

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Механіко-машинобудівний факультет
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Макаров Євген Костянтинович

академічної групи 131М-22Н-1 ММФ

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: «Аналіз і корекція конструкції деталі типу Вал за рахунок
комірчастої структури виготовленої методом 3D друку та подальшої
механічної обробки»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від
30 квітня 2024 р. за №383-с

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	

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.

Дніпро - 2024

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

машинобудування та матеріалознавства

В.А. Дербаб

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«__» _____ 2024 року

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

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ступеню ~~магістра~~

студенту ~~Макаров Євген Костянтинович~~

академічної групи 131М-22Н-1 ММФ

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

на тему: «Аналіз і корекція конструкції деталі типу Вал за рахунок комірчастої структури виготовленої методом 3D друку та подальшої механічної обробки» затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30 квітня 2024 р. за №383-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
--------	-------	------------------

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

ЗМІСТ

Вступ	3
1 Аналітичний розділ.....	5
1.1 Аналіз конструкторської і технологічної характеристика деталі.....	5
1.2 Матеріал деталі та його властивості.....	6
1.3 Підсумок технологічного аналізу конструкції деталі	7
1.4 Визначення виробничої програми випуску деталей.....	8
1.5 Аналіз конструкції деталі	9
1.6 Висновки	11
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	12
2.1 Обґрунтування форми та розмірів заготовки	12
2.2 Вибір методів обробки поверхонь	13
2.3 Обґрунтування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	14
2.4 Розрахунок припусків на механічну обробку.....	15
2.5 Обґрунтування вибраного обладнання	17
2.6 Вибір ріжучого інструменту та обґрунтування режимів обробки.....	22
2.7 Нормування витрат часу на обробку	23
2.8 Висновки	25
Розділ 3 Спеціальний розділ.....	26
3.1 Розробка принципової схеми вимірювання відхилення форми деталі на верстаті з ЧПК	26
3.2 Висновки	32
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	33
4.1 Виявлення актуальності проблеми	33
4.2 Проектування модифікованої деталі	33
4.3 Розробка принципової схеми розміщення.....	40
4.4 Аналіз модифікованої деталі.....	43
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	45
Перелік посилань	47
Додаток А	48
Технологічна документація.....	48
Додаток Б	49
Копія кресленника деталі «Вал»	49
Додаток В	50
Копія графічного матеріалу «Технологічні налаштування»	50
Додаток Г	51
Копія графічного матеріалу до спеціального розділу.....	51
Додаток Д	52
Відомість документів кваліфікаційної роботи	52
Додаток Е	53
Відгук керівника кваліфікаційної роботи.....	53
Додаток К	54
Рецензія.....	54

Реферат

Пояснювальна записка: с, 28 рис, 11 табл., 8 додаток, 12 джерела.

Точіння та фрезерування деталей типу “Вал” на верстатах з ЧПК набуло значного поширення в різних галузях машинобудування. Тому визначення оптимальної технології та траєкторії має актуальне значення.

Об’єкт дослідження (розробки) у кваліфікаційній роботі – процес створення полегшеної модифікованої деталі за рахунок зменшення об’єму деталі за рахунок комірчастої структури.

Предмет дослідження – принцип створення полегшеної модифікованої деталі.

Метою кваліфікаційної роботи є створення полегшеної модифікованої деталі.

Методика досліджень – створення та реалізація принципу інтеграції комірчастої структури для полегшення деталей у програмі Autodesk Netfabb Premium 2024.0.

Результат роботи – згенеровано модифіковану деталь за рахунок інтеграції комірчастої структури. Аналіз даних показує значне зменшення об’єму модифікованої деталі.

Наукова новизна кваліфікаційної роботи – створення принципу модифікації типових деталей для зменшення об’єму виробу.

Практична цінність – рекомендовано застосовувати для облегшення маси та об’єму деталей виготовляємих технологіями адитивного виробництва.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз конструкторсько-технологічних варіантів панелей з різноманітними карманами, обґрунтовано вимоги до точності розмірів, форми, взаємного розташування і шорсткості її поверхонь. Запропоновано метод одержання заготовки, розроблені детальні технологічні операції. Здійснено вибір металорізального верстату і пристроїв.

За допомогою сучасної САМ-програми FeatureCAM виконано комп’ютерне моделювання обробки деталі “Вал” на верстаті з ЧПК.

Розроблені рекомендації для проєктантів та виробників деталей ракетно-космічного призначення.

У науково-дослідному розділі описується розробка модифікованої заготовки. Завдяки застосуванню технології адаптивного виробництва з’являється можливість виготовляти та інтегрувати в деталь комірчасту структуру. Аналіз модифікованої деталі свідчить про значне зменшення її об’єму, що у свою чергу, призведе до зменшення маси як самої деталі так і кінцевого виробу.

Ключові слова: технологія, САМ, програма, операція, точіння, фрезерування, верстат з ЧПК, сила різання, FeatureCAM, вал, шліці, моделювання, Netfabb.

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 «ІТЦ Технополіс».

Вступ

Машинобудування є надзвичайно складною галуззю, до якої входять декілька десятків спеціалізованих галузей. Залежно від продукції, що випускається, вони об'єднуються у групи: важке, транспортне, сільськогосподарське, точне

Продукція машинобудівної галузі складається з багатьох деталей і агрегатів. Виготовити їх на одному заводі неможливо, простіше і дешевше випускати окремі деталі на різних підприємствах, тому машинобудівні заводи мають переважно вузьку спеціалізацію (за деталями і предметну). Для випуску готової продукції підприємства встановлюють між собою коопераційні зв'язки (поставки деталей, комплектуючих матеріалів, сировини). Такими зв'язками може бути охоплено десятки, а іноді й сотні підприємств.

Технічний прогрес здійснюється не тільки на основі застосування нових науково-технічних досягнень. Він базується і на широкому використанні вже визначилися напрямів у розвитку техніки і характеризується не тільки безпервною появою принципово нових технологічних процесів, а й безпервною заміною існуючих процесів більш точними, продуктивними та економічними.

Метою цього дипломного проектування є вдосконалення операційної технології виготовлення деталей "Вал" та досягнення найкращих техніко-економічних показників у порівнянні з базовим варіантом заводської технології.

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

розрахунку економічної ефективності та порівняння економічних варіантів обробки. Вибір оптимального варіанта значною мірою залежить від обсягу випуску, виробничих можливостей підприємства та умов проектування.

Пропонований технологічний процес характеризується використанням мінімальної кількості металорізальних верстатів з високим ступенем автоматизації, застосуванням універсальних пристосувань і сучасного металорізального інструменту, оснащеного твердосплавними пластинами. Крім того, перевагою даного процесу є застосування вітчизняного обладнання доступного і досить ефективного в умовах серійного виробництва.

Інформаційною основою при розробці технологічних процесів є: технологічний класифікатор об'єкта виробництва, класифікатор технологічних процесів, система позначень технологічних документів, стандарти Єдиної системи технологічної документації, типові технологічні процеси та операції, стандарти та каталоги на засоби технологічного обладнання, нормативи технологічних матеріальні та трудові нормативи.

1 Аналітичний розділ

1.1 Аналіз конструкторської і технологічної характеристика деталі

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

Жорсткість конструкції валу визначається геометричною формою (відношенням довжини валу до діаметру); збільшення жорсткості валу за рахунок зменшення довжини не завжди можливо.

Найбільш технологічним є вали з зростаючими або що зменшують діаметри ступенів зі стандартними розмірами. Ділянки валу, що мають один і той же номінальний діаметр, але різні посадки, повинні бути розділені канавками, чітко розділяючи оброблювані поверхні від необроблюваних, при цьому бажано, щоб оброблювані ділянки валу мали рівні або кратні довжини, а перепади ступенів валу були б невеликі.

Вал — деталь, що обертається навколо своєї осі, призначена для передачі руху зв'язаним з нею частинам машини чи механізму, складовою яких вона є. При цьому вал передає крутний момент вздовж своєї осі та забезпечує підтримання обертових деталей машин, котрі на ньому розміщені. Крутні моменти передаються за допомогою сил, що діють на вали з боку механічних передач (наприклад, у зачепленні зубчастих або черв'ячних передач, натягу приводних пасів тощо). Тому на вали діють також згинальні моменти і осьові навантаження.

Механічній обробці поверхонь валу передують утворення єдиної бази для установки оброблюваної заготовки валу на всіх операціях. Цією базою валу є

торцеві поверхні центрові отвори, від точності виконання яких залежить і точність виконання подальших операцій.

Основною технологічною завданням, розв'язуваної в процесі механічної обробки східчастих валів, є забезпечення розташування осей всіх оброблюваних ступенів валу на одній геометричній лінії в цілях зменшення радіального биття.

Ця деталь застосовується в кінематичному ланцюгу диференціального механізму приводу подач металорізального верстата. Призначення деталі – передача значного моменту, що крутить, від конічної шестерні на приводну ланку рейкової передачі.

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

опосередковано задаються твердістю матеріалу – 310...340НВ.

1.2 Матеріал деталі та його властивості

Отже, проведений аналіз роботи деталі "Вал" дозволяє зробити висновок, що цей вал здатен ефективно витримувати виникаючі напруги під час експлуатації, такі як крутіння, вигин та знос.

В даному випадку матеріал, який вважається відповідним для виготовлення "Вал" це Сталь 40Х. Цей матеріал володіє відмінною стійкістю до вигину та крутіння. Збільшити стійкість валу можна, піддаючи деталь термічній обробці, зокрема загартовуванню до твердості 310...340НВ.

Щодо деталі "Вал", то для неї використовується конструкційна легована

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

мм	МПа	°С, мм/хв	°С, /с	Ψ, /с	Дж/м ²	мм	мм/с
----	-----	-----------	--------	-------	-------------------	----	------

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

заготовки; креслення містить всі необхідні відомості про матеріал деталі, термічній обробці, масі деталі; деталь не має яких-небудь важкодоступних поверхонь, всі поверхні доступні для обробки і ремонту; на багатьох операціях можливе застосування універсального обладнання, а також універсального інструменту, так як навіть з його допомогою можна досягти заданих конструктором параметрів; можливий вільний доступ інструменту до оброблюваних поверхонь; на кресленні

проставлені всі необхідні вимоги для виготовлення валу. Все вище перераховане дозволяє зробити висновок, що деталь є досить технологічною.

1.4 Визначення виробничої програми випуску деталей

Виробнича програма випуску деталей розраховується на початковому етапі проектування технологічного процесу в залежності від річної потреби виробів і запасних частин за формулою:

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

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

визначення типу виробництва ґрунтується на взаємозв'язку між річною програмою випуску деталі і її масою (дуже приблизно), з урахуванням такту випуску деталей та уточнюється за коефіцієнтом закріплення операцій (найбільш точний критерій, але визначити його можна тільки за умови сталого виробництва за місячний календарний період). В дипломній роботі цей критерій не розраховується і в апріорі приймається серійний тип виробництва.

Основним показником, який характеризує серійне виробництво, є величина партії деталей, яка запускається періодично (серіями випускається виріб, який складається з певних деталей). Величина партії визначається за формулою:

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

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

обробляються. Деталь конструктивна, має оптимальну форму і розміри, не потребує конструктивної доробки, можна застосувати спеціалізоване і універсальне обладнання, в тому числі з ЧПК (числовим програмним керуванням).

На етапі проектування технологічного процесу механічної обробки, коли конструкторські документи вже затверджені і не підлягають радикальним змінам, доцільно проводити якісний аналіз технологічності конструкції деталі з метою узагальнено, на підставі досвіду виконавця, встановити ступінь відповідності між показниками якості та прийнятими умовами виробництва. Кількісну оцінку

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

l_i – довжина i -тої ступені вала, мм.

В даному випадку відношення дорівнює 11,7, що більше рекомендованого значення (10). Отже, для ефективної механічної обробки без обмеження режимів різання та досягнення економічно обґрунтованої точності, необхідно застосовувати схеми базування для нежорстких валів.

Основні конструкторські бази деталі – дві циліндричні поверхні діаметром 25мм з допуском шостого квалітету та граничними відхиленнями форми та розташування поверхонь за шостим ступенем точності, відповідають службовому призначенню поверхонь. Їх обробка не збільшує технологічну собівартість виготовлення деталі.

Разом з тим наявність двох поруч розташованих поверхонь з лівого торця деталі номінальним діаметром 25мм з різними полями допусків f_9 і d_{10} , погіршують технологічність конструкції. Тому без шкоди для функціонального призначення поверхонь доцільно призначити одне поле допуску - d_{10} .

1.6 Висновки

Застосований матеріал забезпечує виконання вимог до механічних властивостей поверхонь і деталі в цілому і має хороші технологічні характеристики як при обробці тиском, так і різанням.

Конструкція валу дозволяє проводити обробку в центрах, тобто. забезпечити суміщення технологічних і вимірювальних баз, а також виконати вимогу сталості баз, що гарантує співвісне розташування робочих поверхонь валу.

Двостороннє розташування уступів і співвідношення діаметрів щаблів сприятливі для продуктивної токарної обробки та рівномірної концентрації операцій.

Співвідношення квалітетів і параметрів шорсткості у більшості оброблюваних поверхонь є оптимальним. Таким чином, технологічність конструкції деталі «Вал» після якісного аналізу можна оцінити як хорошу за основними показниками.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Обґрунтування форми та розмірів заготовки

Для раціонального вибору заготівлі необхідно одночасно враховувати призначення та конструкцію деталі, технічні вимоги, масштаб та серійність випуску, а також економічність виготовлення. Вибрати заготівлю – значить встановити спосіб її отримання, призначити припуски на обробку кожної поверхні, розрахувати розміри та вказати вимоги до точності виготовлення.

Враховуючи, що деталь випускається в невеликій кількості, а також на робочому кресленнику деталі не зазначений вид заготовки й відсутні вимоги до структури матеріалу, що забезпечуються виключно способом її виготовлення, доцільно використати заготовку типу прокат.

Розміри заготовки з сортового прокату визначається із урахуванням припуску на обробку найбільшого діаметра ступеня валу враховуючи припуск на обробку поверхні. Довжина заготовки розраховується з урахуванням загальної довжини деталі, враховуючи припуск на кожну із сторін. Найбільший діаметр заготовки дорівнює 46 мм і має загальні дпуски за креслеником. З огляду на несиметричне розташування ступеня вала найбільшого діаметра по відношенню до торців деталі,

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

Заготовкою для «Вал» призначається прокат и записується умовне позначення:

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

алюмінієвих ливарних сплавів. шерелік поверхонь, їх розміри і методи обробки, які забезпечують виконання вимог креслення, наведено в таблиці 2.1.

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.

Торцева 320 js15	15	12,5	Точіння чорнове
------------------	----	------	-----------------

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

дозволить виконати комплексну обробку всіх розмірів на одному верстаті.

Технологічними базами для обробки всіх поверхонь деталі будуть торці валу та центрові отвори. Чорнові та читстові операції виконуються за два установа.

Обробка опорних шийок валу виконуються тонким точінням.. Окрім центрових отворів технологічною базою є правий торець деталі. При цьому забезпечується вільний доступ до поверхонь з лівого торця та можливість обробки без переустановки опорної шийки діаметром 25 js6 мм зворотним ходом супорта. На даній операції доцільно використовувати верстат з ЧПУ, враховуючи схему обробки, жорсткість деталі, форму і розташування канавок.

Обробка шліцевої поверхні, для забезпечення рівномірного розташування шліц, буде здійснюватися фрезеруванням на токарному центрі з ЧПК за допомогою приводного інструменту.

Оскільки опорні шийки валу мають один номінальний розмір, їх обробка, як попередня, так і остаточна, може здійснюватися на одній операції з переустановкою заготовки.

Технологічний процес виготовлення деталі завершується контрольною операцією, під час якої здійснюється комплексний контроль розмірів поверхонь та їхнього взаємного розташування. Технологічний маршрут обробки деталі «Вал» наведено в таблиці 2.2.

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

загальні витрати на експлуатацію робочого місця.

Припуски на три поверхні призначаємо статистичним (табличним) способом. І тут загальний припуск визначається розміром прокату, а припуск на обробку, наступну після чорнової, за таблицями, які у довідковій літературі [10]. Методику розрахунку проілюструємо для зовнішньої поверхні діаметром 25js6 мм.

Загальний припуск на діаметр дорівнює різниці між мінімальним розміром прокату та номінальним розміром поверхні ($49 - 25 = 24\text{мм}$), допуск на розмір

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

переходу він визначається шляхом додавання припуску (25,0935 мм). Аналогічні обчислення виконуються всім переходів МОП. Отримані значення приймають як мінімальний операційний розмір після округлення з урахуванням значущих цифр технологічного допуску. Максимальні операційні розміри від мінімальних на величину допуску.

Граничні припуски кожного переходу МОП визначаються шляхом віднімання

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

для цього розрахунку: $21594 - 20,001 = 1400 - 15\ 800\ 158 / = 158 /$.

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

ТОНКЕ ТОЧІННЯ	0,1	24,9955	15	24,995	25,000	0,101	0,121
---------------	-----	---------	----	--------	--------	-------	-------

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

деталь має фрезерні операції, що дозволить оброблювати всі поверхні на одному
верстаті з ЧПК.

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

торець з фаскою.

Операція 10 Програмна

Не знімаючи деталь з верстату, після обробки, виконується контроль оброблених
поверхонь.



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

Рисунок 2 – Токарно центр з ЧПК AVIAturn 35MY

AVIAturn 35 (серія) це сучасний, жорсткий, точний та високошвидкісний токарний центр з похилою цільнолитою станиною та ЧПК, виготовлений відповідно до найновіших тенденцій виробництва токарних верстатів з ЧПК.

Особлива увага була приділена таким аспектам:

- жорсткість – забезпечена цільнолитою станиною з чавуну Mehanite, кутова станина під кутом 35 град;
- жорсткість токарного верстата для максимальної ефективності обточування;
- ергономічне розташування всіх елементів керування;
- найбільш ефективне видалення стружки з робочої зони;
- використання покриття з нержавіючої сталі для всіх напрямних;
- найвищий рівень обробки сучасними інструментами, що дозволяє працювати на високих швидкостях різання.

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

Мах. діаметр над кожухами станини	мм	580
Мах. довжина точіння	мм	580
Мах. діаметр прутка	мм	65

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

Осі		
хід по осі X	мм	-55 / +185
хід по осі Z	мм	600
хід по осі Y	мм	+/- 50

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

Потужність двигуна приводного інструменту*	кВт	4,8 (опція)
Привід	редуктор	1:2

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

Привід шпинделя	ремінний	двигун-шків-ремінний-шпиндель
Вісь С шпинделя / тип приводу / гальмо	так / ремінь / так	Електромотор Siemens (Fanuc) /

Опис характеристики	Вимір, властивості	Значення
		зубчастий / за рахунок дискового

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

Діаметр пінолі	мм	90
Хід пінолі (гідроліка)	мм	90
Центральне гніздо	МК	5
Виконання ходу задньої бабки (корпусу)		гідроциліндр

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

Опис характеристики	Вимір, властивості	Значення
Повторюваність – XYZ*	мм	0,003
Примітки:		
* для системи ЧПК FANUC / SIEMENS		
* за умов фундаменту та клімат контролю в цеху		
* згідно стандартів EU, ISO/DIN		

2.6 Вибір ріжучого інструменту та обґрунтування режимів обробки

Різців та фрез обрано з каталогу компанії SECO, різьбовий інструмент з каталогу компанії TPCtool та оправка з каталогу компанії BILZ.

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

Вид обробки	L , мм	S , мм/об	n_z , об/хв.	V , м/хв.	$T_{\text{маш}}$, хв.
Чорнове точіння	281	0.2	630	247	3,58
Чистове точіння	281	0,2	500	150	4,18
Фрезерування пазу	72	0,05	400	18	2,37
Нарізь	67	1,5	120	25	3,12

Загальний час на обробку деталі на операції 05 складає:

$$T_0 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (3)$$

$$T_0 = 3,58 + 4,18 + 2,37 + 3,12 = 13,25 \text{ хв.}$$

2.7 Нормування витрат часу на обробку

Норма часу встановлюється на обсяг робіт, який дорівнює одиниці нормування при виконанні технологічної операції і називається нормою штучного часу.

а) визначимо штучний час:

$$T_{шт} = (T_o + T_b) \left[1 + \frac{a_{обс} + a_{олп}}{100} \right] \quad (4)$$

де T_o – основний (машинний) час, що дорівнює $=13,25$ хв.

T_b – допоміжний час. Складається з часу на установку і зняття деталі, часу, пов'язаного з переходом, часу на вимірювання, зміну інструменту і зміна режимів різання, хв;

$a_{обс}$ – час на обслуговування робочого місця, 5% от $(T_o + T_b)$, хв

$a_{олп}$ - час на відпочинок і особисті потреби, 4% от $(T_o + T_b)$, хв

б) визначимо допоміжний час:

$$T_b = T_y + T_c + T_{и} = 1,91 + 0,12 + 0,47 = 3,12 \text{ хв}, \quad (5)$$

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

де n – кількість деталей в партії;

$T_{шт}$ – підготовчо-заклучний час, що дорівнює 37хв.

При підрахунку підготовчо-заключного часу, враховувався час на: налагодження верстата, інструменту та пристосувань, 30хв, отримання інструменту виконавцем роботи до початку і задачі їх після закінчення обробки партії деталі, 5хв., ознайомитись з робочим кресленням, технологічною документацією, огляд заготовки, 1хв., інструктаж майстра, 1хв.

Всі згадані вище дані зведені в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – норми витрат часу на обробку

	Структурні складові норми часу	Час, хв
T_o	Час на виконання операції	13,25
T_v	Допоміжне час на установку і зняття деталі	1,91
	Закріплення деталі	0,24
	Допоміжний час на очистку від стружки заготовки	0,14
	Час на прохід	0,74
	Час на вимірювання	0,47
$T_{пз}$	Підготовчо-заключний час	37
$a_{обс}$	Час на обслуговування робочого місця, 5% від $(T_o + T_v)$	0,82
$a_{олп}$	Час на відпочинок і особисті потреби, 4% від $(T_o + T_v)$	0,65
$T_{шт}$	Штучний час	16,61
$T_{шк-к}$	Штучно-калькуляційний час	18,56

2.8 Висновки

Обрана заготовка прокат має оптимальні затрати та обґрунтовані розміри. Вся обробка проходить на сучасному токарному центрі з ЧПК. Таким чином всі операції виконуються за допомогою одного верстата за два установа, що значно зменшує час на підготовчі роботи. Це стає можливо завдяки опції приводного інструменту який здатен покрити операції свердління та фрезерування.

Використання сучасного різального інструменту значно підвищує якість поверхонь при обробці та допомагає значно оптимізувати режими різання.

Розділ 3 Спеціальний

3.1 Розробка принципової схеми вимірювання відхилення форми деталі на верстаті з ЧПК

Після механічної обробки на верстаті завжди потрібно контролювати розміри відповідно до технічного завдання. Вручну контролювати розміри завжди призводить як до людського фактору похибки виміру так і велику кількість витраченого часу. Тому для більшої автоматизації весь контроль розмірів буде проводитися на верстаті з ЧПК.

Контактний датчик міжнародної компанії Renishaw, яка поглиблено спеціалізується в області вимірювання, повністю вирішує дану потребу. Для контролю деталі вал цілком відповідає модель RMP600 яка показана на рис. 3 та в роботі рис. 3. Використання даного датчика дозволить виконати контроль параметрів та якості в процесі її виготовлення і комплексний контроль після обробки. Враховуючи вищезгадане, використання контактного датчика моделі RMP600 цілком доцільно.



**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 в процесі за допомогою Renishaw можуть

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

До “налаштування процесу” відносять можливість зміни щупу на різні довжини без суттєвого зниження ефективності датчика, що таким чином зменшує час на налаштування. Все це виключає дорогі пристосування та помилки ручного налаштування, підвищує швидкість впровадження нових процесів та реагування на нові потреби споживачів. Та найголовніше, покращується якість та зменшується брак.

Субмікронна продуктивність RMP600 3D дозволяє зондування складної геометрії. Адаптивна обробка може бути легко інтегрована, якщо вона використовується разом із Renishaw's Productivity + TM. Включає покращення можливостей процесу та відстеження, компенсує екологічні та машинні умови, скорочує невиробничий час та брак, а отже збільшує продуктивність та прибуток включає третю частину.

Моніторинг після процесу передбачає перевірку відповідності компонента до вилучення з машини. RMP600, який використовується разом із програмним забезпеченням OMV для перевірки машин Renishaw, забезпечує надійну перевірку за моделлю САПР, що означає меншу перевірку поза машиною, отже менше налаштування та переробки. Дає можливість скоротити час і витрати на перевірку поза машиною, швидше простежувати звітування про відповідність деталей специфікації та в цілому підвищує впевненості у виробничому процесі.



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

Рисунок 5 – Можливості та візуалізація Renishaw RMP600 [12]

Таблиця 3.1 – Основний опис призначення Renishaw RMP600

Значення	Опис
Основне призначення	Вимірювання розмірів деталей і настройка на технологічні операції на багатоцільових

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

Термін служби батареюк (2 літій-тіонілхлорідніе батарейки AA 3,6 В)	включення / вимикання
	При безперервному використанні не більше 230 годин, в залежності від режиму включення /

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

	в напрямку $\pm Z$ (типове мінімальне значення) - 9,80 Н, 999 гс (див. прим. 4)
Мінімальна швидкість вимірювання	3 мм / хв з автоскиданням
Клас захисту	IPX8 (EN / IEC 60529)
Робоча температура	від +5 °С до +50 °С

Примітка 1 Перевірка експлуатаційних характеристик виконувалася при стандартній швидкості 240 мм / хв. Залежно від вимог конкретного завдання може вибиратися більш висока швидкість.

Примітка 2 Зусилля спрацювання - це зусилля, чиниться щупом на вимірюваний об'єкт в момент спрацювання датчика. У деяких випадках величина цього зусилля є критичним фактором. Максимальне зусилля досягається після моменту спрацювання, тобто при перебіганні. Значення зусилля залежить від відповідних змінних факторів, включаючи швидкість вимірювання та величину уповільнення переміщення на верстаті. Датчики з технологією RENGAGE™ працюють при надмалих зусиллях спрацювання.

Примітка 3 Зусилля при перебігаючи щупа в площині ХУ виникає на відстані 80 мкм від точки спрацювання і збільшується на 0,35 Н / мм (36 гс / мм) до тих пір, поки не відбудеться зупинка верстата (в напрямку з великим зусиллям спрацювання і при використанні щупа з вуглецевого волокна).

Примітка 4 Зусилля при перебігаючи щупа в напрямку + Z виникає на відстані 7-8 мкм від точки спрацювання і збільшується на 1,5 Н / мм (153 гс / мм) до тих пір, поки не відбудеться зупинка верстата.

Примітка 5 Це заводські налаштування; ручне регулювання непередбачене.

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

волокна з високим значенням коефіцієнта Юнга. Цей щуп, розроблений з метою

зведення до мінімуму робочого ходу і підвищення точності датчика, розпізнаються по гладкій обробці поверхні графіту.

Щуп підвищеної міцності з вуглецевого волокна показаний на рисунку 7 та зведені розміри в таблиці 3.2 нижче, забезпечує оптимальні робочі характеристики тензодатчика RMP600.

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

Таблиця 3.2 – Основні розміри щупа Renishaw RMP600 [12]

	Опис розміру	A-5003-7306
A	Діаметр сферичного наконечника, мм	6,0
B	Довжина, мм	50,0
C	Діаметр стержню щупа, мм	4,5
D	Ефективна робоча довжина, мм	38,5
	Вага, г	4,1

3.2 Висновки

Контроль розмірів деталі одна з важливих складових процесу при виготовленні на виробництві. Він також враховує людський фактор, що значно негативно впливає на процес контролю при цьому включає різні фактори одна з яких це великий час контролю розмірів.

Використовуючи сучасний вимірювальний датчик Renishaw значно скорочується час на контроль деталі та усуває людський фактор. Датчик встановлюється в супорті верстату з ЧПК та виконує повний контроль всіх розмірів деталі.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

Розробимо попередньому розговору використанню комірчастої структури для

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

механізмах. AM технологія дозволяє виготовляти деталі швидше, ніж інші технології, що використовуються в машинобудівному виробництві. Використання комірчастої структури замість монолітного матеріалу може значно зменшити вагу деталі, при цьому забезпечуючи виконання основних механічних функцій. Оскільки умови експлуатації механізмів різняться, можна стверджувати, що полегшення виробу грає важливу роль в конструюванні модифікованих механізмів. Більшість таких виробів вже зараз можуть використовуватися в безпілотних літальних апаратах, що дозволить значно збільшити корисне навантаження дронів за рахунок зменшення маси конструкції.

Після використання технології AM поверхня деталі може не відповідати вказаним на кресленні вимогам щодо шорсткості. В подібних ситуаціях зазвичай потрібно провести додаткову пост-обробку. У даному випадку може бути необхідно врахувати допуск на механічну обробку на відповідальних поверхнях.

4.2 Проектування модифікованої деталі

На даному етапі вся модифікація деталі виконується в програмі Autodesk Netfabb Premium 2024.0. При відкритті програми обираємо машину EOS M 280 рис. 8.

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

деталі до рухомого робочого столу машини рис. 9

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

Для модифікації виділеної деталі у вкладці Modify переходимо до Lattice Commander рис. 10

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

деталі. Товщину в даному випадку приймається 3 мм та підтверджується команда натиском на команду Generate рис. 11.

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

Наступним кроком створюється комірчаста структура по формі деталі за допомогою функції Volume lattice. Задається розмір комірки по X, Y та Z по 2 мм та товщина структури в 0,4 мм рис. 12.

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

комірчаста структура по форму деталі рис. 13.

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

Всі деталі які виконуються в порошкових ваннах повинні мати відкриті порожнини для подальшого очищення від дисперсного металевого порошку. В даному випадку доцільно видалити площину з одного торцю. Сторона торцю з шпонковим пазом залишиться і буде використана для центрального отвору. Тому виділяємо створену оболонку з товщиною 3 мм та натискаємо на функцію Edit body далі до вибору поверхні натиснувши Select surfaces та обираємо торець рис. 14.

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

Видаляємо поверхню натиснувши Delete операція завершається натиском Finish рис. 15.

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

Рисунок 15 – Модифікована оболонка

Об'єднавши комірчасту структуру та створену оболонку деталі, візуально можливо побачити дефекти на поверхні які утворені від комірчастої структури рис. 16

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

Рисунок 16 – Об'єднана комірчаста структура та оболонка

Мінімізувати їх можливо в програмі, видаливши незамкнуті комірки. Відповідно виділяємо комірчасту структуру та використовуємо функцію Remove open beams. Завершуємо генерацію та отримуємо комірчасту структуру виключно з закритими комірками рис. 17.

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

Рисунок 17 – Модифікована комірчаста структура

При більш детальному огляді можна виявити що комірчаста структура в певних місцях виходить за оболонку контуру деталі рис. 18. Враховуючи що деталь

буде проходити подальшу механічну обробку то такі дефекти на моделі можна залишити без змін.

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

Рисунок 18 – Особливості модифікації

В дереві історій є дві комірчасті структури. Першу комірчасту структури видаляємо та для завершення модифікації деталі виділяємо створену оболонку з модифікованою комірчастою структурою та обирає функцію Edit component далі в строчці Generate part type обираємо Generate part mesh (legacy) та звершаємо генерація модифікованої деталі рис. 19.

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

Рисунок 19 – Генерація модифікованої деталі

4.3 Розробка принципової схеми розміщення

Для встановлення деталі на робочому рухомому столі машини EOS M 280 краще площиною яка буде технологічною базою поверхні при друку. Ця поверхня буде підтримуватися рухомим столом та не даватиме деталі просідати під час друку. Після завершення генерації модифікованої деталі вона з'являється в робочій зоні машини рис. 20.

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

Рисунок 20 – Модифікована деталь в робочій зоні

Виходячи з обсягу дрібносерійного виробництва, що періодично будуть запускатися 10 штук деталей в одній серії у виробництво, тому потрібно розмістити на рухомому робочому столі серійний об'єкт. Переходимо до функції Duplicate натис

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

Рисунок 21 – Параметри генерації копій деталей

Отримавши необхідну кількість перевіряємо правильність розміщення на
роботі

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

Рисунок 22 – Згенеровані копії деталей

перем

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

пі

Перевіряємо головний вид рис. 24.

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

На завершення перевіряємо можливі перетини між деталями. Для цього в вкладці Arrange обираємо функцію Collision detection рис. 25. В даному випадку програмою не виявлено можливих перетинів між деталями.

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

Рисунок 25 – Розміщення ряду деталей

4.4 Аналіз модифікованої деталі

Після модифікації можемо порівняти дві деталі. Виділяємо модифіковану та не модифіковану деталі та натискаємо функцію Platform overview рис. 26.

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

Рисунок 26 – Порівняння деталей

На рис. 27 показано параметри кожної деталі. На першій деталі ми бачимо об'єм $\approx 191 \text{ см}^3$ та на модифікованій деталі об'єм $\approx 96 \text{ см}^3$. Таким чином об'єм модифікованої деталі вдалося зменшити на $\approx 50\%$ що пропорційно вплине на масу деталі. Цей показник можна збільшити змінюючи комірчасту структуру але потрібно враховувати призначення деталі та її вимоги до навантажень.

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

Рисунок 27 – Характеристики деталей

На рис. 28 порівнюються дві деталі в розрізі.

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В сучасній ринковій економіці є певне співвідношення між масовим та одиничним виробництвом, але найчастіше зустрічається серійне та дрібносерійне виробництво деталей типу “Вал”. На кожному підприємстві завжди виникає потреба в одиничному виробництві і в цілому розглянуто сучасну тенденцію розвитку машинобудівної галузі. Проаналізовано конструкцію деталі “Вал” її призначення, властивості матеріалу, вимоги до поверхонь та визначено річну програму виробництва.

У кваліфікаційній роботі розроблено прогресивну технологію обробки деталі “Вал” в умовах серійного виробництва. Розглянуто інноваційні технології зі створення режимів різання, методи утворення поверхонь та симуляція обробки в програмах CAD/CAM систем. Комбіновані операції формоутворень поверхонь деталі досліджені на сучасних верстатах з ЧПК, як нові прогресивні технології.

Докладно описано конструкторські та технологічні особливості. Зроблена оцінка технологічності конструкції деталі. Проаналізовано обраний метод отримання заготовки. На підставі розрахунку запропоновані технологічні маршрути обробки деталі. Зроблені розрахунки режимів різання, з використанням норм часу. У проекті виконано підбір прогресивного ріжучого інструменту, спеціального вимірювального пристрою, а також обґрунтовано вибір ріжучого інструменту, вимірювального пристрою та верстату.

Запропонована технологія має інноваційну структуру технологічної системи бо, використання одного сучасного токарно-фрезерного верстата з ЧПК замінює роботу трьох верстатів універсальних: токарного, фрезерного та шліфувального. Все це спричинено досить високою жорсткістю та точністю сучасних верстатів з ЧПК, які прямо впливають на точність та шорсткість виготовленої деталі. Це дозволяє досягти заданої точності та шорсткості поверхні деталі при тонкому точінні замість використання шліфувального верстату. Окрім того, допоміжна фрезерний привід дає можливість обробки поверхонь пазів та шліців, що виключає використання фрезерного верстату. Технологічна система з ЧПК зменшує ризики пов’язані з людським фактором та зменшує в цілому брак на виробництві.

У науково-дослідному розділі представлено модифіковану заготовку деталі "Вал". Завдяки застосуванню сучасних технологій адаптивного виробництва, які

дають можливість виготовляти складні форми навіть у важкодоступних місцях, в деталь була інтегрована комірчаста структура. Це дослідження демонструє, що використання комірчастої структури замість монолітної значно зменшує об'єм модифікованої деталі, що, у свою чергу, призводить до зменшення ваги кінцевого виробу.

Перелік посилань

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.

Додаток А

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

Додаток Б

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

Додаток В

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

Додаток Г

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

Додаток Д

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

Додаток Е

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.