.$$

Тоді

$$v_{\text{заг}} = \frac{3,14 \cdot 0,072^2 \cdot 0,39}{4} = 0,00155 \text{ м}^3$$

Після підстановки відповідних значень у формулу (1.1) отримаємо масу заготовки:

$$m_{\text{заг}} = 0,00155 \cdot 7820 = 12,1 \text{ кг}.$$

Об'єм одержуваної деталі визначимо як суму об'ємів елементарних поверхонь:

$$v_{\text{д}} = \sum_{i=1}^m \frac{\pi \cdot D_i^2 \cdot L_i}{4}, \text{ м}^3 \quad (1.3)$$

Об'єми елементарних поверхонь деталі наведені в таблиці 1.2.

Масу одержуваної деталі визначимо за формулою (1.1), підставивши замість значення об'єму заготовки - чисельне значення сумарного об'єму деталі:

$$m_{\text{д}} = 903,82 \cdot 10^{-6} \cdot 7820 = 7,067 \text{ кг}$$

Таблиця 1.2 - Результати розрахунків об'ємів елементарних поверхонь деталі

№ поверхні	Діаметр поверхні, D_i , м	Довжина поверхні, L_i , м	Об'єм поверхні, v_i , м ³	Загальний об'єм деталі, v_D , м ³
2	0,07	0,02	$76,93 \cdot 10^{-6}$	$903,82 \cdot 10^{-6}$
3	0,065	0,064	$212,26 \cdot 10^{-6}$	
4	0,065	0,064	$212,26 \cdot 10^{-6}$	
5	0,05	0,09	$176,62 \cdot 10^{-6}$	
6	0,05	0,06	$117,75 \cdot 10^{-6}$	
7	0,042	0,039	$54 \cdot 10^{-6}$	
8	0,042	0,039	$54 \cdot 10^{-6}$	

Використовуючи маси заготовки та оброблюваної деталі визначимо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{вм}} = \frac{m_d}{m_{\text{заг}}}, \quad (1.4)$$

Після підстановки відповідних значень отримаємо:

$$K_{\text{вм}} = \frac{7,067}{12,1} = 0,58.$$

1.5 Вибір технологічних баз

Основними базами переважної більшості валів та осей є поверхні його опорних шийок чи інші посадкові місця. Однак, використовувати їх як технологічні бази для обробки зовнішніх поверхонь, як правило, важко.

Під час підбору технологічних баз слід вважати конструкторську, технологічну та вимірювальну бази, тобто використовувати принцип єдності баз за [15]. Також слід намагатися використовувати одну і ту ж базу на різних

операціях. Виходячи з цього, для обробки ступінчастого вала на технологічних операціях приймаємо такі схеми базування (рис. 1.2).

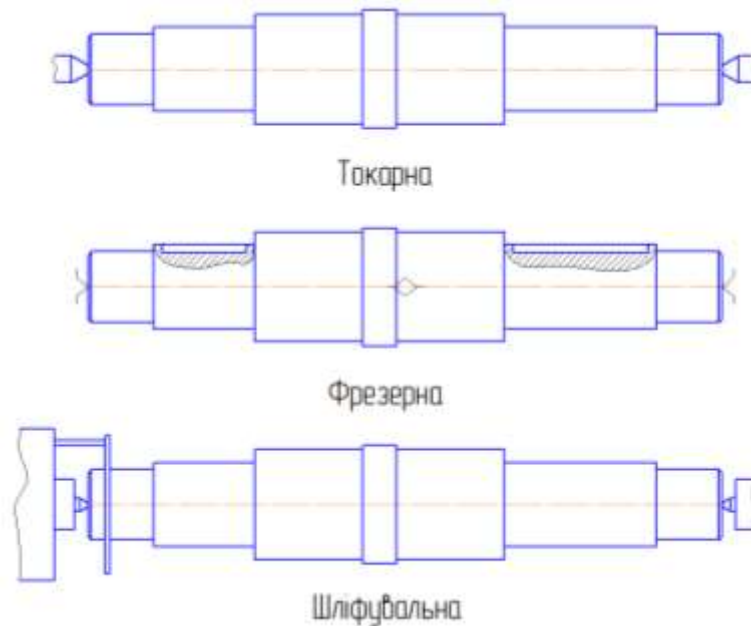


Рисунок 1.2 - Схеми базування заготовки під час механічної обробки вала

Для реалізації обраних схем базування на токарній та шліфувальній операції як пристосування приймаємо патрон трикулачковий самоцентрований згідно [3], обертовий центр і повідковий патрон по [7].

Для реалізації обраних схем закріплення при фрезеруванні приймаємо як пристосування опорні призми [7].

Висновки за розділом

В результаті виконання даного розділу роботи було проаналізовано конструкцію деталі, здійснено вибір матеріалу та типу заготовки для її виготовлення. Встановлено, що коефіцієнт використання матеріалу під час виготовлення вала з прокату становитиме 58 %. Таке значення є допустимим під для даного типу заготовок у серійному та масовому виробництві.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка маршрутного операційного процесу

Розробку маршруту технологічного процесу починаємо з викреслювання ескізу деталі. Кожній елементарній поверхні вала присвоюється цифровий індекс (рис. 2.1).

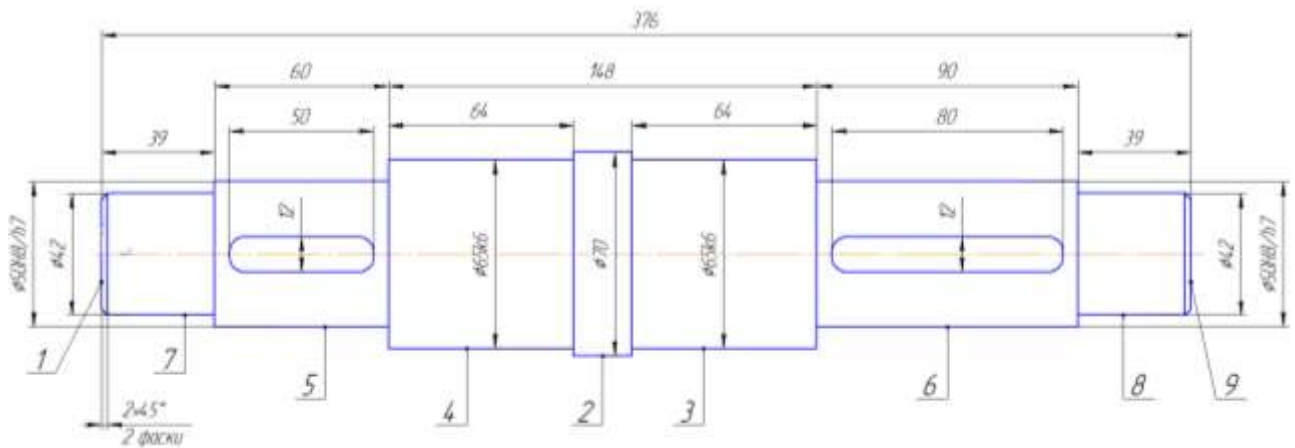


Рисунок 2.1 – Розбивка деталі на елементарні поверхні

Для кожної поверхні визначається спосіб обробки з урахуванням економічної точності (виходячи з можливої досягнутої точності та чистоти поверхні). Одночасно визначається необхідна кількість технологічних переходів для отримання заданої якості кожної елементарної поверхні. Результати подані у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Види обробки елементарних поверхонь

Номер поверхні	Параметри деталі		Технологічні переходи		
	Точність	Шорсткість	Назва переходу	Точність	Шорсткість
1	2	3	4	5	6
1, 9	h14	12,5	Чорнове точіння	h14	12,5
2	h14	1,25	Чорнове точіння	h14	1,25
5, 6	h7	1,25	Напівчистове точіння	h7	1,25

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
3, 4	k6	0,63	Чистове точіння Шліфування	h7 k6	1,25 0,63
7, 8	h8	1,25	Чистове точіння Шліфування	h8	1,25
10-11	h14	12,5	Знімання фаски 2x45	h14	12,5
9-10	P9	6,3/3,2	Фрезерування шпонкового паза	P9	6,3/3,2

Рекомендований технологічний маршрут обробки деталі наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 - Технологічний маршрут обробки ступінчастого вала

№ операції	Назва операції
005	Заготівельна
010	Токарна чорнова
015	Токарна чистова
020	Фрезерна
025	Термічна
030	Шліфувальна
035	Контрольна

2.2 Призначення технологічних переходів для процесу обробки вала

Технологічні переходи є складовими частинами технологічних операцій, з яких складається увесь технологічний процес виготовлення деталі. Під час розробки технології виготовлення та призначення технологічних переходів аналізуються та коротко описуються їх зміст, вказуються поверхні, які будуть оброблятися на тому чи іншому переході, необхідні конструктивні параметри

цих поверхонь, яких слід досягти в результаті обробки заготовки. Також може вказуватися необхідне чи рекомендоване для цього обладнання та оснастка.

У нашому випадку, на початку процесу обробки заготовка надходить на механічну обробку. Основною операцією в даному процесі є токарна обробка. Як видно з табл. 2, циліндричні поверхні деталі отримують шляхом чорнового, напівчистового та чистового точіння. В такому випадку Технологічні переходи операції токарної обробки будуть відбуватися в наступній послідовності:

1. Підрізати торець 1.
2. Зацентрувати і піджати заготовку обертовим центром.
3. Точити поверхню 2 до $\varnothing 70$ на довжину 193 мм начисто.
4. Точити поверхню 4 до $\varnothing 65,5$ на довжину 193 мм.
5. Точити поверхню 5 до $\varnothing 50,5$ на довжину 129 мм.
6. Точити поверхню 7 до $\varnothing 42$ на довжину 39 мм начисто.
7. Точити фаску 2x45 на поверхні 1.
8. Перевстановити заготовку.
9. Точити поверхню 3 до $\varnothing 65,5$ на довжину 163 мм.
10. Точити поверхню 6 до $\varnothing 50,5$ на довжину 99 мм.
11. Точити поверхню 8 до $\varnothing 42$ на довжину 39 мм начисто.
12. Точити фаску 2x45 на поверхні 9.
13. Підрізати торець, витримавши розмір 376 мм.
14. Зняти заготовку

Для виконання токарної обробки вала можна використати токарно-гвинторізний верстат 16K20П, характеристики якого наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристика верстата 16K20П

Параметр	Значення
1	2
Найбільший діаметр виробу, що обробляється:	
над станиною	400
під супортом	220
Найбільша довжина виробу, що може оброблятися, мм	710,1000,1400,2000

Продовження таблиці 2.3

1	2
Частота обертання шпинделя, об/хв	12,5-1600
Подача супорта, мм/об:	
поздовжня	0,05-2,8
поперечна	0,025-1,4
Потужність електродвигуна головного приводу, кВт:	11

Як оснастка будуть застосовуватися верстатні пристосування - трикулачковий самоцентрований патрон [3] і обертовий центр [7].

Як різальний інструмент рекомендується вибрати токарний підрізний відігнутий різець T15K6 з пластинами із швидкорізального сплаву за [12].

Для визначення та контролю розмірів вала будемо використовувати штангенциркуль ШЦ-П-125-0,1. Для вимірювання шорсткості застосуємо набір шорсткостей.

Далі заготовка надходить на чистову обробку поверхонь. При цьому технологічні переходи будуть відбуватися в такій послідовності:

1. Зацентрувати заготовку.
2. Точити поверхню 3 до $\varnothing 65$ k6 на довжину 163 мм (рис. 2.2, а).
3. Точити поверхню 6 до $\varnothing 50$ H8/h7 на довжину 99 мм (рис. 2.2, б).
4. Перевстановити заготовку.
5. Точити поверхню 4 до $\varnothing 65$ k6 на довжину 193 мм (рис. 2.2, в).
6. Точити поверхню 5 до $\varnothing 50$ H8/h7 на довжину 129 мм (рис. 2.2, г).
7. Зняти заготовку.

Для чистової обробки будемо використовувати той самий токарно-гвинторізний верстат 16K20П із параметрами, наведеними в табл. 2.4. Ріжучий інструмент та оснащення для вимірювання та контролювання розмірів вала та шорсткості поверхні також залишаються ті ж самі.

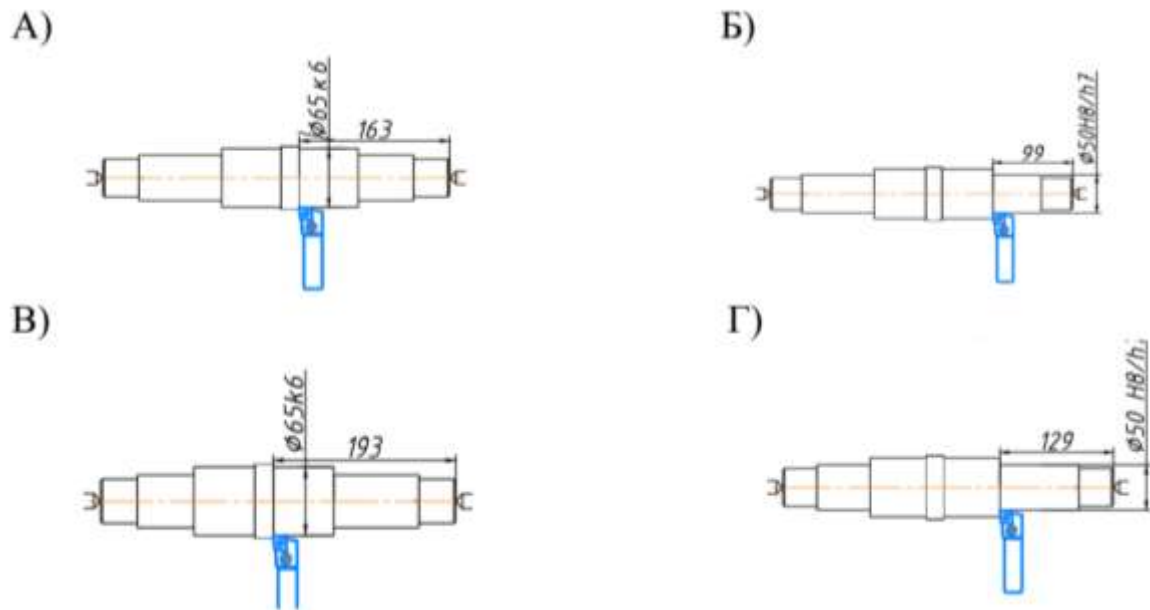


Рисунок 2.2 – Операційні ескізи токарної обробки

Далі деталь надходить на фрезерну обробку для фрезерування шпонкового паза.

Для фрезерної операції вибираємо горизонтально-фрезерний верстат 6Р11 з наступними параметрами [3].

Таблиця 2.4 – Характеристика верстата 6Р11

Параметр	Значення
Розміри робочої поверхні верстата, мм	250x1000
Найбільше переміщення столу, мм	
поздовжнє	630
поперечне	200
вертикальне	350
Кількість швидкостей шпинделя	16
Частота обертання шпинделя, об/хв	50-1600
Подача столу, мм/хв.	
поздовжня та поперечна	35 – 1020
вертикальна	14-390
Потужність електродвигуна, кВт	5,5

Технологічні переходи будуть наступні:

1. Встановити заготовку.
2. Фрезерувати шпонковий паз 12x8x56 [16]. Витримати від початку обробки 5 мм.
3. Зняти заготовку.

Як пристосування будуть використовуватися універсальні самоцентрувальні верстатні лещата [7].

Як ріжучий інструмент рекомендується використовувати спеціальна шпонкова фреза з ріжучою частиною з матеріалу T15K6.

Для вимірювання та контролювання розмірів застосовуємо штангенциркуль ШЦ- П-125-0,1.

Після обробки різанням заготовка надходить на термічну обробку. Її суть полягає у загартуванні до НВ 220...235. Для нагріву пропонується використовувати піч СВЧ.

Загартування рекомендується виконувати за технологією ОГМ [1]:

- температура нагрівання під гартування 890 °С;
- тривалість витримки в печі 2,2 години;
- охолодження при гартуванні в мастилі;
- температура відпустки 550 ° С;
- тривалість відпусток 2,8 години.

Після термічної обробки деталь надходить на шліфувальну обробку. Технологічні переходи цього процесу будуть наступні:

1. Встановити заготовку.
2. Шліфувати поверхню від 3,4 до Ø65 k6 мм на довжинах 64 мм.
3. Шліфувати поверхню від 7,8 до Ø 42h8 мм на довжинах 39 мм.
4. Зняти заготовку.

Для шліфувальної операції вибираємо круглошліфувальний верстат 3М150 з наступними параметрами [3].

Таблиця 2.5 – Характеристика верстата 3М150

Параметр	Значення
Клас точності	П
Найбільший діаметр оброблюваної деталі, мм	100
Найбільша довжина оброблюваної деталі, мм	360
Максимальна частота обертання шпинделя, об/хв	2350
Частота обертання шпинделя, об/хв	50-1600
Потужність електродвигуна, кВт	4

Як вимірювальний інструмент будемо використовувати набір кінцевих мір довжини і шаблон шорсткості [18].

Далі деталь надходить на контроль лінійних розмірів майстром ВТК.

Як інструмент та пристрої використовується вимірювальна плита та вицевказані вимірювальні прилади [18].

На підставі розроблених технологічних переходів попередньо призначений технологічний маршрут обробки деталі (табл. 2.1) матиме вигляд:

Таблиця 2.6 - Технологічний маршрут обробки ступінчастого вала

№ операції	Назва операції	Обладнання
005	Заготівельна	ОГМ
010	Токарна чорнова	16К20П
015	Токарна чистова	16К20П
020	Фрезерна	6Р11
025	Термічна	ТВЧ
030	Шліфувальна	3М150
035	Контрольна	ВТК

2.3 Розробка операційного технологічного процесу

Розробка операційного технологічного процесу передбачає визначення необхідних параметрів та режимів роботи технологічного обладнання під час виконання операцій та переходів обробки заготовки. В даному розділі виконаємо розрахунок параметрів процесів токарної, фрезерної та шліфувальної обробки заготовки.

010 Токарна

Визначення параметрів процесу токарної обробки виконаємо на прикладі переходу чорнового точіння поверхні 3 до Ø 50 мм на довжину 205 мм.

Визначаємо швидкість різання для чорнкової токарної обробки поверхні 3 за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2.1)$$

де $C_v = 320$; $x = 0,15$; $y = 0,35$; $m = 0,2$ [17];

T – період стійкості інструменту, $T = 180$ хв [19];

S – подача різця, $S = 0,7$ мм/об;

t - глибина різання за прохід, $t = 2,5$ мм;

K_v - коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу різця:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}, \quad (2.2)$$

де K_{mv} - коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу

$$K_{mv} = K_\Gamma \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1,2 \cdot \left(\frac{750}{780} \right)^{1,25} = 1,12$$

де $K_\Gamma = 1,12$; $n_v = 1,75$; $\sigma_B = 780$ МПа.

$K_{nv} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

$K_{uv} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує якість матеріалу інструменту.

Тоді

$$K_v = 1,12 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,112.$$

Отже

$$V = \frac{320}{180^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,7^{0,35}} \cdot 1,12 = 125,314 \text{ м/хв}$$

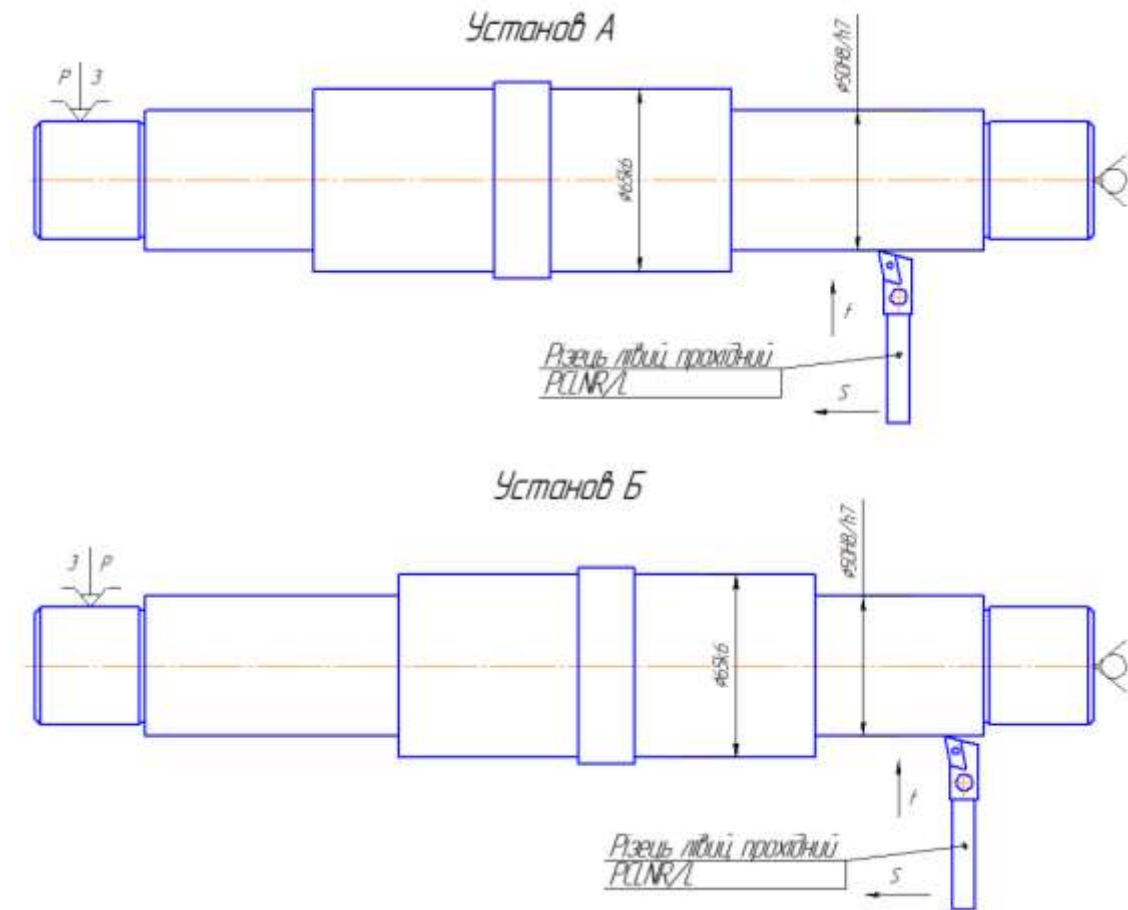


Рисунок 2.3 – Технологічна схема токарної обробки вала

Частота обертання заготовки визначається з виразу:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (2.3)$$

де $D = 72$ мм - найбільший діаметр заготовки, що обробляється.

$$n = \frac{1000 \cdot 125,3}{3,14 \cdot 72} = 554,293 \text{ об/хв}$$

Приймаємо оберти верстата $n = 550$ об/хв., тоді фактична швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{1000} = \frac{3,14 \cdot 550 \cdot 72}{1000} = 124,344 \text{ м/хв}$$

Визначаємо необхідну силу різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \text{ Н} \quad (2.4)$$

де: $C_p = 300$; $x = 1$; $y = 0,75$; $n = -0,15$ [17];

K_p - коефіцієнт сили, що залежить від властивостей матеріалу різця:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}, \quad (2.5)$$

де $K_{mp} = 1,07$; $K_{\phi p} = 1,0$; $K_{\gamma p} = 1,0$; $K_{\lambda p} = 1,0$; $K_{rp} = 1,0$.

Отже

$$K_p = 1,07 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,07$$

Тоді

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 0,7^{0,75} \cdot 124,344^{-0,15} \cdot 1,07 = 297,7 \text{ Н}$$

Потужність різання визначимо за формулою:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт} \quad (2.6)$$

$$N_e = \frac{297,7 \cdot 124,344}{1020 \cdot 60} = 0,6 \text{ кВт}$$

020 Фрезерна

Розрахуємо параметри різання під час фрезерування на поверхні вала шпонкового паза 12х8х56.

Розрахуємо швидкість різання (колову швидкість фрези):

$$V = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v, \quad (2.7)$$

де: $C_v = 12$; $x = 0,3$; $q = 0,3$; $m = 0,26$; $y = 0,25$; $u = 0$; $p = 0$ [17];

$z = 2$ – число зубів фрези [18].

T – період стійкості фрези, для шпонкової фрези $T = 60$ хв;

D – діаметр фрези $D = 10$ мм;

B – ширина фрезерування $B = 12$ мм;

t – глибина фрезерування, $t = 0,3$ мм;

S_z – подача на зуб, $S_z = 0,18$.

$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}$ – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, який враховує умови різання;

K_{mv} – коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу;

$$K_{mv} = K_\Gamma \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{780} \right)^{0,9} = 0,965$$

де $K_\Gamma = 1,0$; $n_v = 0,9$; $\sigma_B = 780$ МПа.

$K_{nv} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

$K_{uv} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує якість матеріалу інструменту [12].

$$K_v = 0,965 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,965$$

Тоді

$$V = \frac{12 \cdot 10^{0,3}}{60^{0,25} \cdot 0,3^{0,3} \cdot 0,18^{0,25} \cdot 120 \cdot 2^0} \cdot 0,965 = 18,3 \text{ м/хв.}$$

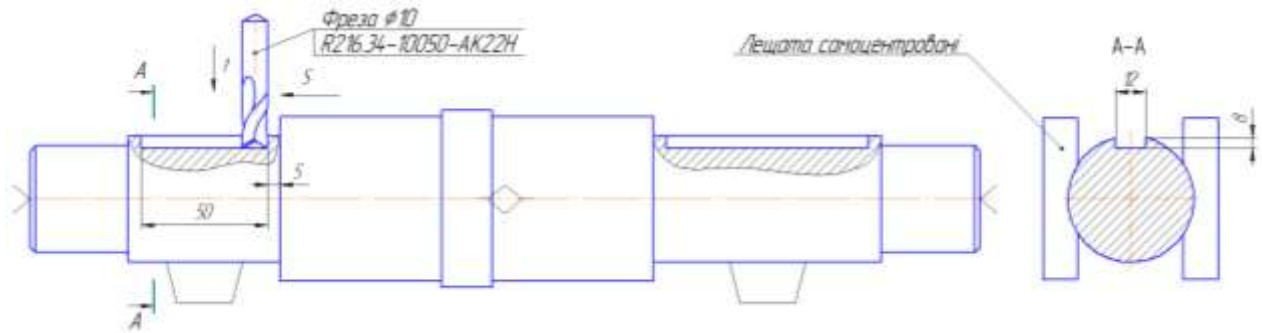


Рисунок 2.4 – Технологічна схема фрезерування шпонкового паза

Оберти фрези мають становити:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 18,3}{3,14 \cdot 10} = 582,8 \text{ об/хв} \quad (2.8).$$

Приймаємо оберти фрези $n = 580$ об/хв [3].

Фактична швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{1000} = \frac{3,14 \cdot 580 \cdot 10}{1000} = 18,212 \text{ м/хв}$$

Розрахуємо силу різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^{u \cdot z}}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}, \text{ Н} \quad (2.9)$$

де: $C_p = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1$; $q = 0,86$; $w = 0$ [17];

$K_{mp} = 0,965$ – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного металу.

$$K_{mp} = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right) = \left(\frac{750}{780} \right) = 0,962$$

Тоді сила різання дорівнюватиме:

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 0,3^{0,86} \cdot 0,18^{0,72} \cdot 12^{1,2}}{10^{0,86} \cdot 580^0} \cdot 0,962 = 232,618 \text{ Н}$$

Розрахуємо крутний момент на шпинделі:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100}, \text{ Нм} \quad (2.10)$$

$$M_{кр} = \frac{232,618 \cdot 10}{2 \cdot 100} = 11,63 \text{ Нм}$$

Визначаємо потужність різання (ефективну):

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт} \quad (2.11)$$

$$N_e = \frac{232,618 \cdot 18,3}{1020 \cdot 60} = 0,069 \text{ кВт}$$

030 Шліфувальна

Визначення параметрів шліфувальної операції виконаєм на прикладі шліфування циліндричних поверхонь на довжину 64 мм та 39 мм.

Ефективна потужність при шліфуванні визначається за формулою:

$$N = C_N \cdot V_3^r \cdot S_p^y \cdot b^z \cdot d^q, \text{ кВт} \quad (2.12)$$

де b - ширина шліфувального круга, $b = 65$ мм і 42 мм [18];

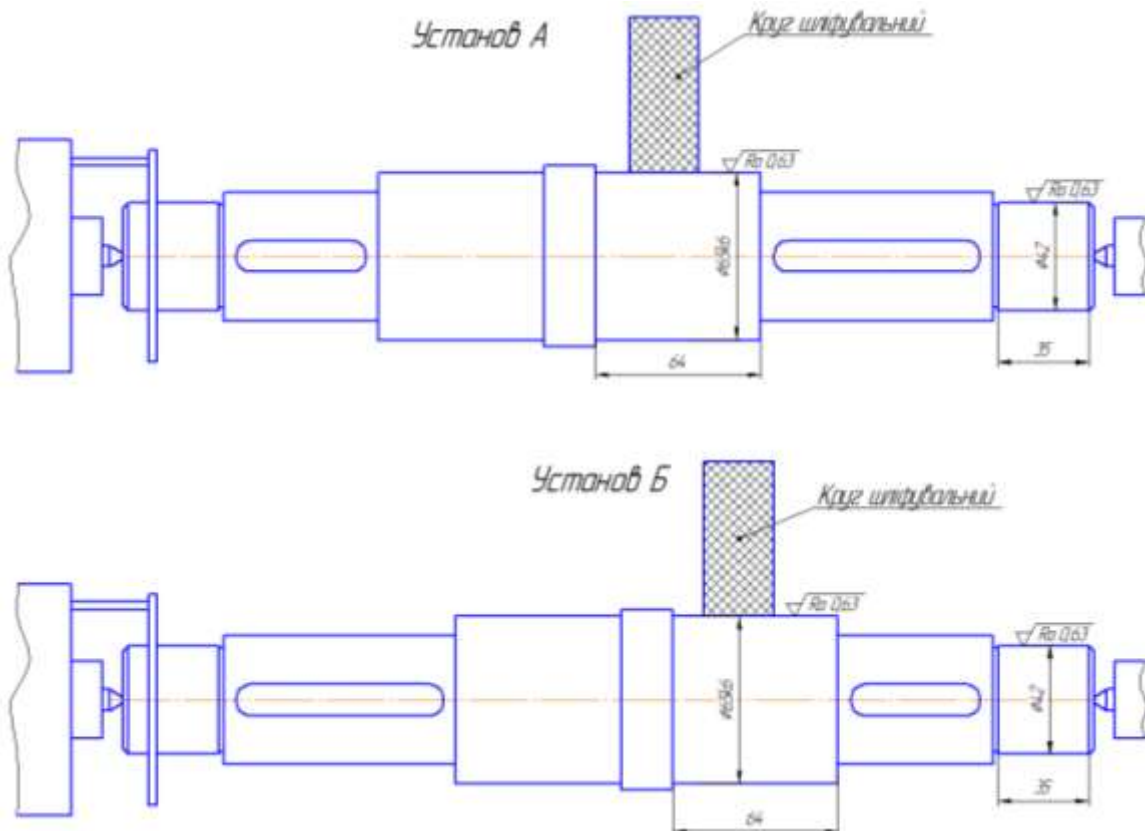


Рисунок 2.5 – Технологічна схема процесу шліфування шийок вала

За таблицями вибираємо необхідні параметри та коефіцієнти: $V_3 = 20$ м/хв.; $C_N = 1,3$; $r = 0,75$; $x = 0,85$; $y = 0,7$; $t = 0,015$ мм; $q = 0$; $z = 0$; $S_p = 0,001$ мм/об;

$$N = 1,3 \cdot 20^{0,75} \cdot 0,001^{0,7} \cdot 42^0 \cdot 39^0 = 0,098 \text{ кВт}$$

$$N = 1,3 \cdot 20^{0,75} \cdot 0,001^{0,7} \cdot 65^0 \cdot 64^0 = 0,098 \text{ кВт.}$$

2.4 Нормування технологічних операцій

Технічно визначені норми часу на виконання операції розраховують залежно від оптимальних режимів різання і максимально-можливого використання технічно обґрунтованих можливостей верстатів і пристосувань. Також це потрібно для подальшого вибору відповідного технологічного процесу, який забезпечує виконання технічних вимог, які ставляться до деталі, та оптимальних витрат часу на її виготовлення, за яких підвищується продуктивність праці і знижується собівартість обробки.

Оперативний час визначають за формулою:

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{д}}, \text{ хв} \quad (2.13)$$

де $T_{\text{о}}$ - основний час, (машинний час) хв.;

$T_{\text{д}}$ - допоміжний час, хв.

Основний час визначають відповідно до раціональних режимів обробки. Режими обробки підбирають на основі глибини різання, подачі, швидкості різання і стійкості різального інструменту [18].

В одиничному і серійному виробництві визначається норма штучно-калькуляційного часу за формулою:

$$T_{\text{ш-к}} = T_{\text{ш}} + T_{\text{пз}} / n, \text{ хв} \quad (2.14)$$

де $T_{\text{ш}}$ - штучний час, хв.;

$T_{\text{пз}}$ - підготовчо-заключний час (тільки для серійного виробництва), хв.;

n - кількість заготовок у партії.

Допоміжний час являє собою суму нормативних значень допоміжного часу установок і переходів.

Для операції 010 (Токарна) основний час розраховується за режимами обробки (п. 2.3)

$$\frac{\sum l_i}{\sum S_o \cdot n} = \frac{2 \cdot (4 \cdot 39) + 1 \cdot 20 + 3 \cdot 60 + 3 \cdot 90 + 2 \cdot (4 \cdot 64)}{0,7 \cdot 550} = 3,3 \text{ хв} \quad (2.15)$$

де l - розрахункова довжина робочого ходу інструмента, мм;

i - число робочих ходів.

Допоміжний час на кожен перехід приймаємо 2 хв [9].

Таким чином, загальний оперативний час становитиме:

$$T_{\text{оп}} = 1,58 + 2 \cdot 7 = 17,36 \text{ хв}$$

Приймаємо час відпочинку за формулою:

$$T_{\text{від}} = 0,05 \cdot T_{\text{оп}} = 0,05 \cdot 17,36 = 0,868 \text{ хв} \quad (2.16)$$

Штучний час для токарної операції становитиме (без урахування часу на обслуговування):

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{від}} = 17,36 + 0,868 = 18,228 \text{ хв} \quad (2.17)$$

Для операції 020 (Фрезерна) штучний час визначаємо за формулою (2.17), а операційний час за формулою (2.13) при йнявши допоміжний час $T_d = 1,5$ хв.

Переходи:

З нормативів час на роботи з установки деталі становить 2 хв.

Фрезерування шпонкових пазів завширшки 12 мм, на глибину 7 мм при подачі на зуб $S = 0,18$ мм відбувається за 2 проходи. Тоді:

$$T_{\text{ф}} = (B + t) \cdot S \cdot i \cdot 2, \text{ хв} \quad (2.18)$$

$$T_{\text{ф}} = (12 + 8) \cdot 0,18 \cdot 2 \cdot 2 = 14,4 \text{ хв}$$

На зняти деталь і виконання замірів затрачається час 2 хв.

Тоді, основний час операції:

$$T_o = 2 + 14,4 + 2 = 18,4 \text{ хв}$$

Оперативний час становитиме:

$$T_{\text{оп}} = 18,4 + 1,5 = 19,9 \text{ хв}$$

Час відпочинку

$$T_{\text{від}} = 0,05 \cdot 18,4 = 0,92 \text{ хв}$$

Отже, штучний час згідно (2.17) становитиме:

$$T_{\text{ш}} = 19,9 + 0,92 = 20,82 \text{ хв}$$

Для операції 030 (Шліфування) основний час знаходимо з виразу:

$$T_0 = \frac{l}{n \cdot S_{\text{пр}}} \cdot K, \text{ хв} \quad (2.19)$$

де $S_{\text{пр}}$ - радіальна подача, мм/об;

n_k - частота обертання шліфувального круга;

$$n_k = \frac{1000 \cdot V_k}{\pi \cdot D_k}, \text{ об/хв} \quad (2.20)$$

де D_k - діаметр круга, мм;

V_k - швидкість круга.

$$n_k = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 250} = 38,2 \text{ об/хв}$$

Основний час становитиме

$$T_0 = \frac{0,6}{38,2 \cdot 0,001} \cdot 1,05 = 16,49 \text{ хв}$$

Допоміжний час кожного переходу приймаємо 0,75 хв.

Таким чином, оперативний час операції становитиме:

$$T_{\text{оп}} = 16,46 + 0,75 \cdot 4 = 19,46 \text{ хв.}$$

Час відпочинку

$$T_{\text{від}} = 0,05 \cdot 19,46 = 0,973 \text{ хв}$$

Штучний час на шліфування

$$T_{\text{ш}} = 19,46 + 0,973 = 20,433 \text{ хв.}$$

Висновки за розділом

В результаті виконаних в даному розділі технологічних розрахунків та елементів проектування для виготовлення ступінчастого вала розроблено технологічного маршруту його механічної обробки та підібрано необхідні металообробні верстати. Проектний розрахунок дозволив визначити необхідні параметри роботи їх роботи та необхідні норми часу на виконання основних технологічних операцій.

3 ВИБІР ІНСТРУМЕНТУ ЗА КАТАЛОГАМИ «SANDVIK»

3.1 Загальні вимоги до вибору інструменту

Важливим фактором підвищення ефективності виробництва є застосування якісного ріжучого інструменту. Частка його впливу на собівартість процесу металообробки становить 3-5%. Від правильного підбору технологічного інструменту суттєво залежать показники ефективності усього технологічного процесу. Саме вибір інструменту та правильне його використання є оптимальним шляхом до підвищення продуктивності праці.

Технологічний інструмент, який вибираються за системою ISO, оптимізований для основних груп оброблюваних матеріалів та видів операцій. Система ISO забезпечує нескладний та швидкий вибір найкращого поєднання геометрії ріжучих кромek та марки інструментального матеріалу для конкретної операції.

В нашій роботі ріжучий інструмент для механічної обробки ступінчастого вала ми вибираємо за каталогами фірми «SANDVIK» [8]. Під час вибору ріжучого інструменту в першу чергу керуємося технологією виготовлення деталі, обладнанням, яке для цього застосовується, матеріалом деталі та технічними вимогами.

Ступінчастий вал виготовляється зі сталі 40X. Для обробки цього матеріалу рекомендується використовувати різальний інструмент, оснащений пластинами з твердого сплаву, що дозволяє вести обробку на підвищених режимах різання та без впливу на точність отриманих розмірів та шорсткості поверхні. Розміри інструменту мають бути оптимальними.

Під час вибору інструменту за каталогами «SANDVIK» виконують аналіз розмірів деталі та матеріалу заготовки, враховують параметри обладнання (верстата) та розмір партії виробів. Також слід враховувати необхідний тип і призначення інструменту (зовнішня/внутрішня обробка, повздовжня обробка, обробка торців, профільна обробка), а також режими різання.

3.2 Вибір інструменту для токарної операції

Під час вибору різців для токарної обробки деталей слід враховувати наступні параметри:

- вимог до розмірів та якості оброблюваної поверхні;
- тип операції (подовжня, торцева та профільна обробка);
- доступ до оброблюваної поверхні (зовнішня чи внутрішня обробка);
- вид обробки (чорнова, напівчистова або чистова обробка);
- послідовність обробки;
- число проходів;
- допуски розмірів та форми.

Також аналізують властивості матеріалу заготовки, а саме стан заготовки (виливок або попередньо оброблена), її оброблюваність, якість стружкоутворення, твердість, вміст легуючих елементів. Приклад позначення матеріалів в каталогах «SANDVIK» представлено на рис. 3.1.

Даний інструмент має свої вимоги до верстатів. Основними них є:

- стабільність потужності і крутного моменту, особливо для обробки великих діаметрів;
- спосіб закріплення заготовки;
- розташування інструменту;
- час зміни інструменту/кількість інструментів у револьверній головці;
- обмеження частоти обертання шпинделя (об/хв) та подачі прутка;
- наявність контршпинделя або заднього центру;
- можливість використовувати люнети;
- простота керування;

P	Сталь
M	Нержавіюча сталь
K	Чавун
N	Кольорові метали
S	Жаростійкі сплави і титан
H	Сталі високої твердості

Рисунок 3.1 – Позначення матеріалів в каталогах «Sandvik»

- тиск подачі ЗОЖ.

Траєкторія переміщення інструментів відносно заготовки - також важливий параметр процесу обробки. Вона впливає на процес стружкоутворення, зношування пластин, якість поверхні та стійкість інструменту. На практиці, державка, геометрія та сплав пластини, матеріал заготовки та траєкторія переміщення інструменту Суттєво впливають на тривалість циклу обробки та його продуктивність.

Для зовнішнього точіння в різцях зі змінними пластинами можуть використовуватися пластини без заднього кута (рис. 3.2, а) та із заднім кутом (рис. 3.2, б).

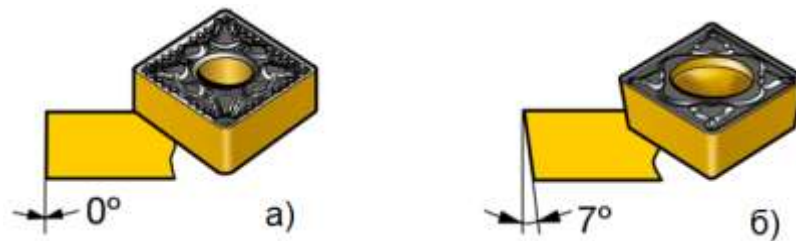


Рисунок 3.2 – Пластини для зовнішнього точіння

Характеристики державок для пластин «Sandvik» наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики модульних/призматичних державок

Ріжуча пластина без задніх кутів			
Притискання підвищеної жорсткості	Притискання важелем з отвором	Усі системи кріплення. Призначені для різцевих головок	Притискання важелем з отвором та високоточною подачею ЗОЖ
Ріжуча пластина із задніми кутами			
Кріплення пластин гвинтом та високоточною подачею ЗОЖ	Кріплення пластин гвинтом. Кріплення iLock	Усі системи кріплення. Призначені для різцевих головок	Кріплення пластин гвинтом

Можливі способи кріплення пластин на державках різців представлені на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Способи кріплення пластин до державок

Для забезпечення задовільного дроблення стружки важливо правильно вибрати розмір пластини, її форму, геометрію та радіус при вершині. Для забезпечення міцності та економії слід вибрати пластини з максимально можливим кутом при вершині. З метою забезпечення міцності ріжучої кромки слід вибрати максимально можливі радіуси при вершині пластини. Також це сприятиме зниженню вібрації різця.

Основні типи ріжучих пластин, які використовуються на токарних різцях представлені на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Основні типи ріжучих пластин токарних різців

Пластина без задніх кутів має кут загострення 90° . Вони доступні у двосторонньому або односторонньому виконанні, з отвором та без них. Пластина із задніми кутами має кут загострення менше 90° . Доступне виконання пластин з заднім кутом 7° або 11° . Пластини з кріпленням iLock мають задній кут 5° або 7° .

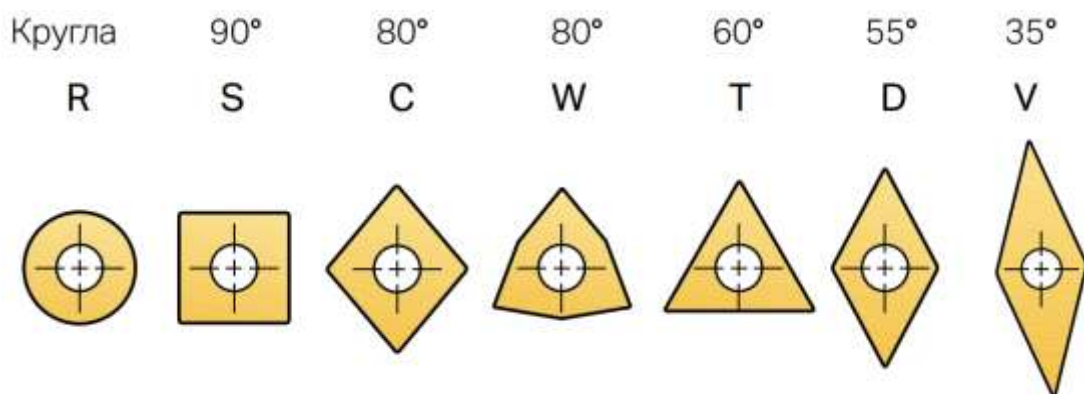


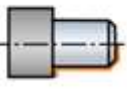
Рисунок 3.5 – Форми та позначення ріжучих пластин iLock

Форма пластини може змінюватися в широких межах: від ромба з кутом при вершині 35° до круглої. Кожна форма пластини володіє унікальними властивостями. Одні забезпечують максимальну міцність при чорновій обробці, а інші забезпечують кращу геометричну прохідність під час профільної обробки. Кожна форма пластини також має свої унікальні обмеження. Так, наприклад, малий кут при вершині знижує міцність ріжучої кромки під час обробки.

Великий кут при вершині забезпечує міцну ріжучу кромку, дозволяє застосовувати вищі подачі, витримує високі сили різання, однак має більшу ймовірності виникнення вібрацій різця. Малі кути при вершині утворюють менш міцну ріжучу кромку, мають підвищену геометричну прохідність, утворюють низькі сили різання та мають меншу ймовірність виникнення вібрацій.

Рекомендації щодо вибору форми пластини, в залежності від типу обробки наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Рекомендації щодо вибору форми пластини

Форма пластини	Повздовжнє точіння	Профільна обробка	Підрізання торця	Обробка кишень
++ = Рекомендований вибір + = Альтернативний вибір				
 Ромб з кутом 80°	++		+	
 Ромб з кутом 55°	+	++	+	
 Кругла пластина	+	+	+	++
 Квадратна пластина	+		++	
 Трикутна пластина	+	+	+	
 Ламаний трикутник з кутом 80°	+		+	
 Ромб з кутом 35°		+		

Приклад метричної системи позначення пластин і державок токарних різців, згідно ISO 1832:1991 показано на рис. 3.6.

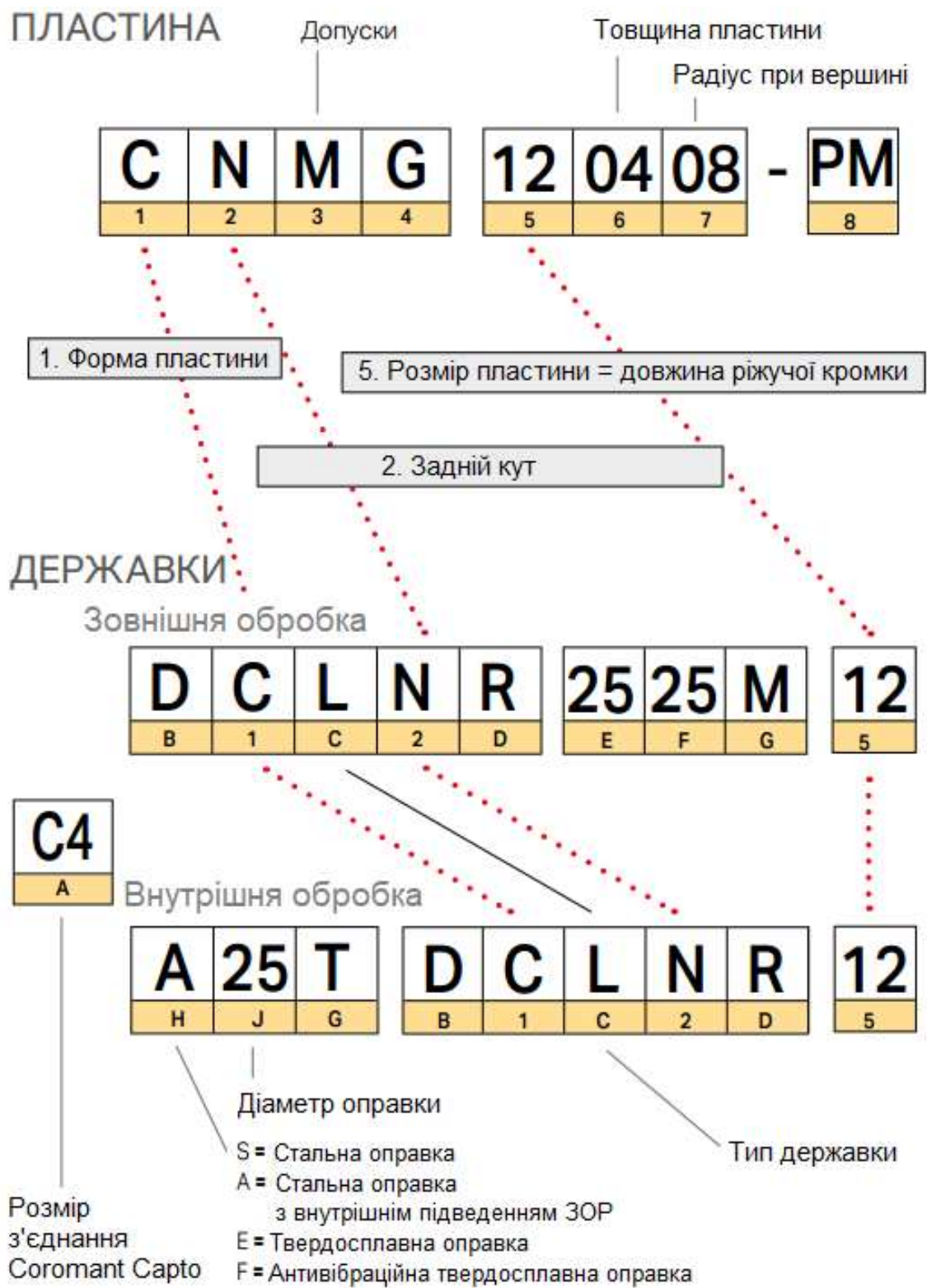


Рисунок 3.6 – Розшифровка позначень пластин і державок токарних різців, згідно ISO 1832:1991

Для зовнішнього чорнового та чистового точіння ступінчастого вала за каталогом [8] вибираємо різець PCLNR/L з пластиною CNMG 16 06 12 з державкою T-Max P (рис. 3.7).

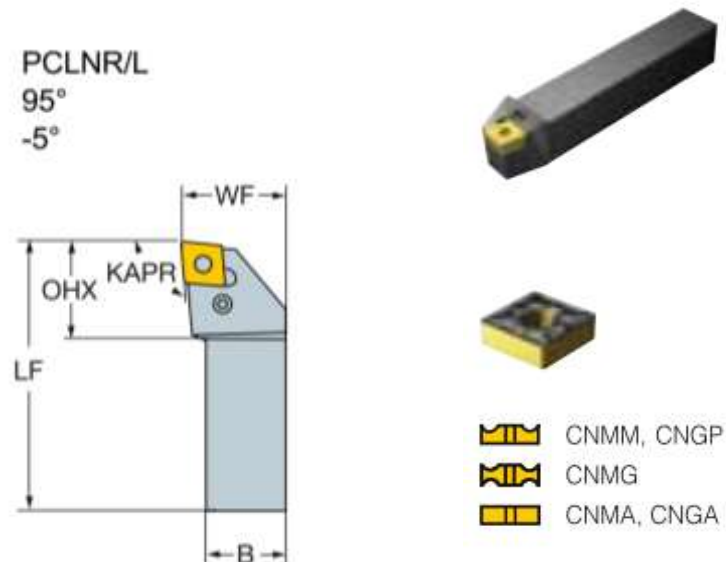


Рисунок 3.7 – Токарний різець PCLNR/L

Таблиця 3.3 – Параметри пластини CNMG 16 06 12

						Розміри, мм								MIID
		CZC _{max}	OHX	CNSC	Код замовлення	B	H	LF	WF	HF				
	09	16 x 16	24	0	PCLNR/L 1616H 09	16	16	100	20	16	2.0	0.22	CNMG 09 03 08	
		20 x 20	24	0	PCLNR/L 2020K 09	20	20	125	25	20	2.0	0.43	CNMG 09 03 08	
		25 x 25	24	0	PCLNR/L 2525M 09	25	25	150	32	25	2.0	0.75	CNMG 09 03 08	
	12	16 x 16	27	0	PCLNR/L 1616H 12-M	16	16	100	20	16	5.0	0.22	CNMG 12 04 08	
		20 x 20	27	0	PCLNR/L 2020K 12	20	20	125	25	20	5.0	0.43	CNMG 12 04 08	
		25 x 25	27	0	PCLNR/L 2525M 12	25	25	150	32	25	5.0	0.75	CNMG 12 04 08	
		32 x 25	27	0	PCLNR/L 3225P 12	25	32	170	32	32	5.0	1.13	CNMG 12 04 08	
	16	25 x 25	33	0	PCLNR/L 2525M 16	25	25	150	32	25	5.0	0.75	CNMG 16 06 12	
		32 x 25	33	0	PCLNR/L 3225P 16	25	32	170	32	32	5.0	1.13	CNMG 16 06 12	
		32 x 32	33	0	PCLNR/L 3232P 16	32	32	170	40	32	5.0	1.40	CNMG 16 06 12	
	19	25 x 25	37	0	PCLNR/L 2525M 19	25	25	150	32	25	10.0	0.75	CNMG 19 06 12	
		32 x 25	37	0	PCLNR/L 3225P 19	25	32	170	32	32	10.0	1.13	CNMG 19 06 12	
	32 x 32	37	0	PCLNR/L 3232P 19	32	32	170	40	32	10.0	1.40	CNMG 19 06 12		
	40 x 40	37	0	PCLNR/L 4040S 19	40	40	250	50	40	10.0	3.60	CNMG 19 06 12		
25	40 x 40	50	0	PCLNR/L 4040S 25	40	40	250	50	40	17.0	3.60	CNMG 25 09 24		
	50 x 50	50	0	PCLNR/L 5050T 25	50	50	300	60	50	17.0	1.00	CNMG 25 09 24		

Рекомендовані режими різання для даного різця наступні:

- чистове точіння - $S = 0,1 \dots 0,3$ мм/об;
- напівчистове точіння - $S = 0,2 \dots 0,5$ мм/об;
- чорнове точіння - $S = 0,5 \dots 1,5$ мм/об.

3.3 Вибір інструменту для фрезерної операції

Для операцій обробки закритого шпонкового паза існують спеціальні рекомендації, відмінні від загальних рекомендацій щодо фрезерної обробки площин і пазів. Напрямок сил різання та віджимання інструменту при фрезеруванні закритого шпонкового паза не дозволяють отримати точного прямокутного перерізу. Точність обробки може бути підвищена, якщо використовувати фрезу трохи меншого діаметру та обробляти паз за два проходи (рис. 3.8).

За перший прохід фрезерують шпонковий паз на повну глибину на чорно. За другий прохід фрезерують паз по контуру, застосувавши метод зустрічного фрезерування та забезпечивши, таким чином, перпендикулярність стінок.

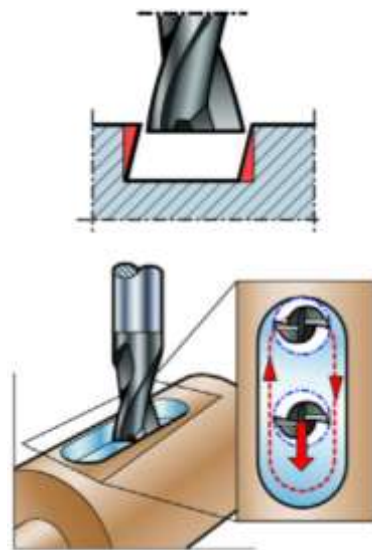


Рисунок 3.8 – Схема обробки шпонкового паза за два проходи

На чистових етапах обробки необхідно працювати з невеликою глибиною різання, щоб мінімізувати віджимання інструменту, що є визначальним фактором якості обробленої поверхні та геометричної точності паза.

Для нарізання шпонкових пазів на циліндричній поверхні вала буде застосовуватися метод фрезерування засвердлюванням фрезою, яка має можливість свердління (кінцева фреза). Глибина свердління для фрез з можливістю свердління обмежується довжиною стружковідвідної канавки, а також можливістю видалення стружки. Для пазів більшої глибини рекомендується цикл обробки із виведенням інструменту. Подача під час свердління фрезою вибирається з розрахунку приблизно 50% від подачі рекомендованої при фрезеруванні.

Для нарізання пазів також можуть використовуватись фрези, у яких відсутність ріжуча кромка по центру (CoroMill 390 та 790). Однак слід мати на увазі, що глибина для них фрезерування засвердлюванням обмежене досить малим значенням.

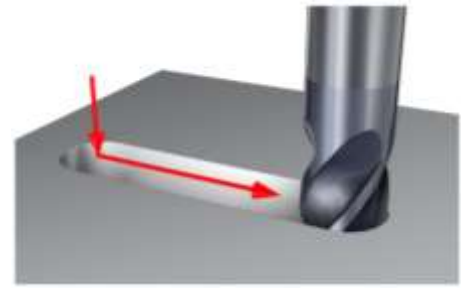


Рисунок 3.9 – Метод фрезерування засвердлюванням

Для нарізання шпонкових пазів найчастіше застосовують фрези для фрезерування з малою шириною контакту, а саме кінцева фреза CoroMill Plura.

Приклад розшифровки позначення фрези CoroMill Plura:

R 21 6 . 2 4 - 100 50 D C K 22 P

21 - кінцева фреза

6 - можливе свердління

2 - з радіусом по кутах

4 - число зубів (z_n), 1-9, А якщо 10-32

100 - робочий діаметр в мм (D_c)

50 - кут підйому гвинтової канавки в градусах (γ_p)

D - радіус при вершині (r_e)

C - тип хвостовика

K - довжина хвостовика в мм (l_2)

22 - максимальна глибина різання в мм (a_p)

P - тип геометрії

Отже, для виконання технологічної операції нарізання шпонкових пазів вибираємо кінцева фрезу R216.34-10050-AK22H для чорнової та напівчистої обробки з можливістю свердління, зі змінною глибиною стружкових канавок в матеріалах з твердістю $43 \leq \text{HRC} \leq 63$. Її основні характеристики наведені в табл. 3.4.

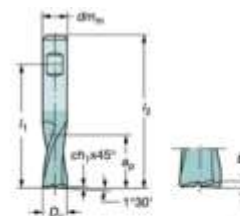
Приклад сторінки з електронного каталога «Sandvik», за яким вибирали фрезу, наведено на рис. 3.10.

Таблиця 3.4 – Характеристики кінцевої фрези

Параметр	Значення
Призначення	Фрезерування шпонкових пазів
Геометрія	P
Кут підйому гвинтової канавки	30°
Максимальна глибина свердління	0,9D _c
Діаметр фрези D _c , мм	2 - 20
Глибина різання a _p , мм	3,0-20,0
Радіус на кутах	відсутній
Кількість зубів, z _n	2, 3
Рекомендована подача на зуб f _z , мм	0,05
Максимальне перекриття b, мм	100 % D _c
Оброблюваний матеріал	
Додаткова інформація	З ріжучою кромкою по центру



Кут підйому гвинтової канавки ~30°
Допуски: D_c: h10
d_m: h8



f_z = прирізок по довжині

D _c мм	D _c дюйм	Код замовлення	z _n	Розміри, мм					Крок мм ⁽¹⁾	Max a _p ⁽¹⁾	P M K S H				
				d _m	l ₁	c _h	b ₁	r ₁			1620	1620	1620	1620	
Циліндричний хвостовик з радіусом															
2	.079	R216.23-02050BAK70H	3	6	57			0.5	5.60	7.0	☐	☐	☐	☐	
3	.118	R216.23-03050BAK08H	3	6	57			0.5	8.00	8.0	☐			☐	
4	.157	R216.23-04050CAK11H	3	6	57			1	11.20	11.0	☐			☐	
5	.197	R216.23-05050CAK13H	3	6	57			1	14.00	13.0	☐			☐	
6	.236	R216.24-06050CAK13H	4	6	65			1	16.00	13.0	☐			☐	
8	.315	R216.24-08050EAK19H	4	8	80			2	22.40	19.0	☐			☐	
10	.394	R216.24-10050EAK22H	4	10	100			2	28.00	22.0	☐			☐	
12	.472	R216.24-12050GAK26H	4	12	100			3	35.50	26.0	☐			☐	
14	.551	R216.24-14050GAK26H	4	14	104			3	40.00	26.0	☐			☐	
16	.630	R216.24-16050IAK32H	4	16	115			4	45.00	32.0	☐			☐	
20	.787	R216.24-20050IAK38H	4	20	125			4	56.00	38.0	☐			☐	
Циліндричний хвостовик															
2	.079	R216.33-02050-AK70H	3	6	57		0.25		5.60	7.0	☐			☐	
3	.118	R216.33-03050-AK08H	3	6	57		0.25		8.00	8.0	☐			☐	
4	.157	R216.33-04050-AK11H	3	6	57	0.10	0.25		11.20	11.0	☐			☐	
5	.197	R216.33-05050-AK13H	3	6	57	0.10	0.25		14.00	13.0	☐			☐	
6	.236	R216.34-06050-AK13H	4	6	65	0.10	0.25		16.00	13.0	☐			☐	
8	.315	R216.34-08050-AK19H	4	8	80	0.10	0.25		22.40	19.0	☐			☐	
10	.394	R216.34-10050-AK22H	4	10	100	0.10	0.25		28.00	22.0	☐			☐	
12	.472	R216.34-12050-AK26H	4	12	100	0.10	0.25		35.50	26.0	☐			☐	
14	.551	R216.34-14050-AK26H	4	14	104	0.15	0.35		40.00	26.0	☐			☐	
16	.630	R216.34-16050-AK32H	4	16	115	0.15	0.35		45.00	32.0	☐			☐	
20	.787	R216.34-20050-AK38H	4	20	125	0.15	0.35		56.00	38.0	☐			☐	

Рисунок 3.10 – Сторінка з електронного каталога «Sandvik»

Висновки за розділом

В даному розділі описано методику вибору технологічного інструменту за сучасними каталогами на прикладі електронних каталогів фірми «Sandvik». В результаті, для виконання токарної операції вибрано різець PCLNR/L з пластиною CNMG 16 06 12 з державкою T-Max P.

Для виконання технологічної операції нарізання шпонкових пазів вибираємо кінцева фрезу R216.34-10050-AK22H, яка також підходить для чорнової та напівчистої обробки з можливістю свердління.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз вимог з охорони праці під час роботи на верстатах

Загальні положення

До роботи на металообробних верстатах допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли спеціальне навчання й одержали дозвіл на виконання фрезерних робіт.

Не слід торкатися до електропроводів та інших частин, що проводять струм, а також самому усувати несправності електрообладнання для уникнення ураження електричним струмом.

Бути уважним, не займатись сторонніми справами й розмовами, не відволікати увагу інших.

Не стояти і не проходити під піднятим вантажем або поблизу нього.

Постійно виконувати правила техніки безпеки, утримувати своє робоче місце в чистоті й порядку, не загромождувати проходи.

Палити в спеціально відведених місцях.

Помітивши порушення правил по техніці безпеки іншою особою або небезпеку для оточуючих, попередити цю особу або механіка про необхідність дотримання вимог, що забезпечують безпеку праці.

У випадку травмування або недомагання закінчити роботу, сповістити про це механіка і звернутися в медпункт.

Вимоги безпеки перед початком роботи.

Надіти робочий одяг. Застібнути або обв'язати обшлага рукавів, заправити одяг так, щоб не було кінців, що розвиваються.

Оглянути робочий одяг, забрати всі предмети, що заважають при роботі. Робочий інструмент і пристрої розкласти в зручному й безпечному для користування порядку і перевірити справність.

Переконавшись в тому, що робоче місце достатньо освітлене і світло не буде сліпити очі [14].

Перевірити наявність, справність і міцність кріплення огороження та інших частин, що обертаються.

Перевірити чи не обірваний провід заземлюючого пристрою і його з'єднання.

При закріпленні інструменту в шпинделі за допомогою клинків, гвинтів, планок та інших пристроїв ці елементи не повинні виступати поза межі шпинделя. У випадку неможливого виконання цієї вимоги поверхні вказаних елементів слід закривати захисним пристроєм.

Перевірити на холостому ході справність верстату, про всі несправності сповістити механіка і до їх усунення до роботи на верстаті не приступати.

Вимоги безпеки під час роботи.

Знімаючи інструмент, необхідно обертати їх тільки вручну. Забороняється для виконання цієї операції включати шпиндель верстата.

Під час роботи верстата забороняється торкатися обертових частин, вводити руку в зону їх руху, класти на верстат деталі та інструменти.

При обробці в'язких матеріалів (сталей) необхідно застосовувати фрези з спеціальною заточкою зубів або пристрої, які забезпечують роздроблення стружки в процесі різання. При обробці крихких матеріалів і при утворенні роздрібненої на малі частини стружки повинні застосовуватись стружковідвідники.

Обпиловка, поліровка, зачистка абразивним полотном деталей, що обробляються на верстатах, повинна проводитися за допомогою спеціального інструменту і методами, які забезпечують безпеку виконання цих операцій.

Перед кожним включенням верстату переконатися, що його пуск нікому не загрожує. Інструмент слід підводити до деталі плавно, без ударів і різкого натиску.

Вимкнення верстату необхідно здійснювати в наступних випадках: при тимчасовому закінченні роботи; при перерві в подачі електроенергії; для очищення, мащення і наладки верстату; при підтягуванні болтів, гайок, клинків та інших з'єднань деталей; при замірі деталей, які обробляються.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

Для уникнення травмування – вставляти або виймати деталі, які обробляються на столі верстата чи в його пристроях кріплення лише тільки після повної зупинки.

Під час встановлення деталі, яка обробляється в лещатах верстату слідкувати за надійністю його кріплення й правильністю базування.

У випадку поломки ріжучого інструменту вимкнути верстат. Під час роботи верстату не нахилятись близько до фрези.

Команду «Стій» виконувати швидко, хто б її не подав – це команда запобігання аварії та нещасних випадків.

Після вимикання верстату не допускається сповільнювати обертання фрези рукою або будь-яким іншим предметом.

При виявленні пожежі негайно викликати пожежну бригаду і прийняти заходи по ліквідуванню пожежі наявними засобами пожежогасіння.

Вимоги безпеки після закінчення роботи.

Вимкнути електрообладнання.

Привести до ладу робоче місце. Прибрати інструмент, обладнання, пристрої у відведене для них місце.

Зняти спецодяг, помити лице, руки теплою водою з милом, при можливості прийняти душ.

Повідомити майстра про всі недоліки, які мали місце під час роботи.

4.2. Логічне моделювання виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків під час роботи на металообробних верстатах

У моделях процесів формування, виникнення аварій та виробничих травм усі випадкові події (явища), що утворюють конкретну аварійну або травмонебезпечну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками. В них є початкові, проміжні та кінцеві події.

Початкові події (небезпечні умови, небезпечні дії) виявляють у процесі обстеження об'єктів виробництва, а проміжні та кінцеві входять до схеми на основі логічного аналізу можливих варіантів перебігу події.

Слід зауважити, що поняття «початкові події» введено умовно, бо насправді цим подіям можуть передувати інші. Але вони першими помічаються при обстеженні робочих місць та інших об'єктів виробництва.

Якщо на схемах, які зображують моделі процеси протікання (перебігу) випадкових подій, починаючи з початкових і закінчуючи кінцевими, показати причинно-наслідкові зв'язки, то ми одержимо логічну модель процесу [2].

Кожна логічна модель процесу формування та виникнення небезпечної або аварійної ситуації складається з певної кількості випадкових подій, які між собою можуть бути статистично залежними або незалежними. *Статистично залежні події* - це такі, коли поява наступної події неможлива без виникнення попередньої. Якщо кожна з двох подій, що входять до однієї моделі, може з'явитися незалежно одна від одної, то такі події є *статистично незалежними*. Як правило, у таких моделях незалежні випадкові події одна відносно одної розміщуються паралельно, а залежні – послідовно. Причинно-наслідкові зв'язки зображуються стрілками, які, показують напрямок протікання (перебігу) події.

Таблиця 4.1 - Логічна модель виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій під час роботи на металообробному верстаті

Вид роботи, виробничий підрозділ	Виробнича безпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
1	2	3	4	5	6
Обробка ступінчатого вала, механічний цех підприємства	НУ ₁ - порушення ізоляцій. НУ ₂ - відсутність заземлення.	НД - Поява струму на корпусі верстата	НС – Контакт робітника з корпусом верстата	Т - Ураження струмом робітника	Заземлення струмо- ведучих частин і якісна їх ізоляція
НУ ₁ → НУ ₂ → НД→ НС→ Т					

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Обробка ступінчатого вала, механічний цех підприємства	НУ- відсутність або несправність захисних кожухів обертових частин	НД – можливість контакту з обертовими частинами верстата	НС- контакт робітника з обертовими частинами верстата	Т – травмування робітника	Обладнання верстата кожухами обертових частин
НУ → НД → НС → Т					
Обробка ступінчатого вала, механічний цех підприємства	НУ – не застебнутий робочий одяг	НД – контакт з рухомими частинами верстата	НС – захоплення одягу рухомими частинами верстата	Т – травмування робітника	Робота в робочому одязі та засобах інд. захисту відповідно до вимог ТБ
НУ → НД → НС → З					
Обробка ступінчатого вала, механічний цех підприємства	НУ – використання обладнання не за призначенням	НД – виконання робіт, не передбачених для даного обладнання	НС – поломка обладнання, його руйнування, падіння	Т – травмування робітника або інших робітників	Використання верстата та оснастки за призначенням
НУ → НД → НС → Т					

Логічна модель може стати основою для розробки графічної чи математичної моделей виникнення травмонебезпечної чи аварійної ситуації.

Висновки за розділом

В даному розділі поаналізовано вимоги нормативно-правових документів щодо охорони праці та виробничої санітарії під час виконання робіт в механічних цехах на металообробних верстатах різанням.

Встановлені основні чинники та причини виникнення травмонебезпечних ситуацій під час роботи на металообробних верстатах.

Розроблено логічні моделі виникнення окремих травмонебезпечних ситуацій під час роботи на металообробних верстатах, зокрема під час токарної обробки, фрезерування шпонкових пазів та шліфування поверхні вала.

5 РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА

Собівартість виробництва - це вираження необхідних витрат у грошовому еквіваленті, які необхідні для виробництва продукції. Показник собівартості є показником, за яким оцінюють фінансово-господарську діяльність виробництва. Аналіз собівартості дозволяє встановити нераціональні витрати, зробити порівняльну оцінку роботи, виявити можливі недоліки діяльності структурних підрозділів підприємства.

Вартість необхідних матеріалів визначають з урахуванням актуальних цін разом з транспортними витратами. Затрати на матеріал (заготовку) можна розрахувати за формулою:

$$З_{м'} = k_{т.з.} \cdot m_{заг} \cdot Ц_{м}, \text{ грн/шт} \quad (5.1)$$

де $m_{заг}$ – маса заготовки, $m_{заг} = 12,1$ кг/шт.;

$Ц_{м}$ – ціна 1 кілограму матеріалу. Для сталюого прокату зі сталі 40Х діаметром 72 мм $Ц_{м} = 144,91$ грн/кг;

$k_{т.з.}$ – коефіцієнт транспортних витрат. Для розрахунку приймається $k_{т.з.} = 1,09$.

$$З_{м'} = 1,09 \cdot 12,1 \cdot 144,91 = 1911,22 \text{ грн/шт.}$$

Вартість відходів (стружки) становить:

$$B_{відх} = (m_{заг} - m_{д}) \cdot Ц_{відх}, \text{ грн} \quad (5.2)$$

де $m_{д}$ – маса деталі, кг;

$Ц_{відх}$ – ціна відходів, $Ц_{відх} = 47,4$ грн [21].

$$B_{відх} = (12,1 - 7,067) \cdot 47,4 = 238,56 \text{ грн}$$

Тоді вартість матеріалів становитиме:

$$З_{м} = З_{м'} - B_{відх} = 1911,22 - 238,56 = 1672,66 \text{ грн/шт} \quad (5.3)$$

Якщо деталь виготовляється з прокату, то вартість отримання заготовки складає:

$$З_з = C_{пит} \cdot (m_{заг} - m_{д}) / K_o, \text{ грн} \quad (5.4)$$

де $C_{пит}$ - питомі витрати на зняття 1 кг стружки при чорновій обробці, грн./кг;

K_o - коефіцієнт оброблюваності матеріалу.

За [21] для розрахунків приймаємо $C_{\text{шт}} = 86,58$ грн/кг. Для сталі 40Х $K_o = 0,8$. Підставляємо ці значення в формулу (5.4):

$$Z_3 = 86,58 \cdot (12,1 - 7,067) / 0,8 = 185,3 \text{ грн.}$$

Витрати на енергію, необхідну для процесу виробництва деталі рахуються за формулою:

$$Z_e = C_e \cdot N_B \cdot \Sigma T_{\text{ш}} \cdot k_{\text{еч}} \cdot k_{\text{ев}}, \text{ грн} \quad (5.5)$$

де C_e – тариф за один кВт·год електроенергії, $C_e = 8,4$ грн;

N_B – загальна встановлена потужність обладнання, $N_B = 20,5$ кВт;

$\Sigma T_{\text{ш}}$ – сумарний штучний час роботи обладнання, год;

$k_{\text{еч}}$ – коефіцієнт використання електрообладнання за часом, $k_{\text{еч}} = 0,86$;

$k_{\text{ев}}$ – коефіцієнт використання електроенергії верстатами, $k_{\text{ев}} = 0,78$.

$$Z_e = 8,4 \cdot 20,5 \cdot (20,433 + 20,82 + 18,228) \cdot 0,86 \cdot 0,78 = 114,51 \text{ грн}$$

Витрати на основну заробітну плату розраховується за кожен вид робіт (операцій) залежно від часу та погодинної тарифної ставки робітника:

$$Z_{\text{зпо}} = \sum_{i=1}^n C_{Ti} \cdot T_{\text{ши}}, \text{ грн/шт} \quad (5.6)$$

де C_{Ti} – погодинна тарифна ставка, грн/год;

$t_{\text{ши}}$ – трудомісткість на виконання роботи, год.

Для розрахунків прийmemo:

- заготовельні роботи (II розряд) - $C_{Ti} = 60,85$ грн/год;

- токарні роботи (III розряд) - $C_{Ti} = 67,0$ грн/год;

- фрезерні роботи (IV розряд) - $C_{Ti} = 75,37$ грн/год;

- шліфувальні роботи (IV розряд) - $C_{Ti} = 75,37$ грн/год;

Тоді 5,41 20,73 26,15 22,9

$$Z_{\text{зпо}} = 60,85 \cdot \frac{5,33}{60} + 60,85 \cdot \frac{20,443}{60} + 75,37 \cdot \frac{20,82}{60} + 75,37 \cdot \frac{18,228}{60} = 75,19 \text{ грн/шт}$$

Додаткову заробітну плату на виплати премії приймаємо у розмір 20 % від основної.

$$C_{\text{зпд}} = C_{\text{зпо}} \cdot 0,2 = 75,19 \cdot 0,2 = 15,04 \text{ грн/шт.} \quad (5.7)$$

Нарахування на заробітну плату за нормативом єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування складає 39,11 %. Тоді

$$C_{\text{стр}} = (C_{\text{зпо}} + C_{\text{зпд}}) \cdot 0,3911 = (75,19 + 15,04) \cdot 0,3911 = 35,29 \text{ грн/шт.} \quad (5.8)$$

Затрати на інструментальну оснастку визначимо за таблицею 5.1.

Таблиця 5.1 – Затрати на інструментальну оснастку

№	Назва оснастки чи інструменту	Кількість, шт	Вартість, грн/шт
1	Фреза кінцева Ø10 Sandvik CoroMill R216.34-10050-AK22H	1	770
2	Пластини CNMG 16 06 12	10	2350
3	Токарний різець PCLNR/L	1	3762
	Всього		6882

Загальновиробничі витрати нараховуються з витрат на заробітну плату та на утримання та експлуатацію майна:

$$Z_{зв} = k_{зв} \cdot (Z_{зпо} + Z_y), \text{ грн/шт} \quad (5.9)$$

де $k_{зв}$ – коефіцієнт загальновиробничих витрат, $k_{зв} = 0,6$.

$$Z_{зв} = k_{зв} \cdot (Z_{зпо} + Z_y) = 0,6 \cdot (75,19 + 11,05) = 51,74 \text{ грн/шт}$$

Загальногосподарські витрати становитимуть:

$$Z_{зг} = k_{зг} \cdot (Z_{зпо} + Z_y) \text{ грн/шт.} \quad (5.10)$$

де $k_{зг}$ – норматив загальногосподарських витрат, $k_{зг} = 0,8$.

$$Z_{зг} = 0,8 \cdot (75,19 + 11,05) = 68,99 \text{ грн/шт.}$$

Інші виробничі витрати приймаємо 0,5 % від загальногосподарських:

$$Z_{ін} = 0,005 \cdot Z_{зг} = 0,005 \cdot 68,99 = 0,34 \text{ грн/шт.} \quad (5.11)$$

Норматив позавиробничих витрат приймаємо 5% від загальновиробничих витрат:

$$Z_{пвв} = 0,05 \cdot Z_{зг} = 0,05 \cdot 68,99 = 3,45 \text{ грн/шт.} \quad (5.12)$$

Для визначення калькуляції собівартості зведемо розраховані показники в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 - Калькуляція собівартості виготовлення вала, грн

№	Найменування статей калькуляції	Всього	Питома вага
1	2	3	4
1	Сировина та матеріали	1672,66	70,11
2	Витрати на виготовлення заготовки	185,3	7,77
3	Зворотні відходи	238,56	10,00
4	Енергія на технологічні цілі	114,51	4,80
5	Основна заробітна плата	75,19	3,15
6	Додаткова заробітна плата	15,04	0,63
7	Відрахування на соціальне страхування	35,29	1,48
8	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	11,05	0,46
9	Відшкодування зносу інструментів	152,34	6,39
10	Загальновиробничі витрати	51,74	2,17
11	Виробнича собівартість	2313,1	96,95
12	Загальногосподарські витрати	68,99	2,89
13	Інші виробничі витрати	0,34	0,01
14	Позавиробничі витрати	3,45	0,14
15	Повна собівартість	2385,9	100

Отже, повна собівартість виготовлення ступінчастого вала за запропонованою технологією становитиме 2385,9 грн.

Висновки за розділом

Економічну ефективність запропонованої технології оцінювали за повною собівартістю виготовлення ступінчастого вала. Основну частку витрат становить сировина (70,11 %). Якщо не враховувати вартість матеріалів, то основні затрати йдуть на заробітну плату працівників та відшкодування зносу інструменту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для виготовлення ступінчастого вала за запропонованою технологією вибрано матеріал та заготовку з прокату. За коефіцієнтом використання матеріалу 0,58 така заготовка задовольняє вимоги серійного та масового виробництва.

В результаті виконаних технологічних розрахунків та елементів проектування для виготовлення ступінчастого вала розроблено технологічного маршруту його механічної обробки. Для виконання основних операцій та переходів підібрано необхідні токарний, фрезерний та шліфувальний верстати. Вибір обладнання підтверджений проектними розрахунками необхідних параметрів і режимів обробки заготовки різанням.

Розраховані необхідні норми часу на виконання основних технологічних операцій показали, що штучний час на виготовлення вала становитиме майже годину (59,5 хв).

В роботі наведено методику вибору технологічного інструменту за сучасними каталогами на прикладі електронних каталогів фірми «Sandvik». Для виконання токарної операції вибрано різець PCLNR/L з пластиною CNMG 16 06 12 з державкою T-Max P. Для виконання операції нарізання шпонкових пазів вибираємо кінцева фрезу R216.34-10050-AK22H.

Економічна ефективність запропонованої технології, встановлена за повною собівартістю виготовлення ступінчастого вала становить 2385,9 грн. Основну частку витрат складають затрати на сировину (70,11 %). Затрати на відшкодування зносу вибраного інструменту складають 6,39 % від усіх питомих затрат на виробництво.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування: Навчальний посібник. Львів: Магнолія 2006, 2007. 500 с.
2. Городецький І. В, О. Тимочко. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: методичні рекомендації до виконання розділу у роботах ОКР "Магістр" студентами факультету механіки та енергетики. Львів: Львівський НАУ, 2011. 16 с.
3. Довідник по металорізальних верстатах та пресовому обладнанні. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.metalinstryment.com>
4. Доля В.М. Технологія обробки типових деталей: Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.090.202 „Технологія машинобудування” усіх форм навчання. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. – 64 с.
5. ДСТУ 7806:2015 Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64466.
6. Економічна енциклопедія: У трьох томах. Т. 1. / Редкол.: ...С. В. Мочерний (відп. ред.) та ін. Київ: Видавничий центр “Академія”, 2000. 864 с.
7. Каталоги інструментів, ГОСТи та довідкова література: – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ocean.biz.ua/catalog-i-price>
8. Каталоги Sandvik Coromant. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://polidecktech.com/all-catalogs/catalog-sandvik-coromant/>
9. Кирилович В.А., Мельничук П.П., Яновський В.А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПК. Житомир: ЖІТГ, 2001.
10. Когут М.С. Технологія машинобудування. Практикум до виконання курсового проекту для студентів спеціальностей «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання» та «Обладнання переробних і харчових виробництв». Львів: ЛНАУ, 2010. 114 с.
11. Круг сталевий 40 Х. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.metallosnab.com.ua/cherniy-metall/krugi/krug-/krug-stal-40x>

12. Паливода Ю. Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник. Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
13. Петраков Ю.В. Лабораторно-комп'ютерний практикум з теорії різання: Навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямом «Інженерна механіка». Київ: Політехніка, 2006. 190 с.
14. Пістун І. П., Стець Р. Є., Трунова І. О. Охорона праці в галузі машинобудування: навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2011. 557 с.
15. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі. Методичні вказівки до виконання курсової роботи (проекту) з дисципліни "Технологія машинобудування" для студентів Механіко-машинобудівного інституту, інженерно-фізичного та поліграфічного факультетів / Укл. С. С. Добрянський , В. К. Фролов, В. А. Ковальов. Київ: Політехніка, 2002. 78с.
16. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. Київ: Вища школа, 1993. 414 с.
17. Сердюк В.С. Основи оброблення матеріалів різанням та інструмент. Навчальний посібник для студентів спеціальності «Технічне обслуговування і ремонт устаткування підприємств машинобудування. Київ: Освіта України, 2006. 186 с.
18. Стискін Г.М., Ревнівцев М.П., Берізко М.М., Мелещик В.А. Інструменти для механічної обробки матеріалів. Львів: Оріяна-Нова, 2002. 240с.
19. Технологія верстатних робіт: навч.пос. для проф.-техн. навч. закладів / за наук. ред. М. А. Вайнтрауба. Київ, 2015. 199с.
20. Швець О.П., Стукалець І.Г. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 133 "Галузеве машинобудування" Львів: ЛНАУ, 2023. 56 с.
21. Швець О.П. Технологія машинобудування: Методичних рекомендацій до виконання практичних робіт студентами ОС «Магістр» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування. Львів, 2019. 74 с.

ДОДАТКИ

							4	1	
				ЛНУВМБ Маш-42сп					
					Вал ступінчастий				
ПОГОДЖЕНО				МОН України			"ЗАТВЕРДЖУЮ"		
Нач. тех. відділу									
Нач. ВТК				<u>КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ НА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ СТУПІНЧАСТОГО ВАЛА</u>			Технолог: <u>Пашко В.</u>		
Інженер ОП і ТБ									
Інженер-метролог									
Впроваджено у виробництво									
Акт № _____ Дата _____									

