

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Кафедра Механіко-машинобудівний факультет
Технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти Ванжі Максима Сергійовича
(ПІБ)

академічної групи 131М-23н-1
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і назва спеціальності)

за освітньо-науковою програмою
Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва
(офіційна назва)

на тему Дослідження режимів різання для токарних верстатів з ЧПК
на основі аналізу енергетичних показників

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Алексенко С.В.	75	добре	
розділів				
Аналітичний	Алексенко С.В.	75	добре	
Технологічний	Алексенко С.В.	75	добре	
Спеціальний	Алексенко С.В.	75	добре	
Науково-дослідницький	Алексенко С.В.	75	добре	
Рецензент	Сидорівська З.В.	75	добре	
Нормоконтролер	Рубан В.М.	75	добре	

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. У зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

Технології машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)


(підпис)

В.А. Дербаб

(ініціали та прізвище)

« 03 »

02 2025 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти

Ванжі М.С.

(прізвище та ініціали)

академічної групи

131м-23н-1

(шифр)

спеціальності

131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою

Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва

(офіційна назва)

на тему Дослідження режимів різання для токарних верстатів з ЧПК

на основі аналізу енергетичних показників

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень – процес механічної обробки на верстаті з ЧПК

Предмет досліджень – енергетичні характеристики приводу головного руху та їх вплив на режими різання

Мета – дослідження впливу режимів різання на стійкість різального інструменту при механічній обробці деталей на верстаті з ЧПК

Вихідні дані для проведення роботи – кресленник деталі «Вал-шестерня», дані про матеріал деталі, характеристики верстатів та різального інструменту, теоретичні та довідкові дані з оцінки енергоефективності процесів різання

3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Новизна – визначення оптимальних режимів різання на основі аналізу енергетичних характеристик приводу головного руху верстата

Практична цінність – підвищення продуктивності механічної обробки та зниження енергоспоживання для токарних верстатів з ЧПК

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Розробка методики практичного застосування отриманих результатів для конкретних умов обробки деталі, що забезпечує підвищення точності та ефективності вибору режимів різання

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Аналітичний розділ: аналіз технологічності конструкції деталі	03.02.25-16.02.25
Технологічний розділ: проєкт технології обробки деталі	17.02.25-02.03.25
Спеціальний розділ: розробка верстатного пристрою, складання специфікації	03.03.25-16.03.25
Науково-дослідницький розділ: дослідження енергоефективності процесу різання	17.03.25-04.05.25

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект – зниження енергоємності процесу механічної обробки та підвищення ефективності використання обладнання

Соціальний ефект – підвищення рівня кваліфікації працівників через впровадження сучасних методів оптимізації на підприємстві

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Забезпечення відповідності технологічного процесу стандартам ДСТУ, ISO, використання сучасних верстатів з ЧПК та різального інструменту

Завдання видано


(підпис керівника)

С.В. Алексєєнко
(ініціали та прізвище)

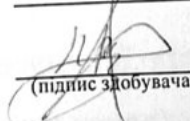
Дата видачі

03.02.2025

Дата подання до екзаменаційної комісії

09.05.2025

Прийнято до виконання


(підпис здобувача)

М.С. Ванжа
(ініціали та прізвище)

Вступ

Сучасне машинобудування характеризується постійним прагненням до підвищення продуктивності, точності та економічності виробничих процесів. Особливо це стосується механічної обробки деталей на токарних верстатах з числовим програмним керуванням. Однак ефективність роботи таких верстатів значною мірою залежить від правильно вибраних режимів різання. У цьому контексті дослідження режимів різання на основі аналізу енергетичних показників стає важливим напрямком, який дозволяє оптимізувати процеси обробки, знизити енергоспоживання та покращити якість продукції.

Енергетичні показники токарних верстатів з ЧПК включають загальне енергоспоживання, розподіл енергії між окремими компонентами (шпиндель, приводи, системи охолодження) та ефективність перетворення електричної енергії у корисну роботу. Аналіз цих показників дозволяє:

- Виявити найбільш енергоємні етапи обробки.
- Оцінити вплив режимів різання на загальну ефективність процесу.
- Розробити стратегії зниження енергетичних втрат.

Дослідження режимів різання для токарних верстатів з ЧПК на основі аналізу енергетичних показників є важливим напрямком для підвищення ефективності механічної обробки. Оптимізація режимів різання дозволяє знизити енергоспоживання, покращити якість продукції та збільшити термін служби обладнання.

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ДТМ-ІНЖИНІРИНГ».

1 Аналітичний розділ

1.1 Характеристика об'єкту виробництва

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

півосі, втулки та інші деталі підвищеної міцності, що покращуються [2, 3].

Зварюваність: важкозварювана.

Флокеночутливість: чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості: схильна.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

яки своїм властивостям і промисловості, що включає, будівництво та інші. Вона в різноманітних умовах.

ним властивостям, знаходить широке використання у різних галузях промисловості. Нижче представлено більш детальний огляд місць і способів використання цієї сталі [4].

Машинобудування. Сталь 40X є дуже популярною в машинобудуванні. Вона використовується для виготовлення важливих деталей і вузлів машин, таких як валки, шестерні, ланцюги, болти, гайки, інструменти, гвинти та інші складові, які потребують високої міцності та стійкості до зносу.

Автомобільна промисловість. У сфері автомобільного виробництва сталь 40X використовується для виготовлення деталей трансмісії, диференціалів, а також інших складових частин автомобільної техніки, які піддаються великим механічним навантаженням.

Будівельна галузь. У будівельній галузі сталь марки 40X застосовується для виготовлення конструкційних елементів, таких як болти, гайки, шайби, що забезпечують стійкість та надійність будівельних конструкцій.

Сільське господарство. В сільському господарстві ця сталь використовується для виготовлення сільськогосподарських інструментів та обладнання, наприклад, плуги, диски, вали та інші деталі сільськогосподарської техніки.

Енергетика. У сфері енергетики сталь 40X використовується для виробництва деталей та обладнання, які використовуються в електростанціях та теплоенергетиці.

Виробництво інструментів. Через високу міцність і можливість обробки, сталь 40X також застосовується для виготовлення інструментів, таких як свердла, фрези, різці, ключі та інше ручне та машинне інструментальне обладнання.

Гірництво та видобуток. У гірництві і видобутку ресурсів сталь цієї марки використовується для виробництва ковшів, бурових інструментів, деталей для дробильної і конвеєрної техніки.

Загалом, сталь марки 40X є надійним матеріалом з високими міцнісними та технологічними властивостями, що дозволяє використовувати її в багатьох різних галузях промисловості та будівництва. Широкий спектр її застосування свідчить про її значущість у виробництві [4].

Хімічний склад сталі 40X включає наступні складові:

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Механічні властивості сталі 40X приведені в таблиці 1.1.

Та

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Оцінка конструкції деталі на технологічність буває двох видів: якісна та кількісна.

Якісна оцінка виконується суб'єктивно, самим технологом на підставі досвіду виробництва і полягає: чи зручно з технічної точки зору досягати задану конструктором форму деталі, забезпечити точність та якість обробки; чи можлива обробка заданої деталі на стандартному устаткуванні, стандартним різальним інструментом, чи доступне його підведення та нормальна умова обробки [5, 6].

1) Якісна оцінка технологічності.

Основними конструкторськими базами деталі є дві циліндричні шийки діаметром $\varnothing 25k6$, а також правий торець зубчастого вінця. Вони визначають точність установки вала в розточеннях стінок корпусу редуктора. Допоміжною конструкторською базою є циліндрична поверхня, призначена для базування шківів клинопасової передачі, що передає крутний момент за допомогою шпонкового з'єднання шириною 5 мм. Шків фіксується в осьовому напрямку за допомогою різьбового з'єднання M24.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

обробки та рівномірній концентрації операцій.

Форма шпонкового паза стандартна і може оброблятися відповідним різальним інструментом без обмежень режимів різання.

Таким чином, конструкція деталі «Вал-шестерня» є технологічною.

2) Кількісна оцінка технологічності.

Кількісна оцінка проводиться за такими показниками технологічності, як коефіцієнт точності, коефіцієнт шорсткості.

- Коефіцієнт точності.

Деталь вважається технологічною за точністю, якщо виконується умова:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} \geq 0,8,$$

де T_{cp} – середній квалітет розмірів деталі.

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i},$$

де n_i – кількість розмірів кожного квалітету.

$$T_{cp} = \frac{6 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 14 \cdot 2 + 15 \cdot 2}{7} = 11,14$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{11,14} = 0,91 > 0,8$$

$0,91 > 0,8$ – за показником точності деталь технологічна.

- Коефіцієнт шорсткості.

Деталь вважається технологічною за шорсткістю, якщо виконується умова:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{ср}} \leq 0,32 ,$$

де $Ш_{ср}$ – середня шорсткість.

$$Ш_{ср} = \frac{\Sigma Ш_{ср} \cdot ni}{\Sigma ni}$$

$$Ш_{ср} = \frac{12,5 \cdot 4 + 6,3 \cdot 3 + 3,2 \cdot 4 + 1,6 \cdot 4 + 0,8 \cdot 2}{17} = 5,28$$

$$K_{ш} = \frac{1}{5,28} = 0,19 < 0,32$$

$0,19 < 0,32$ – за показником шорсткості деталь технологічна.

За кількісною оцінкою деталь «Вал-шестерня» – технологічна.

1.3 Висновки

На підставі проведеного аналізу конструкції деталі на технологічність, хімічного складу і механічних властивостей матеріалу робимо висновок, що деталь «Вал-шестерня» – технологічна.

2 Технологічний розділ

2.1 Встановлення виробничої програми випуску деталей

Програма випуску деталей встановлена в завданні і складає $N = 5000$ шт/рік. Задана програма визначається за даною кількістю випуску готових виробів на рік при визначній кількості змін на добу і встановленою тривалістю змін [5, 6, 7].

Детальна програма виробів визначається за формулою:

$$N = N_p \cdot m \cdot \left(1 + \frac{h}{100}\right),$$

де $N_p = 5000$ – кількість виробів виготовлених на рік, шт.;

$m = 1$ – кількість деталей на одну машину, шт.;

$h = 2$ – кількість деталей запасних частин, %.

$$N = 5000 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right) = 5100 \text{ шт.}$$

Такт виробництва визначимо за формулою:

$$t_B = \frac{60 \cdot \Phi_D}{N},$$

де $\Phi_D = 2080$ - річний фонд роботи обладнання, годин.

$$t_B = \frac{60 \cdot 2080}{5100} = 24,5 \text{ хв.}$$

Розмір партії визначимо за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi};$$

де $N = 5100$ – річна програма випуску, шт.;

$a = 5$ – періодичність запуску деталей у виробництво, днів;

$\Phi = 260$ – число робочих днів у році.

$$n = \frac{5100 \cdot 5}{260} = 98 \text{ шт.}$$

2.2 Вибір і обґрунтування методу отримання заготовки

Спосіб отримання заготовок визначається призначенням і конструкцією деталі, матеріалом, технічними вимогами, масштабом і серійністю випуску, а також економічністю виготовлення [8, 9].

На робочому кресленні деталі не зазначено вид заготовки. Тому можна розглядати заготовку з сортового прокату круглого перетину.

Деталь має значні перепади діаметрів зубчастого вінця і посадочних поверхонь під підшипники, тому можна розглядати заготовку - сталеву штамповану поковку, отриману гарячим об'ємним штампуванням. У цьому випадку форма заготовки в значній мірі буде наближена до форми готової деталі.

Проектована заготовка приведена на рисунку 2.1.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки, яка отримується штампуванням

Розміри заготовки розраховуються з урахуванням припусків на механічну обробку, які призначають за ДСТУ 9182:2022 «Поковки з вуглецевої і легованої сталі, виготовлені куванням на пресах. Припуски і допуски».

Розрахункова маса поковки:

$$M_{пр} = M_{д} \cdot K_{р} = 1,1 \cdot 1,5 = 1,65 \text{ кг},$$

де $M_{д}$ – маса деталі, кг;

$K_{р} = 1,2 \div 1,3$ – розрахунковий коефіцієнт для деталей подовженої форми з прямою віссю.

Ступінь складності є однією з конструктивних характеристик форми поковки, якісно оцінює її, і використовується при призначенні припусків і допусків. Ступінь складності визначається шляхом обчислення відношення маси (обсягу) $G_{п}$ поковки до маси (обсягу) $G_{ф}$ геометричної фігури, в яку вписується форма поковки.

При обчисленні відношення $G_{п} / G_{ф}$ приймають таку з геометричних фігур, маса (об'єм) якої менше. В даному випадку простою фігурою вважаємо циліндр діаметром 47,3 мм ($45 \times 1,05$) і довжиною 220,5 мм ($210 \times 1,05$). Її маса дорівнює 3,04 кг.

Ступенями складності поковок відповідають наступні чисельні значення відношення $G_{п} / G_{ф}$:

C1 – понад 0,63;

C2 – понад 0,32 до 0,63;

C3 – понад 0,16 до 0,32;

C4 – до 0,16 включно.

Для відношення $1,65 / 3,2 = 0,54$ приймається ступінь складності C2.

Інші вихідні дані, прийняті для проектування поковки, наступні:

Клас точності поковки – Т3, закрите штампування на КГШП.

Група сталі – М3, вміст легуючих елементів більше 5%.

Ступінь складності – C2, $G_{п}/G_{ф}=1,65/3,17=0,52$ (0,32-0,63).

Конфігурація поверхні роз'єму – П, плоска.

На підставі вихідних даних визначаємо вихідний індекс штампування - 10. Відповідно до нього визначаються основні припуски на механічну обробку і допуски на розміри заготовки.

Додатковий припуск, що враховує зміщення по поверхні рознімання штампа 0,2 мм і відхилення від прямолінійності 0,4 мм. Розраховані розміри заготовки наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Допуски, припуски та розміри заготовки

Розмір оброблюваної поверхні, мм	Параметр шорсткості Ra, мкм	Основний припуск на сторону, мм	Додатковий припуск, мм	Загальний Допуск на розмір, мм	Виконавчий розмір заготовки, мм	Позначення на рис. 2.1
Зовнішні циліндричні поверхні						
25k6	0,8	1,5	0,2	1,4	28,9 ^{+0,9} _{-0,5} *	d ₁
33h14	12,5	1,1	0,2	1,4	35,6 ^{+0,9} _{-0,5}	d ₂
45h14	12,5	1,2	0,2	1,6	47,8 ^{+1,1} _{-0,5}	d ₃
Торцеві поверхні						
210	12,5	1,4	0,6	2,2	214 ^{+1,4} _{-0,8}	L
105	1,6	1,6	0,6	2,0	104,8 ^{+1,3} _{-0,7}	l ₃
40	1,6	1,5	0,2	1,6	43,4 ^{+1,1} _{-0,5}	l ₁
20	1,6	1,4	0,2	1,4	20,6 ^{+0,9} _{-0,5}	l ₂

Маса заготовки:

$$Q = \rho \cdot \sum_1^n V_i ,$$

де ρ - питома вага матеріалу заготовки, кг/м³;

$\sum_1^n V_i$ - сума об'ємів фігур, що входять до складу заготовки, м³.

$$Q = 7,85 \cdot 10^3 \cdot (79,4 + 88,1 + 77,8 + 0,5) \cdot 10^{-6} = 1,93 \text{ кг}$$

Уточнена ступінь складності поковки - С2, оскільки співвідношення дійсної маси поковки і деталі не виходить за рекомендований діапазон (0,57).

На підставі отриманих даних розроблено робочий проект поковки з урахуванням таких показників:

- мінімальна величина радіусів заокруглень зовнішніх кутів поковок встановлюється в залежності від маси поковки і глибини порожнини струмка штампа і в для даної деталі становить 2 мм;

- допуск радіусів заокруглень для штамповок класу точністю Т3 складає 0,5 мм;

- зовнішні штампувальні ухили приймаються 5 градусів;

- глибина западини повинна бути не більше 0,5 величини фактичного припуску. Висота виступу допускається до 3 мм на оброблюваній поверхні.

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки:

$$КВМ_{\text{пок}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{зпок}}}$$

де $M_{\text{д}} = 1,1$ – маса деталі, кг;

$M_{\text{зпок}} = 1,93$ – маса заготовки, кг.

$$КВМ_{\text{пок}} = \frac{1,1}{1,93} = 0,57.$$

2.3 Розробка маршруту виготовлення деталі

При розробці маршруту виготовлення деталі орієнтуємося на типовий технологічний маршрут виготовлення дрібних валів в умовах серійного виробництва.

Кількість технологічних операцій, їх концентрація буде визначатися методами обробки поверхонь, які призначені виходячи з необхідного квалітету розміру, параметра шорсткості і умов оброблюваності конструкційних легованих сталей.

Перелік оброблюваних поверхонь і методи обробки, які можуть забезпечити виконання вимог креслення, наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Перелік оброблюваних поверхонь і методи обробки

Вид поверхні розмір, мм	Квалітет	Шорсткість Ra, мкм	Метод обробки поверхні
Зовнішня $\varnothing 25k6$	6	0,8	Точіння чорнове Точіння чистове Шліфування чорнове Шліфування чистове
Зовнішня $\varnothing 45 h14$	14	12,5	Точіння чорнове Точіння чистове
Зовнішня $\varnothing 33h14$	14	12,5	Точіння однократне
Торцеві $210j_s15$	15	12,5	Точіння одноразове
Торцеві $40J_s15$	15	1,6	Точіння чорнове Точіння чистове
		6,3	Точіння чорнове
Зубчаста, модулем 2,5 мм	-	1,6	Фрезерування зубів Шліфування зубів
Шпонковий паз 5×33 мм	-	3,2	Фрезерування

Пропонований маршрут виготовлення деталі «Вал-шестерня» наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технологічний маршрут механічної обробки деталі

№	Найменування операції	Зміст операції	Модель верстата
005	Токарна з ЧПК	Чорнове та чистове точіння поверхонь з лівого торця	HAAS ST-25
010	Токарна з ЧПК	Чорнове та чистове точіння поверхонь з правого торця, нарізання різьблення M24	HAAS ST-25
015	Шпонково-фрезерна	Фрезерування паза	HAAS VF-1
020	Зубофрезерна	Фрезерування зубів	GearSpect SF 350 CNC
025	Термічна обробка	Цементация і загартування	-
030	Зубохонінгувальна	Обробка бічних поверхонь зубів	JUNKER JUMAT 5000
035	Круглошліфувальна	Шліфування опорних шийок	JUNKER JUMAT 5000
040	Контрольна	Контроль деталі	Стіл ВТК

Характеристики верстатів, що використовуються для виготовлення деталі, наведені в таблицях 2.4 – 2.7.

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика верстата HAAS ST-25

Найменування параметру	Значення
Система управління ЧПК	Haas
Максимальне коливання деталей, мм	533
Максимальна довжина різання, мм	572
Максимальний діаметр різання, мм	330
Переміщення по осі X, мм	213
Переміщення по осі Z, мм	572
Швидкість обертання шпинделя, об/хв.	6000
Прискорені переміщення за осями X, Z, м/хв.	24
Кількість інструменту	12
Максимальна потужність, кВт	22,4
Габаритні розміри верстата, мм	3630×2290×2340
Вага верстата, кг	4536

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики верстата HAAS VF-1

Найменування параметру	Значення
Система керування	HAAS Control
Робочі ходи: вісь X, мм	508
Робочі ходи: вісь Y, мм	406
Робочі ходи: вісь Z, мм	508
Довжина столу, мм	660
Ширина столу, мм	356
Максимальний крутний момент, Нм	122
Кількість інструментів	20
Швидкість обертання шпинделя, об/хв.	8100
Максимальна потужність, кВт	22,4
Розміри верстата, мм	2570×2510×2570
Маса, кг	3539

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики верстата GearSpect SF 350 CNC

Найменування параметру	Значення
Система керування	SINUMERIC 840D
Найбільший діаметр зачеплення, мм	350
Максимальний модуль, мм	12
Максимальний осьовий рух супорта фрези, мм	400
Максимальний еліптичний кут, град	±35
Максимальний діаметр фрези, мм	300
Максимальна довжина фрези, мм	300
Максимальне переміщення фрези, мм	250
Відстань від осі фрези до осі столу, мм	50 – 550
Швидка подача осі X, Z, м/хв	3
Швидка подача осі Y, м/хв	4,2
Швидкість обертання шпинделя фрези, хв ⁻¹	400
Потужність головного двигуна, кВт	18,5/25,5
Габарити верстата, мм	2600×5530×3800
Маса верстата, кг	16000

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики верстата JUNKER JUMAT 5000

Найменування параметру	Значення
Кількість шліфувальних бабок	1
Довжина шліфування, мм	700
Затискна довжина, мм	700
Висота центрів, мм	170
Вага заготовки, кг	130
Діаметр шліфувального круга, мм	500
Діаметр оброблюємої деталі, мм	280
Розміри верстата, мм	4900×3400×2350
Маса, кг	14000

2.4 Розрахунок міжопераційних припусків і допусків

Припуски на механічну обробку в значній мірі впливають на собівартість виготовлення деталі. Видалення надмірного припуску пов'язане зі збільшенням машинного часу на чорнову обробку, як в разі виконання додаткових проходів, так і за рахунок зниження режимів різання в разі значної глибини різання. При цьому підвищується витрата різального інструменту і загальні витрати на експлуатацію робочого місця.

Припуски на дві поверхні призначаємо статистичними (табличним) методом. В цьому випадку загальний припуск приймається рівним припуску, призначеного на заготовку за ДСТУ 9182:2022, а припуск на обробку, наступну після чорнової, за таблицями, які наведені в довідковій літературі [10].

Методику розрахунку виконаємо для зовнішньої поверхні діаметром 25k6 мм.

Загальний припуск на діаметр дорівнює 3,4 мм, допуск на розмір заготовки 1,4 мм.

На чистове точіння рекомендується припуск 1,0 мм на діаметр, на шліфування - 0,4 мм.

Оскільки для обробки цієї поверхні передбачено чорнове і чистове шліфування, рекомендований припуск поділяємо відповідно до рекомендацій довідкової літератури - 0,3 мм на чорнове шліфування і 0,1 мм - на чистове.

Припуск на чорнове точіння визначається як різниця між загальним припуском на механічну обробку і сумою операційних припусків за формулою:

$$Z_{\text{чорн}} = Z_{\text{обц}} - Z_{\text{точ.чист}} - Z_{\text{шліф.чорн}} - Z_{\text{шліф.чист}}$$

$$Z_{\text{чорн}} = 3,4 - 1,0 - 0,3 - 0,1 = 2 \text{ мм}$$

Розрахунковий розмір для останнього переходу (шліфування) приймається рівним мінімального розміру за кресленням (25,002 мм). Для

наступного переходу він визначається шляхом додавання призначеного припуску (25,102 мм).

Граничні припуски для кожного переходу МОП визначаються шляхом віднімання граничних розмірів на двох сусідніх переходах:

для чорнового точіння

$$Z_{\text{чорн. min}} = 28,40 - 26,40 = 2,00 \text{ мм}$$

$$Z_{\text{чорн. max}} = 29,80 - 26,72 = 3,08 \text{ мм}$$

для чистового точіння

$$Z_{\text{чист. min}} = 26,400 - 25,402 = 0,998 \text{ мм}$$

$$Z_{\text{чист. max}} = 26,720 - 25,486 = 1,234 \text{ мм}$$

для шліф. чорнового

$$Z_{\text{шліф. чорн. min}} = 25,402 - 25,102 = 0,300 \text{ мм}$$

$$Z_{\text{шліф. чорн. max}} = 25,486 - 25,135 = 0,351 \text{ мм}$$

для шліф. чистового

$$Z_{\text{шліф. чист. min}} = 25,102 - 25,002 = 0,100 \text{ мм}$$

$$Z_{\text{шліф. чист. max}} = 25,135 - 25,015 = 0,120 \text{ мм}$$

Правильність обчислень перевіряється за формулою:

$$Z_{i \text{ max}} - Z_{i \text{ min}} = \delta_{i-} - \delta_i$$

Для даного розрахунку:

$$4785 - 3398 = 1400 - 13$$

або

$$1387 = 1387.$$

Розрахунок операційних розмірів і граничних припусків на механічну обробку торців, пов'язаних розміром 40js15 мм представлені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Розрахунок операційних розмірів і граничних припусків

Метод обробки поверхні	При- пуск, мм	Розрахун- ковий розмір, мм	Допуск, мкм	Розмір, мм		Припуск, мкм	
				d_{\min}	d_{\max}	Z_{\min}	Z_{\max}
Зовнішня циліндрична діаметром $\varnothing 25k6^{+0,015}_{+0,002}$ мм							
Заготовка		28,402	1400	28,4	29,8		
Точіння чорнове	2,0	26,402	330	26,40	26,72	2000	3080
Точіння чистове	1,0	25,402	84	25,402	25,486	998	1234
Шліфування чорнове	0,3	25,102	33	25,102	25,135	300	351
Шліфування чистове	0,1	25,002	13	25,002	25,015	100	120
Торцеві поверхні, пов'язані з розміром $40\pm 0,5$ мм							
Заготівля		42,9	1600	42,9	44,5		
Точіння лівого торця	1,7	41,2	1300	41,2	42,5	1700	2000
Чорнове точіння правого торця	1,1	40,1	1000	40,1	41,1	1100	1400
Чистове точіння лівого торця	0,6	39,5	1000	39,5	40,5	600	600

2.5 Детальна розробка технологічних операцій

Виготовлення деталі «Вал-шестерня» передбачає 6 технологічних операцій механічної обробки. Розрахунок режимів різання виконаємо для токарної з ЧПК операції.

Операція 005, Токарна з ЧПК

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК HAAS ST-25.

Заготівля базується в трикулачковому патроні.

Операція включає три переходи:

1 – чорнове точіння циліндричних поверхонь діаметрами $33_{-0,62}$ і $46_{-0,62}$ мм і фаски $2 \times 45^\circ$.

Різальний інструмент – різець ISCAR TSSNR 2525M-12CH з пластиною TCMT 16T308-M3P;

2 – підрізка торця в розмір $65 \pm 0,37$ мм.

Різальний інструмент – ISCAR TCMT 16T308-M3P з пластиною D6NMG 160404-M3P.

3 – чистове точіння циліндричної поверхонь діаметром $25,486_{-0,084}$ мм.

Різальний інструмент – ISCAR TCMT 16T308-M3P з пластиною D6NMG 160404-M3P.

Розрахунок режимів різання для токарної обробки виконуємо для першого інструментального переходу.

Вихідні дані:

- максимальна глибина різання 1,3 мм;

- максимальний діаметр обробки 47,8 мм.

Рекомендоване значення подачі при чорновому точінні сталей – 0,47 мм/об.

Уточнене значення подачі:

$$S_o = S_{от} \cdot K_{сп} \cdot K_{си} \cdot K_{сф} \cdot K_{сз} \cdot K_{сж} \cdot K_{см}$$

$$S_o = 0,47 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,0 \cdot 1 \cdot 0,62 \cdot 1,07 = 0,25 \text{ мм/об.}$$

де $S_{от} = 0,47$ – табличне значення подачі, мм/об;

$K_{сп} = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні;

$K_{sm} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

$K_{sf} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує наявність фасонної поверхні;

$K_{s3} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вплив загартування;

$K_{sj} = 0,62$ – коефіцієнт, що враховує твердість технологічної системи;

$K_{sm} = 1,07$ – коефіцієнт, що враховує групу оброблюваного матеріалу.

Для даного верстата подача регулюється безступінчасто.

Швидкість різання $V = 236$ м/хв.

Уточнене значення швидкості різання:

$$V = V_T \cdot K_{vm} \cdot K_{vi} \cdot K_{vy} \cdot K_{vm} \cdot K_{vj} \cdot K_{vi} \cdot K_{vo}$$

$$V = 236 \cdot 0,58 \cdot 0,65 \cdot 0,81 \cdot 1,0 \cdot 0,61 \cdot 0,85 \cdot 1 = 37,4 \text{ м/хв.,}$$

де $V_T = 236$ м/хв. – значення швидкості різання;

$K_{vm} = 0,58$ – коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу;

$K_{vi} = 0,65$ – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

$K_{vy} = 0,81$ – коефіцієнт, що враховує кут в плані;

$K_{vm} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вид обробки;

$K_{vj} = 0,61$ – коефіцієнт, що враховує твердість технологічної системи;

$K_{vi} = 0,85$ – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

$K_{vo} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОР.

За розрахункової швидкості різання визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 37,4}{3,14 \cdot 47,8} = 249,2 \text{ м/хв.}$$

Приймаємо 250 об/хв.

Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$T_o = \frac{L_{px}}{S_{мин}} \cdot i = \frac{110}{62,5} \cdot 1 = 1,76 \text{ хв.},$$

де $L_{px} = 110$ мм - довжина робочого ходу інструмента по траєкторії руху.

Результати розрахунку режимів різання для всіх технологічних переходів даної операції наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Режими різання

Перехід	t, мм	S _т , мм/об	S _о , мм/об	V _т , м/хв	V, м/хв	L _{рх} , мм	n, об/хв	T _о , хв.
1	1,3	0,47	0,25	236	37,4	110	250	1,76
2	1,7	0,47	0,25	236	67,7	7	400	0,07
3	0,6	0,24	0,16	236	67,7	22	800	0,17

Операція 010, Токарна з ЧПК

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК HAAS ST-25.

Заготівля базується в трикулачковому патроні.

Операція включає чотири інструментальних переходи:

1 - чорнове точіння за програмою циліндричних і торцевих поверхонь з правого торця деталі.

Різальний інструмент – різець ISCAR CTGPR 2525M-16 з пластиною TPMPR 110308.

2 - точіння зарізьбової канавки

Різальний інструмент – різець ISCAR SVVCN 2525M-16 з пластиною VCMT 160404-F3M.

3 - нарізання різьбової поверхні M24-8g

Різальний інструмент – різець ISCAR SER 2525 M16-JHP з пластиною 16ER AG 55 IC250.

4 - чистове точіння циліндричних і торцевих поверхонь

Різальний інструмент – різець ISCAR MTJNR 2525M-22W з пластиною TNMG 160404-FFG.

Операція 015, Шпонково-фрезерна

Операція виконується на верстаті з ЧПК HAAS VF-1.

Деталь базується в пристосуванні при верстаті.

Здійснюється фрезерування паза шириною 5 мм.

Різальний інструмент – фреза ISCAR EC-H4L 05-13/20C6CFR.2 з закріпленням в цанговому патроні ER-SRK.

Операція 020, Зубофрезерна

Операція виконується на зубофрезерному верстаті GearSpect SF 350 CNC.

Деталь базується в центрах.

За один перехід методом обкатки здійснюється фрезерування 16 зубів.

Різальний інструмент – однозахідна черв'ячна фреза класу точності В, модулем 2,5 мм, діаметром 71 мм.

Операція 030, Зубохонінгувальна

Операція виконується на верстаті JUNKER JUMAT 5000.

Деталь базується в центрах.

Різальний інструмент – хон дисковий типу I, діаметр Ø180 мм, ширина вінця 30 мм.

Операція 035, Круглошліфувальна

Операція виконується на верстаті JUNKER JUMAT 5000.

Деталь базується в центрах.

Здійснюється шліфування циліндричних поверхонь діаметром Ø25k6 мм.

Різальний інструмент – круг шліфувальний ПП 600×25×305 24A25CT1K5.

Контроль розмірів – використовується граничний калібр-скоба.

2.6 Висновки

В даному розділі проведено вибір і обґрунтування методу отримання заготовки, розраховано припуски на механічну обробку, розроблено маршрут обробки деталі, режими різання та норми часу.

з
с

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

(базування і
фрезерна для
ибиною 4 мм.

3.1 Розрахунок похибки пристосування

Похибки установки, пов'язані з базуванням, закріпленням і неточністю пристосувань, мають прямий вплив на просторові відхилення, тобто на відхилення координуючих розмірів і співвідношень, і не впливають на відхилення розмірів і форми окремих поверхонь (зокрема, діаметральні розмірів і розмірів, одержуваних мірним інструментом), за винятком випадків затиску тонкостінних деталей [14].

Точність верстатного пристосування при фрезеруванні паза в розмір 33 мм визначається за умовою:

$$\epsilon \leq [\epsilon]$$

де $[\epsilon]$ - допустима величина похибки пристосування, мкм;

ϵ - дійсна величина похибки при обробці, мкм.

Допустима величина похибки залежить від прийнятої схеми базування, величини допуску на розмір і похибок механічної обробки:

$$[\epsilon] = IT - k_w \cdot w = 620 - 0,8 \cdot 500 = 220 \text{ мкм,}$$

де IT - допуск на розмір паза;

k_w - коефіцієнт посилення точності обробки;

w - середньо-економічна точність фрезерування.

Дійсна похибка пристосування:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{п}}^2}$$

Похибка базування заготовки в спеціальному гідравлічному пристосуванні дорівнює нулю:

$$\varepsilon_0 = 0;$$

Похибка закріплення заготовки:

$$\varepsilon_3 = 100;$$

Похибка положення заготовки:

$$\varepsilon_{\text{п}} = \beta \sqrt{N} \cdot \cos \gamma = 0,5 \cdot 67,34 = 33,67 \text{ мкм}$$

де β - емпіричний коефіцієнт для розрахунку величини зносу базових поверхонь призм;

N - річна програма випуску деталей, шт;

γ - кут між напрямком виконуваного розміру і нормаллю до базової поверхні.

$$\varepsilon = \sqrt{0^2 + 100^2 + 33,67^2} = 105,52 \text{ мкм}$$

Умова $\varepsilon \leq [\varepsilon]$ виконується, тому що $105,52 < 220$.

Обрана схема базування і закріплення заготовки в пристосуванні забезпечує задану точність обробки.

3.2 Розрахунок зусилля затиску заготовки та гідроциліндра

Основне призначення затискних пристроїв - забезпечити надійний контакт заготовки з установочними елементами і запобігти її зміщення щодо них і вібрацію в процесі обробки [14].

При фрезеруванні поверхонь в розмір 33 мм основна складова сила різання P_z направлена перпендикулярно осі отвору і паралельно основній технологічній базі.

Зусилля затиску:

$$P_3 = \frac{k \cdot P_z}{f_1 + f_2} = \frac{4,84 \cdot 2100}{0,25 + 0,25} = 20328 \text{ Н.}$$

де $k = 4,84$, коефіцієнт запасу при фрезеруванні паза

$P_z = 1580,7 \text{ Н}$, складова сил різання;

$f_1 = 0,25$, коефіцієнт тертя в зоні контакту: деталь – губка;

$f_2 = 0,25$, коефіцієнт тертя в зоні контакту: губка – деталь.

$$P_z = 10C_p t^x S_z^y V^n K_p = 2100 \text{ Н}$$

де $C_p = 300$ - коефіцієнт у формулі розрахунку сил різання;

$t = 4 \text{ мм}$ - глибина різання;

$s = 0,42 \text{ мм/об}$ – подача;

$K_p = 1$, коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалу заготовки;

$x = 1,0$; $y = 0,75$; $n = -1,5$ - показники ступеня у формулі для розрахунку сили різання.

Діаметр поршня гідроциліндра двосторонньої дії для закріплення заготовки:

$$d_{\Pi} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_3}{\pi \cdot P \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 20328}{3,14 \cdot 6,3 \cdot 0,93}} = 66,5 \text{ мм}$$

де P_3 – зусилля затиску, Н;

P – робочий тиск;

η – коефіцієнт корисної дії гідроциліндра.

Приймаємо стандартний гідроциліндр двосторонньої дії за ISO 3320 з діаметром поршня $\varnothing 80 \text{ мм}$.

Технічна характеристика гідроциліндра:

Діаметр поршня – 80 мм,

Діаметр штока – 50 мм,

Хід поршня не більше – 110 мм.

Реалізована сила на штоку гідроциліндра при робочому тиску 6,3 МПа:

- сила, що штовхає – 50,27 кН;
- сила, що тягне – 19,30 кН.

3.3 Висновки

В даному розділі спроектовано верстатний пристрій для фрезерування шпонкового пазу. Проведено розрахунок пристосування, виконано кресленик та специфікацію.

4 Науково-дослідницький розділ

4.1 Постановка задачі дослідження

Оптимізація режимів різання для токарних верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) є одним із ключових напрямків підвищення ефективності сучасного металообробного виробництва. Визначення оптимальної швидкості різання на основі аналізу енергетичних показників приводу головного руху дозволяє не лише скоротити час обробки, але й забезпечити значну економію енергоресурсів. Цей підхід має особливе значення для машинобудування, де ефективність використання обладнання безпосередньо впливає на продуктивність та собівартість виробництва.

Проте процес оптимізації режимів різання супроводжується рядом складнощів. Зокрема, врахування таких факторів, як потужність електродвигуна (N), коефіцієнт потужності ($\cos\phi$) та коефіцієнт корисної дії (ККД) приводу верстата (η), потребує детального аналізу та спеціальних знань. Стандартні методики, такі як табличний, аналітичний чи нормативний підходи, часто не враховують специфіку конкретного обладнання або умов обробки. Наприклад, типовий діапазон ККД для токарних станків з ЧПК становить 0,6–0,8, що може суттєво впливати на результати розрахунків. Додатковою складністю є те, що зміна параметрів обробки (глибина різання t , подача s) вимагає постійної корекції режимів різання.

Аналіз сучасних досліджень у цій галузі демонструє, що тема активно розвивається. У роботі [15] автори досліджують методи зниження енергоспоживання при механічній обробці, акцентуючи увагу на класифікації факторів, що впливають на енергоефективність. У статті [16] запропоновано модель прогнозування енергоспоживання з урахуванням параметрів різання, що частково перекликається з методикою, представленою у даному дослідженні. Особливу увагу приділено взаємозв'язку між швидкістю різання та енергетичними характеристиками процесу.

У дослідженні [17] вивчається вплив різних факторів на загальне енергоспоживання та розробляються рекомендації щодо зниження енергозатрат. Автори зазначають, що врахування технічних характеристик обладнання, таких як ККД, є критичним для досягнення оптимальних результатів. У роботі [18] проведено порівняльний аналіз різних методів оптимізації, зокрема впливу швидкості різання на енергоспоживання. Результати підтверджують важливість застосування комплексних підходів для забезпечення ефективності обробки.

Окрім того, у статті [19] акцентується увага на практичному застосуванні енергоефективних технологій. Автори зазначають, що правильний вибір режимів різання може значно зменшити енерговитрати та покращити техніко-економічні показники виробництва. У дослідженні [20] надається огляд складових енергоспоживання, що включає технологічну та загальну складові. Це дозволяє більш точно моделювати процеси та прогнозувати результати.

На основі проведеного аналізу можна виділити наступні задачі дослідження:

- 1) Розробка методики визначення оптимальної швидкості різання на основі енергетичних показників приводу головного руху, з урахуванням потужності електродвигуна (N), коефіцієнта потужності ($\cos\varphi$) та ККД (η).

- 2) Встановлення взаємозв'язку між параметрами різання (глибина різання t , подача s) та енергетичними характеристиками процесу.

- 3) Практична перевірка розробленої методики на прикладі обробки деталі «Вал-шестерня».

4.2 Дослідження енергоефективності процесу різання

В даний час для оцінки енергоефективності технологічного процесу з енергоспоживання використовуються різні методики:

- оцінка маршрутно-операційного технологічного процесу загалом;
- оцінка окремої операції;
- оцінка за робочими характеристиками привода головного руху (потужність, ККД, $\cos\phi$).

Як критерії для оцінки енергоефективності процесу обробки лезовим інструментом заготовок із конструкційних сталей приймалися:

- оптимальна швидкість різання (V_0);
- показник робочих характеристик привода головного руху;
- потужність електродвигуна (N);
- коефіцієнт корисної дії ККД (η);
- коефіцієнт потужності ($\cos\phi$) та питома енергоємність процесу (β).

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

процесу
ахунок

(4.1)

поняття «енергоефективна швидкість різання» відображає енергетичну складову процесу різання і розглядається з позиції, при якій знімання металу досягається при мінімальних витратах енергії та відповідної швидкості різання. Відношення $N_{розр} / V_e$ характеризує принцип мінімуму енергії, яка витрачається на процес різання, і має практичну цінність.

Використання принципу мінімуму енергії для роботи, що витрачається при різанні, характеризується критерієм оптимізації процесу різання і визначає його питому енергоємність. Питома енергоємність як критерій оптимальності відображає енергетичну сторону процесу різання.

Позитивні сторони критерію полягають у можливості його математичних розрахунків. Призначені параметри обробки при мінімізації питомої енергоємності забезпечують режим підвищеної продуктивності, тому її доцільно використовувати для вибору операцій обробки, зокрема для попередніх операцій.

В нашому випадку пропонується дослідити залежність швидкості різання від потужності приводу головного руху та коефіцієнта корисної дії. Дану залежність можна представити у вигляді:

$$y, \text{ кВт}; \quad (4.2)$$

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

2]:

$D \cdot V$

$$(4.3)$$

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

(4.4)

облює мого

матеріалу та умов його обробки;

x, y, n – показники ступеня;

K_p – поправочний коефіцієнт.

На основі рівноваги систем різання передбачається, що потужність різання дорівнює потужності, що споживається, та потужності електродвигуна:

Конфіденційну інформацію (4.5)

та комерційну таємницю (4.6)

вилучено з матеріалів на різання V , а

також підставі експертного

висновку від 30.06.2025р. (4.7)

кості різання

від енергетичних характеристик верстата (потужність електродвигуна $N_{дв}$ та коефіцієнт корисної дії η) та режимів різання (подачі S та глибині різання t).

Вихідні дані для проведення досліджень:

$$N_{дв} = 22,4 \text{ кВт}, 11,2 \text{ кВт}$$

$$\eta = 0,6 \div 0,85$$

$$S = 0,2 \div 0,6 \text{ мм/об}$$

$$t = 0,6 \div 1,8 \text{ мм}$$

$$C_p = 300$$

$$x = 1,0$$

$$y = 0,75$$

$$n = -0,15$$

$$K_p = K_{мр} \cdot K_{фр} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\Gamma p} = 0,87 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,72$$

$$K_{мр} = 0,87$$

$$K_{фр} = 0,89$$

$$K_{\gamma p} = 1,0$$

$$K_{\lambda p} = 1,0$$

$$K_{\Gamma p} = 0,93$$

Використаємо формулу (4.7) для оцінки впливу глибини різання та подачі на швидкість різання при потужності електродвигуна верстата $N_{дв} = 22,4$ кВт та $11,2$ кВт, коефіцієнт корисної дії $\eta = 0,6 \div 0,85$.

Отримані дані зведені до таблиць, які приведені нижче. Також побудовані графіки залежностей швидкості різання від глибини різання та подачі.

Таблиця 4.1 – Режими різання при $N_{дв} = 22,4$ кВт та $\eta = 0,6$

№		м/с
1	Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.	
2		
3		
4		
5		
6		

Таблиця 4.2 – Режими різання при $N_{дв} = 22,4$ кВт та $\eta = 0,85$

№		м/с
1	Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.	
2		
3		
4		
5		
6		

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 4.1 – Залежність швидкості різання від глибини різання

$$(N_{дв} = 22,4 \text{ кВт}, \eta = 0,6 \div 0,85)$$

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 4.2 – Залежність швидкості різання від подачі

$$(N_{дв} = 22,4 \text{ кВт}, \eta = 0,6 \div 0,85)$$

Таблиця

№	П		л/с
1		Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.	
2			
3			
4			
5			
6			

Таблиця 4.5

№	Пс		л/с
1		Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.	
2			
3			
4			
5			
6			

В таблиці 4.5 представлено значення параметрів режимів різання, які визначалися табличним методом [11, 12, 13] для конкретних умов обробки деталі «Вал-шестерня» в другому розділі даної роботи.

Таблиця 4

№	Под		л/с
1		Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.	
2			
3			

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 4.3 – Залежність швидкості різання від глибини різання

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

— $\eta = 0,6$ — $\eta = 0,85$

Рисунок 4.4 – Залежність швидкості різання від подачі
($N_{дв} = 11,2$ кВт, $\eta = 0,6 \div 0,85$)

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 4.5 – Порівняння залежностей швидкості різання від глибини

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 4.6 – Порівняння залежностей швидкості різання від глибини різання з табличними ($N_{дв} = 11,2$ кВт, $\eta = 0,6 \div 0,85$)

Аналіз графіків:

різ:
різ:
до
си
зап
пої

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

іни
зли
ить
зну
що
і у

На рисунках 4.5 та 4.6 представлено порівняння розрахункових значень швидкості різання з табличними даними. Це дозволяє зробити висновки про точність запропонованої методики: якщо розрахункові значення близькі до табличних, це підтверджує правильність моделі. Якщо розрахункові значення відрізняються, це може вказувати на необхідність налаштування параметрів (C_p , x , y , K_p) або врахування додаткових факторів (наприклад, зносу інструменту).

Оптимальні режими різання можна визначити як ті, які забезпечують мінімальну різницю між розрахунковими та табличними значеннями швидкості різання.

висн
різа
крив
висо

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

і такі
ибини
с 085)
більш

Таким чином, високий ККД верстата дозволяє використовувати вищі швидкості різання, що призведе до підвищення продуктивності та зниження витрат енергії на одиницю обробленого матеріалу.

2. Порівняння з табличними значеннями режимів різання:

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

висно ККД верстата швидкий (наприклад 0,6) слід вибирати

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p$$

3. Зв'язок потужності різання з потужністю двигуна (формула 4.6):

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Питома енергоємність (β) характеризує кількість енергії, що витрачається на одиницю об'єму матеріалу, що зрізується. Мінімізація цього показника означає:

- Економію енергоресурсів. Процес стає більш енергоефективним.
- Підвищення продуктивності. При менших енерговитратах можна досягти більшої швидкості обробки.
- Зниження зносу інструменту. Менша енергоємність процесу знижує теплове та механічне навантаження на різальний інструмент.

Практичний підхід до визначення оптимальних режимів.

1) Вибір діапазону параметрів:

- визначення діапазону значень t та S , які відповідають вимогам до якості обробки та продуктивності;
- для кожного значення t та S знаходять відповідну швидкість різання (V) на графіках.

2) Порівняння з обмеженнями обладнання:

- треба переконатися, що вибрані режими не перевищують допустиму потужність двигуна ($N_{дв}$) та інші технічні обмеження верстата.

3) Мінімізація питомої енергоємності:

- розрахунок питомої енергоємності (β) для вибраних режимів;
- вибір режимів, за яких β мінімальна.

4) Перевірка якості обробки:

- проведення експериментальної перевірки вибраних режимів на деталі;
- оцінка якості обробки (шорсткість поверхні, точність розмірів) та за потреби коригування режимів.

Таким чином:

Розроблена методика дозволяє визначати оптимальні режими різання з урахуванням енергетичних характеристик обладнання.

Встановлено, що збільшення глибини різання та подачі призводить до зниження швидкості різання, що пов'язано із зростанням споживаної потужності.

Наукова новизна:

Запропоновано новий підхід до визначення оптимальних режимів різання на основі аналізу енергетичних характеристик приводу головного руху, який враховує потужність електродвигуна, ККД та коефіцієнт потужності.

Розроблено методику практичного застосування отриманих результатів для конкретних умов обробки деталі, що забезпечує підвищення точності та ефективності вибору режимів різання.

4.3 Висновки

В даному розділі розглянуто енергоефективність процесу механічної обробки деталі «Вал-шестерня». Розроблено методику, яка дозволяє визначати оптимальні режими різання з урахуванням енергетичних характеристик обладнання.

Встановлено, що збільшення глибини різання та подачі призводить до зниження швидкості різання, що пов'язано із зростанням споживаної потужності.

Наукова новизна:

Запропоновано новий підхід до визначення оптимальних режимів різання на основі аналізу енергетичних характеристик приводу головного руху, який враховує потужність електродвигуна, ККД та коефіцієнт потужності.

Розроблено методику практичного застосування отриманих результатів для конкретних умов обробки деталі, що забезпечує підвищення точності та ефективності вибору режимів різання.

5 Загальні висновки

В аналітичному розділі на підставі проведеного аналізу конструкції деталі на технологічність, хімічного складу і механічних властивостей матеріалу визначено, що деталь «Вал-шестерня» – технологічна.

В технологічному розділі проведено вибір і обґрунтування методу отримання заготовки, розраховано припуски на механічну обробку, розроблено маршрут обробки деталі, режими різання та норми часу.

В спеціальному розділі спроектовано верстатний пристрій для фрезерування шпонкового пазу. Проведено розрахунок пристосування, виконано кресленик та специфікацію.

В науково-дослідницькому розділі розглянуто енергоефективність процесу механічної обробки деталі «Вал-шестерня». Розроблено методику, яка дозволяє визначати оптимальні режими різання з урахуванням енергетичних характеристик обладнання.

Встановлено, що збільшення глибини різання та подачі призводить до зниження швидкості різання, що пов'язано із зростанням споживаної потужності.

Наукова новизна:

Запропоновано новий підхід до визначення оптимальних режимів різання на основі аналізу енергетичних характеристик приводу головного руху, який враховує потужність електродвигуна, ККД та коефіцієнт потужності.

Розроблено методику практичного застосування отриманих результатів для конкретних умов обробки деталі, що забезпечує підвищення точності та ефективності вибору режимів різання.