

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

Механіко-машинобудівний факультет

Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Мухи Богдана Валерійовича
академічної групи 131М-22Н-1 ММФ
спеціальності 131 Прикладна механіка
спеціалізації _____

за освітньо-професійною програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

на тему: Дослідження технології механічного оброблення деталі "Вал-шестерня" з визначенням достовірності контролю геометричних параметрів

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної				

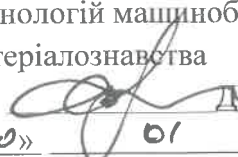
Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських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

Муха
захисник

Дніпро
2024

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
технологій машинобудування та
матеріалознавства
 Дербабa В.А.
«10» 01 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на випускнy кваліфікаційну роботу
ступеня магістра

студент Мухa Богдан Валерійович
академічної групи 131м-22н-1 ММФ
спеціальність 131 Прикладна механіка
спеціалізація _____
за освітньо-професійною програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»
на тему: Дослідження технології механічного оброблення деталі "Вал-шестерня" з визначенням достовірності контролю геометричних параметрів
зе

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Прийнято до виконання  Мухa Б.В.

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Аналітичний розділ.....	5
1.1 Аналіз конструкторської та технологічної характеристики деталі	5
1.2 Матеріал деталі та його властивості	6
1.3 Підсумок технологічного аналізу конструкції деталі	8
1.4 Визначення виробничої програми випуску деталей.....	9
1.5 Аналіз конструкції деталі	10
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	12
2.1 Обґрунтування форми та розмірів заготовки	11
2.2 Вибір методів обробки поверхонь	12
2.3 Обґрунтування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	12
2.4 Розрахунок припусків на механічну обробку	13
2.5 Обґрунтування вибраного обладнання	14
Розділ 3 Спеціальний.....	17
Вибір пристрою для вимірювання відхилення форми деталі на верстаті з ЧПК	17
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	23
4.1 Постановка задачі теоретичного дослідження	23
4.2 Метод розв'язання наукової задачі	23
4.3 Побудова поля допуску	23
4.4 Імітаційне моделювання.....	24
4.5 Аналіз результатів.....	25
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	28
Перелік посилань	30
Додаток А	31
Технологічна документація.....	36
Додаток Б	37
Копія кресленника деталі «Вал-шестерня»	37
Додаток В	38
Копія графічного матеріалу «Технологічні налаштування»	38
Додаток Г	39
Копія графічного матеріалу до спеціального розділу.....	39
Додаток Д	40
Копія графічного матеріалу до науково-дослідницького розділу.....	40
Відгук керівника кваліфікаційної роботи.....	41
Рецензія.....	42

Реферат

Пояснювальна записка: 42 с, 12 рис, 11 табл., 9 додаток, 7 джерела.

В машинобудівній сфері точіння та фрезерування деталей типу "Вал" на верстатах з ЧПК стало невід'ємною частиною багатьох виробничих процесів. Це зумовлює актуальність визначення оптимальної технології та траєкторії обробки, що дозволить підвищити продуктивність, точність та якість кінцевого продукту.

Об'єкт дослідження (розробки) у кваліфікаційній роботі – процес створення прогнозовано-подібного результату даних з урахуванням подальшого використання даних для імітації технологічних процесів.

Предмет дослідження – стратегія створення імітаційно змодельованого результату обробки для відповідальних поверхонь на деталі.

Метою кваліфікаційної роботи є спрогнозувати отримання результату для відповідальних поверхонь для селективного монтажу.

Методика досліджень – програмна реалізація алгоритмі імітації даних у програмі Microsoft Excel.

Результат роботи – проаналізовані згенеровані дані з імітаційного моделювання для відповідальної поверхні для "Вал-шестерня" показує, що спостерігається велике скупчення виготовлених деталей в центрі поля допуску. У зв'язку з цим, ця скупченість зменшується в міру віддалення від центру.

Наукова новизна кваліфікаційної роботи – спрощення аналізу для прогнозування кінцевого результату за рахунок створення імітаційного алгоритму в програмі.

Практична цінність – рекомендовано застосовувати для імітаційного моделювання відповідальних поверхонь деталей.

В рамках науково-кваліфікаційної роботи було проведено глибокий аналіз та обґрунтовано вимоги до точності розмірів, форми, взаємного розташування та шорсткості поверхонь деталі. Запропоновано оптимальний метод отримання заготовки, розроблено детальні технологічні операції обробки. Здійснено обґрунтований вибір металорізального верстата та мірильного пристрою, які відповідають поставленим завданням.

У технологічному розділі представлено інноваційну технологію, що ґрунтується на новітній структурі технологічної системи. За допомогою сучасної САПР-системи FeatureCAM виконано комп'ютерне моделювання обробки деталі "Вал-шестерня" на сучасному токарно-фрезерному верстаті з ЧПК.

У науково-дослідному розділі запропоновано алгоритм генерації даних для імітаційного моделювання розміру оброблених деталей відносно поля допуску. За допомогою обраного алгоритму в програмі Microsoft Excel та подальшого аналізу отриманих згенерованих даних виявлено велике скупчення згенерованих даних в центрі та зменшується в міру віддалення від центру поля допуску на розмір деталі.

Ключові слова: технологія, САМ, операція, точіння, фрезерування, ЧПК, Microsoft Excel, FeatureCAM, вал, шліці, шестерня, моделювання, алгоритм.

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 «ВаріУС».

Вступ

Машинобудування є однією з ключових галузей промисловості, що виробляє широкий асортимент машин і обладнання для різних галузей господарства і населення. Воно є двигуном науково-технічного прогресу в національній економіці, сприяючи її технічному оновленню та підвищенню ефективності виробництва. Машинобудування охоплює кілька десятків спеціалізованих галузей, таких як важке, транспортне, сільськогосподарське, точне машинобудування та верстатобудування, залежно від виробництва. За останні десятиліття обсяги машинобудування в Україні суттєво зменшилися через зупинку деяких потужних підприємств та зникнення окремих видів виробництва. Найбільше це відбулося у важких (зокрема, енергетичному, гірничо-шахтному), сільськогосподарському, автомобільному та приладобудівному машинобудуванні.

[7] Продукція машинобудівних підприємств складається з різних деталей і агрегатів, які виготовляються на різних заводах. Через це більшість машинобудівних підприємств мають вузьку спеціалізацію і співпрацюють між собою, обмінюючи деталями, комплектуючими та сировиною. Технологічні процеси на цих підприємствах, незважаючи на виробництво різних продуктів, мають загальні особливості. Кожен великий завод має чотири основні цехи: ливарний, кувально-пресовий, механічний та складальний. Розміщення машинобудівних підприємств залежить від багатьох факторів, таких як доступність сировини та ресурсів, споживачів продукції, економічно-географічне положення. Одним із принципів розміщення є орієнтація на сировину, оскільки основні матеріали для виробництва - метал та конструкційні матеріали. Більшість машинобудівних підприємств вимагають значних трудових ресурсів для виробництва. Розвиток науково-дослідних та конструкторських робіт є невід'ємною частиною машинобудівної галузі, оскільки це сприяє впровадженню нових технологій та підвищенню якості продукції. Машинобудування має велике значення для економіки України, оскільки воно забезпечує виробництво високотехнологічних машин та обладнання, що є важливим для промислового розвитку країни.

1 Аналітичний розділ

1.1 Аналіз конструкторської та технологічної характеристики деталі

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Обертання валу та крутний момент є важливими параметрами роботи валів під час складних деформацій, таким як кручення, вигин, розтягування і стискання. Тому для забезпечення нормальної роботи деталей, які передають рух на вал і в цілому складових одиниць, до валів висуваються вимоги до їх жорсткості.

Жорсткість конструкції валу визначається його геометричною формою (відношенням довжини до діаметру); збільшення жорсткості валу за рахунок скорочення довжини не завжди є можливим.

Найбільш технологічними є вали з поступово збільшуваними або зменшуваними діаметрами зі стандартними розмірами. Ділянки валу, які мають однаковий номінальний діаметр, але різні посадки, повинні бути розділені канавками, що чітко відділяють оброблювані поверхні від необроблених. Бажано, щоб оброблювані ділянки валу мали рівні або кратні довжини, а перепади ступенів валу були мінімальними.

Вал - це деталь, що обертається навколо своєї осі, яка призначена для передачі руху зв'язаним з нею частинам машини або механізму, в якій вона використовується. Вал передає крутний момент вздовж своєї осі та підтримує обертання деталей машин, що розміщені на ньому. Крутні моменти передаються за допомогою сил, що діють на вали від механічних передач, таких як зачеплення

зубчастих або черв'ячних передач, натягу приводних пасів тощо. Тому на вали також діють згинальні моменти і осьові навантаження.

В залежності від призначення вали поділяються на вали для передачі руху та корінні вали машин. На валах для передач встановлюються зубчасті колеса, шківни, муфти та інші деталі передачі, а на корінних валах - не лише деталі передачі, але й маховики, затискні патрони, кривошипи та інше. За формою геометричної осі вали можуть бути: прямими; ексцентриковими (колінчастими, кулачковими); гнучкими; карданними. За конструктивним виконанням вали поділяються на: гладкі; ступінчасті; порожнисті.

Перш ніж приступити до механічної обробки поверхонь валу, необхідно створити єдину базу для установки оброблюваної заготовки валу на всіх операціях. Ця база включає торцеві поверхні центрових отворів, точність виконання яких визначає точність подальших операцій.

Одним із основних технологічних завдань, що вирішуються під час механічної обробки зубчастих валів, є забезпечення розташування осей всіх оброблюваних ступенів валу на одній геометричній лінії з метою зменшення

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Використовують під час експлуатації, таких як крутіння, вигин та інші. У цьому випадку відповідним матеріалом для виготовлення "Валу-шестерня" буде Сталь 30ХМ. Вона має відмінні властивості протистояння вигину та крутінню. Міцність валу можна збільшити, піддавши його термічній обробці, наприклад, загартуванню до твердості HRC 56...62. Матеріалом для виготовлення "Валу-

П
В
Х
1

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

К
0

Таблиця 1.2 – Механічні властивості

Термічна обробка, стан поставки	Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²	НВ
---------------------------------	-------------	----------------------	------------------	----------------	------------	------------------------	----

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

260	590	730	20	70	186
200	490	660	21	70	

Таблиця 1.4 – Механічні властивості в залежності від перетину

Термообробка, стан постачання	Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²	HRC э
Місце вирізки зразка – центр	40	650	820	17	71	147	27

Термообробка
постачання
Місце виробництва

Табл.

Температура випробування, °C
Модуль нормальної пружності, ГПа
Густина, кг/см ³
Коефіцієнт теплопровідності Вт/(м·°C)
Уд. електричний опір (ρ, Н·м)
Перевірка температури, °C
Коефіцієнт лінійного розширення 10 ⁻⁶ 1/°C
Питоме теплоємність (C, Дж/(кг·°C))

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

2	HRC э 27
---	----------------

2000
20-000

1.3 Підсумок технологічного аналізу конструкції деталі

Аналіз креслення вала показав, що всі розрізи і виносні елементи чітко і однозначно пояснюють його конфігурацію і можливі методи отримання заготовки. Креслення деталі "Вал-шестерня" містить всі необхідні відомості про матеріал деталі, термічну обробку та масу. Деталь не має складно доступних

поверхонь, всі поверхні доступні для обробки і ремонту. На багатьох операціях можливе використання універсального обладнання та інструментів, оскільки навіть з їх допомогою можна досягти параметрів, визначених конструктором. Інструмент має вільний доступ до оброблюваних поверхонь. На кресленні вказані всі необхідні вимоги для виготовлення вала. З усього вище сказаного можна зробити висновок, що деталь є досить технологічною.

1.4 Визначення виробничої програми випуску деталей

План виробництва деталей розраховується на етапі початкового проектування технологічного процесу, враховуючи щорічну потребу у виробках і запасних частинах за певною формулою:

$$N = N_B \cdot q \cdot \left(1 + \frac{h}{100}\right), \text{ (шт./ рік)} \quad (1)$$

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

ГИМ
ОГО
і їх
нта

закріплення операцій. Останній є найточнішим критерієм, але може бути визначений лише при сталому виробництві протягом місячного періоду. У даній курсовій роботі цей критерій не враховується, і передбачається виробництво в серіях.

Основним показником, який характеризує дрібного виробництва, є обсяг партії деталей, яку регулярно запускають (виробництво відбувається серіями, що

складаються з певної кількості деталей). Цей обсяг визначається за певною формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi}, \quad (2)$$

де a – періодичність запуску деталей у виробництво, днів. Можливі значення – 3 -

24. Іноді цей параметр називають запасом деталей на складі складального цеху;

Φ – кількість робочих днів за рік відповідно до законодавства.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

ї поверхні
втручаючи
сні мають
розміри, не
можуть

спеціалізоване або універсальне обладнання, включаючи обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Для обробки деталей не потрібне спеціальне обладнання. Конструкція деталі дозволяє здійснювати виміри прямим способом. Базування деталі здійснюється без використання штучних баз. Технологічні бази при базуванні деталі збігаються з конструкторськими і вимірювальними базами. Конструкція деталі є досить жорсткою (відношення довжини деталі до діаметру $L/D = 176/60 \approx 3$, що менше 12), що забезпечує безпечне закріплення та базування деталі на всіх операціях механічної обробки.

Найвищий квалітет точності розмірів деталі - 6-й, тому з точки зору точності деталей також є технологічною. Виготовлення деталі не потребує додаткових доводочних операцій, тому за шорсткістю деталей також може вважатися

технологічною. Обробка поверхонь з точки зору точності і чистоти не викликає значних труднощів. Загалом, конструкція деталі є досить технологічною.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Обґрунтування форми та розмірів заготовки

Оскільки деталь виготовляється у невеликих кількостях і на кресленні не вказано вид заготовки та відсутні вимоги щодо структури матеріалу, раціональним буде використання заготовки прокату.

Розміри заготовки зі сортового прокату визначаються з урахуванням припуску на обробку найбільшого діаметра ступеня вала та припуску на обробку поверхні. Довжина заготовки розраховується із залученням загальної довжини деталі, враховуючи припуск для кожної сторони. Максимальний діаметр заготовки складає 62 мм з загальним припуском, відповідно до креслення. Зважаючи на асиметричне розташування ступеня вала найбільшого діаметра відносно торців деталі,

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

го
им
цо
до
му
ня
на
на
м,

льшу

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

2 мм.
ня на
ся за

Розміри заготовки становлять 182 мм в довжину з допуском h14/2 та діаметром із відхиленнями $62^{+0,3}_{-1,3}$ мм.

2.2 Вибір методів обробки поверхонь

Під час визначення послідовності виготовлення деталі ми враховуємо тип заготовки та його точність. Кількість і порядок технологічних операцій визначаються залежно від методів обробки поверхонь, що обираються з урахуванням необхідної точності розмірів, параметрів шорсткості та особливостей обробки алюмінієвих ливарних сплавів. У таблиці 2.1 наведено список поверхонь, їх розміри і методи обробки, які забезпечують виконання вимог креслення.

Таблиця 2.1 – Методи одержання поверхонь

Вид операційних розмір мм	Квалітет	Ra мкм	Метод обробки поверхонь			
Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.						

цію з

метою збільшення продуктивності та економії часу на виготовлення виробів. Виконання всіх операцій на одному верстаті з мінімальною кількістю налаштувань сприяє підвищенню ефективності виробництва.

Згідно з типовим маршрутом виготовлення валів, першою операцією є підготовка технологічних баз для подальшої обробки. Для обробки циліндричних поверхонь деталі використовують центрові отвори та один із торців. У випадку дрібносерійного виробництва доцільно використовувати верстат з ЧПК для

підготовки цих баз. На даному етапі такий верстат має високу автоматизацію та здатність до точної обробки.

Подальша обробка включає чорнове та чистове точіння всіх поверхонь. З урахуванням розміру та точності заготовки, а також дрібносерійного виробництва, фрезерування зубчастої поверхні виконується на тому ж верстаті з ЧПК, без необхідності налаштування патрона.

Для обробки передбачено дві операції, в яких використовується допоміжна фрезерна ось В. Заощадження шорсткості досягається без використання круглошліфувального верстата, замість нього застосовується тонке точіння на всіх критичних поверхнях.

Технологічний процес завершується контрольною операцією, під час якої проводиться комплексний контроль розмірів поверхонь та їх взаємного розташування. Технологічний маршрут обробки деталі «Вал-шестерня» представлений у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Маршрут обробки деталі

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

до збільшення витрат на різальний інструмент та загальні витрати на обслуговування оброблювальної установки.

У цьому розділі розглядається розрахунок міжопераційних припусків для діаметру $\varnothing 40_{+0,002}^{+0,018}$ мм. На цей розмір припадають три операції: токарна чорнова,

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

2.5 Обґрунтування вибраного обладнання

Автоматизація, висока продуктивність та мінімальна трудомісткість операцій, при цьому з високою ефективністю у мінімізації часу на переналагодження - все це можливо завдяки використанню високопродуктивного обробного токарного центру з додатковою фрезерною вісю В. Використання такого обладнання є повністю обґрунтованим, оскільки деталь передбачає

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

Заготовка базується у трьохкулачковому патроні з піджимом центру. На цій операції оброблюється посадочне місце $\varnothing 40^{+0,018}_{+0,002}$, торець з фаскою та фрезерується шліців.

Операція 10 Програмна

Виконується контроль оброблених поверхонь, після обробки, не знімаючи деталь з верстату.



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Технічний рисунок фрезерним верстатом з максимальним розмахом 5000 мм
Технічний рисунок фрезерним верстатом з максимальним розмахом 5000 мм

Т
М
Д
М
М
М

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Розділ 3 Спеціальний

Вибір пристрою для вимірювання відхилення форми деталі на верстаті з ЧПК

Після механічної обробки на верстаті завжди необхідно перевіряти розміри згідно з технічним завданням. Ручний контроль розмірів часто призводить до людських помилок у вимірюванні та займає багато часу. Тому для більшої автоматизації контролю розмірів усі вимірювання будуть здійснюватися на верстаті з ЧПК. Для цього контролю використовується контактний датчик від міжнародної компанії Renishaw, яка спеціалізується на вимірюваннях. Модель OMP60 повністю задовольняє вимоги контролю розмірів валу, як показано на рисунку 3 та у роботі на рисунку 4. Застосування цього датчика дозволить здійснювати контроль параметрів та якості в процесі виготовлення і після завершення обробки. З урахуванням вищевказаного, використання контактного датчика моделі OMP60 є дуже доцільним. Загалом, це компактний контактний тригерний 3D-датчик із оптичною передачею сигналу, що застосовується для встановлення заготовки та контролю її обробки на різних середніх та великих обробних центрах. Він сумісний із усіма існуючими приймачами оптичних сигналів Renishaw, що дає можливість легко модернізувати існуючі установки.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Автоматизовані вимірювання під час процесу за допомогою системи Renishaw (рисунок 8) можуть допомогти знизити ризик. Використання радіозонда Renishaw OMP60 може сприяти вдосконаленню управління виробництвом, що призведе до збільшення продуктивності (рисунок 5). Цей процес може бути поділений на кілька етапів, таких як:

- фундаментальний аналіз процесу;
- налаштування процесу;
- контроль процесу;
- моніторинг після процесу.

Моніторинг після процесу передбачає перевірку відповідності компонента після вилучення з машини. Використання OMP60 разом із програмним забезпеченням OMV для перевірки машин Renishaw забезпечує надійну перевірку за моделлю САПР, що означає меншу потребу у перевірці поза машиною, а отже, менше регулювань та переробки. Це дозволяє скоротити час і витрати на перевірку поза машиною, швидше отримувати звіти про відповідність деталей специфікації та збільшує впевненість у виробничому процесі. Програмне забезпечення для контактного налагодження інструменту (рисунок 9) дозволяє точно налаштувати довжину та діаметр ріжучих інструментів на обробних центрах з ЧПУ перед обробкою, а також виявляти поломки інструменту та температурні деформації під час обробки. Досвідчені користувачі можуть

створювати та виконувати вимірювальні цикли, використовуючи традиційні G-коди. Новачки можуть скористатися зручними графічними інтерфейсами Renishaw (включаючи Set and Inspect) або програмою для смартфона GoProbe. Основні технічні характеристики та призначення щупа Renishaw OMP60 наведено у таблиці 3.1.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.



Рисунок 5 – Панель керування Renishaw OMP60 [5]

Таблиця 3.1 – Основний опис призначення Renishaw RMP600 [5]

Значення	Опис передачі модульованого сигналу
Основне призначення	Вимірювання розмірів деталей та налаштування на технологічні операції на обробних центрах будь-якого габариту та мало- та середньогабаритних багатоцільових верстатів.
Спосіб передачі сигналу	Передача оптичного сигналу інфрачервоного діапазону в межах 360 ° (модульованого або звичайного)

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

вимог конкретного завдання, може вибиратися більш висока швидкість.

Примітка 2. Зусилля спрацьовування, яке є особливо важливим у деяких галузях застосування, є силою, прикладеною до деталі щупом у момент спрацьовування датчика. Максимальне зусилля досягається після точки спрацьовування, тобто при перебігу. Величина зусилля залежить від відповідних змінних факторів, включаючи швидкість вимірювання та величину уповільнення переміщення на верстаті.

Примітка 3. Це заводські налаштування; передбачене ручне регулювання.
Докладніше див. у Посібнику з установки датчика OMP60 (номер за каталогом

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Рисунок 11. Основні розміри щупа OMP60 [3]

Для датчиків OMP60, зображених на рисунку 11, вибирається щуп з підвищеною міцністю, виготовлений з вуглецевого волокна із високим коефіцієнтом Юнга. Цей щуп розроблений для мінімізації робочого ходу і підвищення точності датчика і відрізняється гладкою обробкою поверхні графіту.

Щуп з підвищеною міцністю з вуглецевого волокна показаний на рисунку 12, а його розміри зведені у таблиці 3.2 нижче, забезпечуючи оптимальні характеристики для роботи тензодатчика OMP60.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

A
B
C
D

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 Постановка задачі теоретичного дослідження

Забезпечення бажаних результатів у виробництві є ключовим при плануванні виробництва і на це впливає безліч факторів. Один з основних критеріїв у механічній обробці це дотримання вимог, вказаних на кресленні. Зазвичай кожна деталь має свої фактичні розміри після обробки, навіть якщо вона виготовляється на тому самому обладнанні з тими ж самими вимогами до розміру. Всі фактичні розміри, які підпадають під допуск, можуть бути розділені на категорії та використані для селективного монтажу. Це забезпечить однакову жорсткість всіх виробів. Тому можна припустити, що кожен фактичний розмір є випадковою величиною, отриманою в межах допустимих відхилень. У даному випадку можна скористатися програмою Microsoft Excel для аналізу та вивчення тенденцій отримання фактичних розмірів згідно з кресленням для діаметра $40^{+0,018}_{+0,002}$.

4.2 Метод розв'язання наукової задачі

У науково-кваліфікаційній роботі представлено дослідження методом імітаційного моделювання даних за допомогою програмного комплексу Microsoft Excel. З метою дослідження генерувалися випадкові значення в діапазоні допустимих значень для діаметра $40k6$ мм. Для отримання статистично стійких результатів кількість імітаційних випробувань становить 100 деталей.

Згенеровані дані дозволять дослідити та проаналізувати розподіл показників для даного розміру деталі. За допомогою отриманих результатів буде побудовано гістограму згенерованих розмірів, яка створить уявлення про ймовірність виникнення певних відхилень від номінального значення. Отримані результати можуть бути використані для визначення допустимих відхилень розмірів деталей, а також для оптимізації процесу їх виготовлення.

4.3 Побудова поля допуску

Побудова поля допуску для розміру $\varnothing 40k6$ рис. 8.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

- $e_s = 18$;
- $e_i = 2$;
- $T_d = 16$;
- середина поля допуску $e_{cp} = 10$.

4.4 Імітаційне моделювання

Моделювання виготовлених деталей проводиться в програмі Microsoft Excel. В першому стовпчику нумеруються 100 деталей В другому стовпчику за допомогою генерації випадкових чисел генеруються в (в мкм) числа які будуть діапазоні поля допуску для розміру $\varnothing 40k6$ рис. 9.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

На рисунку 10 показано результат генерації випадкових чисел з округленням до десятих.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Аналіз проходить з отриманих згенерованих показників відхилень від номінального розміру. На рисунку 11 показані результати отриманих відхилень.

Максимальне відхиленн	Мінімальне відхилення	Середнє відхилення	Середньоквадратичне відхилення від значення
24	-9	10	7,1

Рисунок 11 – Аналіз граничних даних

Статистичні показники якості (точності) валу:

- найбільше випадкове відхилення від номінального розміру 24 мкм;
- найменше випадкове відхилення від номінального розміру – 9 мкм;
- середнє відхилення від номінального розміру – 10 мкм;
- середньоквадратичне відхилення від середнього відхилення 7,1 мкм;
- поле розсіювання ω випадкових відхилень $24 - (-9) = 33$ мкм.

Будується гістограма з отриманих результатів. По лінії абсцис створюється з інтервалом в 5 мкм. Щоб покрити всі значення для найменшого значення приймається (-10) мкм для максимального 25 мкм рис. 12.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Згідно з рисунком 11, спостерігається чітка тенденція до скупченості виготовлених деталей біля центру поля допуску. Ця скупченість зменшується в міру віддалення від центру. В даному випадку імітаційно змодельований результат чітко показує можливий варіант при фактичному отриманні розмірів після обробки.

Отже, імітаційне моделювання дозволило продемонструвати можливий розподіл розмірів деталей при їх фактичному виготовленні. Отримані результати можуть бути використані для планування та оптимізації технологічних процесів

на виробництві. Зокрема, вони можуть допомогти у визначенні оптимальних режимів обробки деталей а також при плануванні селективного монтажу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У сучасній ринковій економіці існує певне співвідношення між масовим та одиничним виробництвом, але найпоширенішими є серійне та дрібносерійне виробництво деталей типу "Вал". Кожне підприємство час від часу потребує одиничного виробництва, що відображає загальну тенденцію розвитку машинобудівної галузі. У цьому контексті розглянуто деталь "Вал-шестерня" - його конструкцію, призначення, властивості матеріалу та визначено річну програму виробництва.

У кваліфікаційній роботі розроблено прогресивну технологію обробки деталі "Вал-шестерня" в умовах дрібносерійного виробництва. Досліджено інноваційні технології у створенні режимів різання, методи формування поверхонь та симуляція обробки у програмах CAD/CAM. Комбіновані операції формування поверхонь деталі досліджені на сучасних верстатах з ЧПК, що представляють нові прогресивні технології.

Детально описано конструкторські та технологічні особливості. Оцінено технологічність конструкції деталі та обраний метод отримання заготовки. На основі розрахунків запропоновані технологічні маршрути обробки деталі, використовуючи норми часу. У проекті здійснено вибір прогресивного ріжучого інструменту, спеціального вимірювального пристрою, а також обґрунтовано вибір верстата. Все це спричинено високою жорсткістю та точністю сучасних верстатів з ЧПК, що прямо впливають на точність та шорсткість виготовленої деталі. Це дозволяє досягти заданої точності та шорсткості поверхні деталі під час чистового точіння, уникнувши використання шліфувального верстата. Крім того, допоміжна фрезерна головка дозволяє обробку евольвентних поверхонь, що уникне необхідності в фрезерному верстаті. Технологічна система з ЧПК зменшує ризики, пов'язані з людським фактором, та знижує загальний брак на виробництві.

У науково-дослідному розділі проведено аналіз тенденцій виготовлення деталей імітаційним моделюванням за розміром. Це дослідження вказує на чітку залежність скупчення змодельованих розмірів в центрі поля допуску, яка зменшується з віддаленням від центру. Ці дані можуть бути використані для прогнозування селективного монтажу виробів, що сприятиме підвищенню їх жорсткості та довговічності експлуатації.

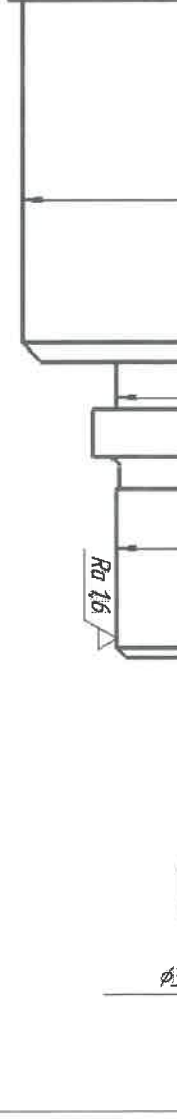
Перелік посилань

1. Дербаба В.А. Evaluation of the adequacy of the statistical simulation modeling method while investigating the components presorting processes/
В.А. Дербаба, В.В. Зіль, С.Т. Пацера // Scientific Bulletin of National Mining University. Scientific and technical journal. – Дніпропетровськ. – 2014. – № 5(143). – С. 45–50 (Журнал включено до Міжнародної наукометричної бази даних SciVerseSCOPUS).
2. Bohdanov, O., Protsiv, V., Derbaba, V. & Patsera, S. (2020) Model of surface roughness in turning of shafts of traction motors of electric cars. «NAUKOVYI VISNYK Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu», 1, 41-45. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-1/041> (Scopus).
3. Model-based chatter stability prediction and detection for the turning of a flexible workpiece “Mechanical Systems and Signal Processing”: Volume 100, 1 February 2018, Pages 814-826.
4. Chatter avoidance in cutting highly flexible workpieces “CIRP Annals”: Volume 66, Issue 1, 2017, Pages 377-380.
5. www.renishaw.com
6. www.mazak.com
7. Промисловість України 2014-2016: невикористані можливості, шляхи відновлення, модернізації та сучасної розбудови: наукова доповідь / редкол.: О.І. Амоша, І.П. Булеєв, Ю.С. Залознова; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. – Київ, 2017. – 554 с.

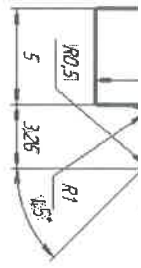
**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**



**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**



**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
виучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**



**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

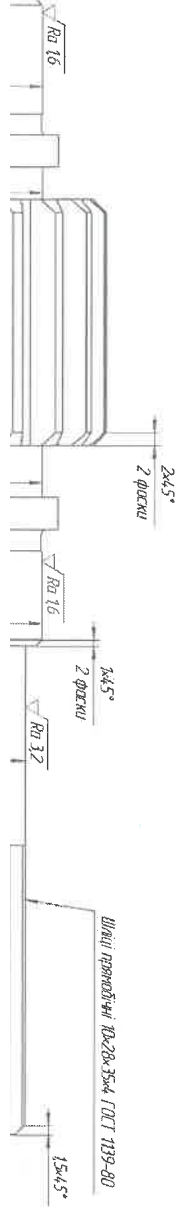
**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

15
16
17
18

OK

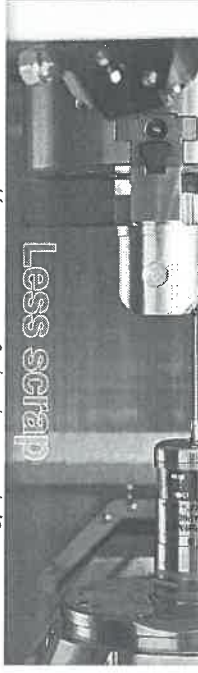
Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Історія	т	25
Число зйомів	2	22
Вихідний катіон	-	за стандартом
Коефіцієнт зсідів	х	0



**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
виучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Контроль зовнішніх розмірів



Контроль розмірів під нахилом



**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Граничні дані

відхилення	відхилення	відхилення	відхилення від значення
24	-9	10	7,1

Гістограма згенерованих розмірів



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Додаток Д

ВІДГУК

керівника випускної магістерської кваліфікаційної роботи здобувача Мухи Богдана Валерійовича

Випускна кваліфікаційна робота Мухи Богдана Валерійовича виконана на актуальну тему.

Кваліфікаційна робота може бути оцінена по розділам на відповідність вимогам стандартам вищої освіти та складовим опису кваліфікаційного рівня наступним чином:

1) 80 балів за аналітичний розділ, що містить аналізи конструктивних та технологічних особливостей деталі. Недоліками розділу є некоректні варіанти технічних термінів.

2) 75 балів за технологічний розділ, в якому виконано проєкт технології оброблення деталі. Недоліком розділу є відсутність обґрунтування можливості оброблення зубчастого вінця на обраному верстаті з ЧПК (Mazak Integrex i-200S)

3) 77 балів заслуговує спеціальний розділ. Недоліком є відсутність логічного зв'язку із технічними вимогами кресленника деталі до точності геометричних параметрів.

4) 75 балів заслуговує науково-дослідницький розділ. Недоліками розділу є відсутність обґрунтування обраного методу дослідження та огляду відповідних публікацій.

На 74 балів оцінена якість оформлення. Недоліками оформлення є численні орфографічні та термінологічні помилки.

В цілому представлена на підпис випускна кваліфікаційна робота з урахуванням відмічених недоліків може бути оцінена на 75 балів (добре).

Керівник кваліфікаційної роботи

канд. техн. наук, професор кафедри ТММ



С.Т. Пацера

РЕЦЕНЗІЯ

на випускню кваліфікаційну роботу магістра

Тема: Дослідження технології механічного оброблення деталі "Вал-шестерня" з визначенням достовірності контролю геометричних параметрів.

Студент: Муха Богдан Валерійович.

Спеціальність: 131 Прикладна механіка.

Обсяг проекту: Достатній для захисту.

Кількість аркушів графічної частини: 4 аркуші формату А1.

Кількість сторінок пояснювальної записки: аркушів формату А4.

Короткий зміст проекту та прийнятих рішень:

В аналітичному розділі розроблено проект типової деталі "Вал-шестерня" та оцінено технологічність її конструкції. Недоліком у даному розділі є деякі неточності у формулюванні технологічності як властивості саме конструкції виробу.

В технологічному розділі розроблено маршрут обробки деталі. Недоліком у даному розділі є відсутність обґрунтування можливості формоутворення на обраному верстаті з ЧПК (Mazak Integrex i-200S) формоутворення евольвентних поверхонь зубчастого вінця деталі.

В спеціальному розділі обрано пристрій для вимірювання відхилення форми деталі на верстаті з ЧПК, а саме контактного датчика Renishaw OMP60. Недоліком є відсутність інформації про те, які саме відхилення форми поверхонь потрібно вимірювати згідно технічних вимог заданих креслеником деталі.

Задачею науково-дослідницького розділу є визначенням достовірності контролю геометричних параметрів деталі. Але в роботі здобувача відсутнє обґрунтування обраних критеріїв достовірності контролю. Також наведені у пояснювальній записці дані щодо інтервалу розсіювання випадкових даних можуть бути неадекватними до задачі імітаційного моделювання.

Висновок про відповідність завданню: Кваліфікаційна робота в цілому відповідає завданню. Вказані вище недоліки в роботі можуть бути враховані при оцінюванні балами.

Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до роботи: У пояснювальній записці та у графічній частині маєтся доволі значна кількість неправильно вживаних термінів та орфографічних помилок.

Запропонована оцінка випускної кваліфікаційної роботи: Задовільно.

Рецензент

канд. технічних наук

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Ю.Г. Кравченко', written over the printed name.

Ю.Г. Кравченко