

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 Яровий Руслан Миколайович
академічної групи 131М-22Н-1 ММФ
спеціальності 131 Прикладна механіка
за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: «Модифікації конструкції заготівлі за рахунок комірчастої
структури виготовленої методом 3D друку та подальшої механічної обробки»
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від
30 квітня 2024 р. за №382-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.

ЗАТВЕРДЖЕНО:

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

завідувач кафедри

машинобудування та матеріалознавства

В.А. Дербаб

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«__» _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ступеню магістра

студенту Яровий Руслан Миколайович

академічної групи 131М-22Н-1 ММФ

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою « Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва» на тему: «Модифікації конструкції заготівлі за рахунок комірчастої структури виготовленої методом 3D друку та подальшої механічної обробки»
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30 квітня 2024 р. за №382-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 | 7 |
| 1.3 Підсумок технологічного аналізу конструкції деталі | 8 |
| 1.4 Визначення виробничої програми випуску деталей | 8 |
| 1.5 Аналіз конструкції деталі | 9 |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ | 11 |
| 2.1 Обґрунтування форми та розмірів заготовки | 11 |
| 2.2 Вибір методів обробки поверхонь | 12 |
| 2.3 Обґрунтування технологічного маршруту виготовлення деталі | 13 |
| 2.4 Розрахунок припусків на механічну обробку | 14 |
| 2.5 Обґрунтування вибраного обладнання | 15 |
| 3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ | 20 |
| 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ | 27 |
| 4.1 Виявлення актуальності проблеми | 27 |
| 4.2 Проектування модифікованої деталі | 28 |
| 4.3 Розробка принципової схеми розміщення | 37 |
| 4.4 Аналіз модифікованої деталі | 40 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 43 |
| Перелік посилань | 45 |
| Додаток А | 47 |
| Технологічна документація | 47 |
| Додаток Б | 53 |
| Копія кресленника деталі «Вал-шестерня» | 53 |
| Додаток В | 54 |
| Копія графічного матеріалу «Технологічні налаштування» | 54 |
| Додаток Г | 55 |
| Копія графічного матеріалу до спеціального розділу | 55 |
| Додаток Д | 56 |
| Копія графічного матеріалу до науково-дослідницького розділу | 56 |
| Додаток Е | 57 |
| Відомість документів кваліфікаційної роботи | 57 |
| Додаток К | 58 |
| Відгук керівника кваліфікаційної роботи | 58 |

РЕФЕРАТ

Актуальність. В сучасному машинобудуванні точіння та фрезерування деталей типу "Вал" на верстатах з ЧПК перетворилися на невід'ємний елемент багатьох виробничих процесів. Цей факт робить визначення оптимальної технології та траєкторії обробки надзвичайно актуальним завданням, адже саме від них залежить продуктивність, точність та якість кінцевого виробу.

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 – надані практичні рекомендації щодо застосування зменшення ваги та об'єму деталі при виготовленні методами адитивного виробництва.

В даній кваліфікаційній роботі проведено всебічний аналіз та чітко окреслено 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 базується 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 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.

ВСТУП

Технологія машинобудування спрямована на вивчення методів та процесів промислового виробництва продукції визначеної якості та необхідної кількості. Сучасний прогрес у цій галузі включає в себе оптимізацію методів обробки матеріалів, удосконалення технологічного обладнання, розвиток обробних та вимірювальних інструментів, а також вдосконалення теоретичних та практичних аспектів процесів обробки.

Цей розвиток обумовлений зростанням складності конструкції виробів, високими вимогами до якості виробництва та постійною зміною об'єктів виробництва. Застосування багатоінструментальних верстатів з ЧПК, які включають засоби механізації та автоматизації, дозволяє планувати технологічні процеси обробки деталей з оптимізованими послідовними операціями, скорочує трудомісткість виготовлення та значно зменшує час технологічної підготовки виробництва при частих змінах асортименту виробів.

Незважаючи на цей прогрес, в сучасному виробництві існує частка технологічних процесів, які не в повній мірі відповідають вищезазначеним вимогам. Таким чином, впровадження передових методів розмірної обробки деталей, розумне використання високопродуктивного обладнання, стійкого комбінованого ріжучого інструменту, механізованого обладнання та засобів автоматизації у виробничих процесах механічних цехів сучасних машинобудівних заводів стає надзвичайно важливим.

Технологічний процес механічної обробки формується на основі робочого креслення деталі та складального креслення виробу чи складальної одиниці, а також технічних умов виробництва. Вибір оптимального варіанту технологічного процесу, тобто такого, який є найбільш вигідним для конкретних умов, що гарантує максимальну продуктивність при мінімальних витратах на обробку, часто вимагає проведення розрахунків економічної ефективності та порівняння різних економічних варіантів обробки. Вибір

раціонального варіанту значною мірою залежить від обсягу випуску, виробничих можливостей підприємства та умов проектування.

Запропонований технологічний процес визначається використанням мінімальної кількості металорізальних верстатів із високим рівнем автоматизації, використанням універсальних пристосувань та сучасного металорізального інструменту з твердосплавними пластинами. Додатковим плюсом цього процесу є застосування вітчизняного обладнання, доступного та ефективного в умовах серійного виробництва.

При розробці технологічних процесів інформаційною базою служать технологічний класифікатор об'єкта виробництва, класифікатор технологічних процесів, система позначень технологічних документів, стандарти Єдиної системи технологічної документації, типові технологічні процеси та операції, а також стандарти та каталоги технологічного обладнання, нормативи на матеріали та трудові витрати.

Для ефективної реалізації поставленої мети та завдань дипломного проекту рекомендується виконати патентно-інформаційний пошук для виявлення нових технічних рішень у сфері обробки деталей, виготовлення оснастки та використання металорізального інструменту. Після виявлення цих рішень, провести їх конструкторську обробку та застосувати відомі розрахунково-аналітичні або експериментально-статистичні методи для визначення технологічних режимів обробки. Крім того, рекомендується провести техніко-економічний аналіз, щоб визначити доцільність створення спеціалізованої ділянки у складі механічного цеху.

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 Аналіз конструкторської і технологічної характеристика деталі

У конструкціях машин та механізмів ключовою роллю у передачі обертового руху та крутного моменту відіграють вали (рисунок 1). Протягом експлуатації вони піддавані складним деформаціям, таким як кручення, вигин, розтягування і стискання. Отже, для забезпечення нормальної роботи елементів, які передають рух через вал і всієї складальної одиниці, висувають

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

Рисунок 1 – “Вал-шестерня” 3D модель

Жорсткість конструкції валу формується його геометричною формою (співвідношенням довжини до діаметру); однак збільшення жорсткості за рахунок скорочення довжини не завжди можливе. Найбільш технологічними вважаються вали зі зростаючими або зменшуючими діаметральними розмірами ступенів із стандартними розмірами. Ділянки валу із однаковим номінальним діаметром, але різною посадкою, слід відокремлювати канавками, чітко визначаючи оброблювані поверхні від необроблюваних. При

цьому бажано, щоб оброблювані ділянки валу мали рівні або кратні довжини, а відмінності у розмірах ступенів були невеликими.

Вал - це обертається деталь, призначена для передачі руху частинам машини або механізму, до складу яких вона входить. Окрім передачі крутного моменту вздовж своєї осі, вал також відповідає за підтримання обертових деталей машини. Дія на вал зусиль через механічні передачі (наприклад, зубчасті або черв'ячні передачі, натяг пасів тощо) призводить до згинальних моментів та осьових навантажень.

Класифікація валів розподіляє їх на вали передач та корінні вали машин. Перші використовуються для установки зубчастих коліс, шківів, муфт та інших елементів передачі, тоді як другі служать не лише для передачі, а й для маховиків, затискних патронів, кривошипів і т.д. За формою геометричної осі валі поділяються на прямі, ексцентрикові (колінчасті, кулачкові), гнучкі, карданні первинні. За конструктивним виконанням виділяють гладкі, ступінчасті та порожнисті вали.

Перш ніж розпочати механічну обробку поверхонь валу, формується єдина база для установки оброблюваної заготовки на всіх етапах операцій. Ця база визначається торцевими поверхнями центральних отворів, точність виконання яких впливає на точність подальших операцій.

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

1.2 Матеріал деталі та його властивості

Отже, проведений аналіз роботи деталі "Вал-шестерня" 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 "Шліцьового валу" це сталь 40Х. Цей матеріал володіє відмінною стійкістю до вигину та крутіння. Збільшити стійкість валу можна, піддаючи деталь термічній обробці, зокрема загартовуванню до твердості

**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.**

| | | | | | | | |
|--|-----|------|----|----|----|---------|-------|
| 50 | 800 | 1000 | 9 | | | 285 | 57-63 |
| Цементація 920-950 °С, повітря. Загартування 820-860 °С, масло. Відпустка 180-200 °С, повітря. | | | | | | | |
| 20 | 930 | 1180 | 10 | 50 | 78 | 341 | 53-63 |
| 60 | 780 | 980 | 9 | 50 | 78 | 240-300 | 57-63 |

1.3 Підсумок технологічного аналізу конструкції деталі

Аналіз креслення валу виявив, що всі розрізи та виносні елементи чітко та однозначно розкривають його конфігурацію і можливі методи виготовлення заготовки. Креслення включає всю необхідну інформацію про матеріал деталі, термічну обробку та масу. Деталь не має складнодоступних поверхонь, всі поверхні доступні для обробки та ремонту. Для багатьох операцій можна використовувати універсальне обладнання та інструмент, оскільки його використання дозволяє досягти встановлених параметрів. Інструмент має вільний доступ до оброблюваних поверхонь. На кресленні вказані всі необхідні вимоги для виготовлення валу. З усього вищезазначеного можна зробити висновок, що деталь є достатньо 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:

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

де N_B – річна програма випуску виробів;

q – кількість деталей даного найменування в одному виробі;

h – відсоток деталей, призначених на запасні частини (від 1 % до 3 %).

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

випадку цей критерій не розраховується і апriori приймається дрібно серійний тип виробництва.

Основним показником, що характеризує дрібне виробництво, є обсяг випуску деталей, який запускається періодично (виріб випускається серіями, що складаються з конкретних деталей). Обсяг партії визначається за відповідною формулою:

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

Д
з
с
с

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

Деталь простої форми відноситься до категорії "Вал". Її поверхні складаються з поверхонь обертання та торцевих поверхонь, і не потребують складної форми заготовки. Важкодоступних місць немає, поверхні мають просту форму і легко обробляються. Конструкція деталі є конструктивною, має оптимальну форму і розміри, не потребує додаткових конструктивних вдосконалень. Можливо використання як спеціалізованого, так і універсального обладнання, включаючи обладнання з ЧПК (числовим програмним керуванням).

Для обробки деталі не потрібна спеціальна оснастка. Конструкція деталі дозволяє проводити виміри безпосередньо. Базування деталі здійснюється без використання штучних баз. Технологічні бази при базуванні деталі співпадають з конструкторськими і вимірювальними базами. Конструкція деталі абсолютно жорстка (співвідношення довжини до діаметру

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

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Обґрунтування форми та розмірів заготовки

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 вала враховуючи припуск на обробку поверхні. Довжина заготовки розраховується з урахуванням загальної довжини деталі, враховуючи припуск на кожну із сторін. Найбільший діаметр заготовки дорівнює 41 мм і має загальні дпуски за кресленником. З огляду на несиметричне розташування ступеня вала найбільшого діаметра по відношенню до торців деталі, заготовкою буде круглий гарячекатаний сталевий

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

Заготовкою для «Шліцьового валу» призначається прокат и записується

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

заготовки та її точність. Кількість технологічних операцій і їх порядок виконання визначаються методами обробки поверхонь, які обираються з урахуванням необхідного рівня точності, параметрів шорсткості та особливостей обробки алюмінієвих ливарних сплавів. Всі деталі щодо поверхонь, їх розмірів і методів обробки, які гарантують відповідність вимогам креслення, наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Методи одержання поверхонь

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

2.3 Обґрунтування технологічного маршруту виготовлення деталі

Сучасний світ активно працює над автоматизацією у всіх можливих сферах з метою ефективного використання часу під час виробництва. Концентрація всіх операцій з виготовлення деталі на одному верстаті з мінімальною кількістю переустановок призводить до підвищення продуктивності.

У звичайному маршруті виготовлення валів перша операція передбачає підготовку технологічних баз для подальшої обробки, які включають центрові отвори та один з торців. У дрібносерійному виробництві доцільно використовувати токарно-фрезерний верстат з ЧПК, щоб забезпечити цю підготовку.

Подальша обробка включає чорнове та чистове точіння всіх поверхонь. У зв'язку з розміром і точністю заготовки, а також наявністю практики розподілення операцій в дрібносерійному виробництві, чорнові та чистові токарні операції виконуються на тому ж ЧПК, без необхідності в переналагодженні патрона.

Для обробки шпонкового пазу застосовується фрезерування, під час якого використовується допоміжна фрезерна ось В. Ця ось призначена для обробки пазу та зубчастої поверхні.

Щоб уникнути використання кругло-шліфувального верстата, буде застосовано тонке точіння на всіх відповідальних поверхнях.

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

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

різання при великій глибині різання. Це може призвести до збільшення витрат на різальний інструмент та загальних витрат на експлуатацію робочого місця.

У даному випадку розглядається розрахунок міжопераційних припусків для деталі з діаметром $\varnothing 22^{+0,015}_{+0,002}$ мм, на яку призначено три операції: токарна обробка чорнова, токарна обробка чистова та тонке точіння. Всього на даний

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.

з додатковою фрезерною віссю *B*. Його використання цілком доцільне, так як 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.

Заготовка базується в 3-х кулачковому патроні з піджимом центру. На цій операції оброблюється з іншої сторони канавка та посадочне місце $\varnothing 22^{+0,015}_{+0,002}$, фрезерується паз.

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.

Таблиця 2.4 – Основні характеристики верстату MULTICUT 630 / 1500

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

| Опис характеристики | Вимір | Значення |
|---------------------|-------|----------|
|---------------------|-------|----------|

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

| | | |
|--|------------------|----------------------|
| Інструментальний шпиндель S ₃ | | |
| | Затисковий конус | HSK-T 63 (HSK-T 100) |

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

| | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------|------------|
| Силовий шпиндель (Diplomatic) | Потужність шпинделя S1 / S6-40% | кВт | 29 / 38 |
| | Крутний момент шпинделя S1 / S6-40% | Нм | 200 / 255 |
| | Макс. обороти шпинделя | об/хв | 6 500 |
| Ось інструментального шпинделя В | | | |
| Макс. кут повороту | | ° | -30 / +210 |

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

| | | |
|-------------------------------------|----|-------|
| Y ₁ , пряме відмірювання | мм | 0,006 |
| Z ₁ , пряме відмірювання | мм | 0,008 |
| C ₁ , лівий шпindelь | ° | 0,005 |
| Магазин інструмента | | |

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

| | | |
|------------------------|----|----------------------------------|
| Тип люнета | | К 6 (135-460) К 6.1 (215-510) |
| Обмеження оборотного ø | мм | 460 / 510 |
| Люнети с висувним (*) | | |
| Тип люнета | | SR 5 (45-310) |

| Опис характеристики | Вимір | Значення |
|--|-------|------------------------------------|
| | | SR 5.1 (85-350) K 5.1 (100-410) |
| Обмеження оборотного ø | мм | 630 |
| Максимальна кількість люнетів на станке | шт. | 3 |
| Спеціальний магазин інструмента для глибокого свердління | | |
| Кількість перфінструментів | шт. | 1 2 |

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

840 D sl.

3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Спроекуємо загальну схему для вимірювання відхилень форми деталі на верстаті з ЧПК. Після механічної обробки на верстаті завжди необхідно контролювати розміри відповідно до технічного завдання. Ручний контроль розмірів часто призводить до людських помилок у вимірюванні та займає багато часу. Тому для більшої автоматизації весь контроль розмірів буде здійснюватися на верстаті з ЧПК. Контактний датчик від міжнародної компанії Renishaw, яка спеціалізується на області вимірювання, повністю вирішує цю потребу. Для контролю деталі валу повністю підходить модель RMP600, яка показана на рисунках 3 і 4. Використання цього датчика дозволить здійснити контроль параметрів і якості під час її виготовлення, а також комплексний контроль після обробки. З урахуванням вищезазначеного, використання контактного датчика моделі RMP600 є цілком обґрунтованим.



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

Рисунок 3 – Renishaw RMP600

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

Рисунок 4 – Renishaw RMP600 в роботі

Автоматизовані вимірювання під час процесу з використанням системи від Renishaw допоможуть уникнути ризиків, пов'язаних з людським фактором під час вимірювання. Система радіозонди Renishaw RMP600 може сприяти вдосконаленню управління виробництвом, що призводить до збільшення продуктивності (див. рисунок 5). Процес вдосконалення можна розділити на кілька етапів, таких як:

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

На перший етап відноситься використання програмного забезпечення від Renishaw, AxiSet™ Check-Up, яке забезпечує швидкі, точні та надійні дані про ефективність завдяки комплексним, але простим звітам. Це дозволяє оперативно орієнтуватися у роботі та уникати помилок машини, зменшуючи кількість незапланованих зупинок.

До "налаштування процесу" відноситься можливість зміни щупу на різні довжини без значного зниження ефективності датчика, що зменшує час на налаштування. Все це уникне дорогих пристосувань та помилок ручного налаштування, підвищить швидкість впровадження нових процесів та реагування на нові потреби споживачів. І, що найважливіше, покращить якість та зменшить кількість браку.

Субмікронна продуктивність RMP600 3D дозволяє зондувати складну геометрію. Адаптивна обробка може бути легко інтегрована, якщо вона використовується разом із Productivity+™ від Renishaw. Це включає поліпшення можливостей процесу та відстеження, компенсацію екологічних та машинних умов, скорочення невиробничого часу та кількості браку, збільшуючи, таким чином, продуктивність та прибуток (див. третю частину).

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

Основні технічні характеристики та призначення щупа Renishaw RMP600 зведені в таблицю 3.1.

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



Рисунок 5 – Можливості та візуалізація Renishaw RMP600

Таблиця 3.1 – Основний опис призначення Renishaw RMP600

| Значення | Опис |
|----------|---|
| | Вимірювання розмірів деталей і настройка на |

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

| Значення | Опис |
|------------------------------|---|
| Режими включення / вимикання | Включення з радіосигналу / Вимкнення по радіосигналу або по таймеру Включення обертанням / Вимкнення обертанням або по таймеру Включення від вимикача на хвостовику / |

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

| | |
|---|--|
| Зусилля спрацювання щупа (див. прим. 2 і 5) | площина ХУ (Типове мінімальне значення) – 0,20 Н, 20 гс в напрямку + Z (Типове мінімальне значення) – 1,90 Н, 194 гс |
| Зусилля щупа при перебігу | площина ХУ (Типове мінімальне значення) – 2,80 Н, 286 гс (див. прим. 3) в напрямку + 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 спрацьовування, 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 спрацьовування.

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

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

Примітка 5. Це заводські налаштування; ручне регулювання

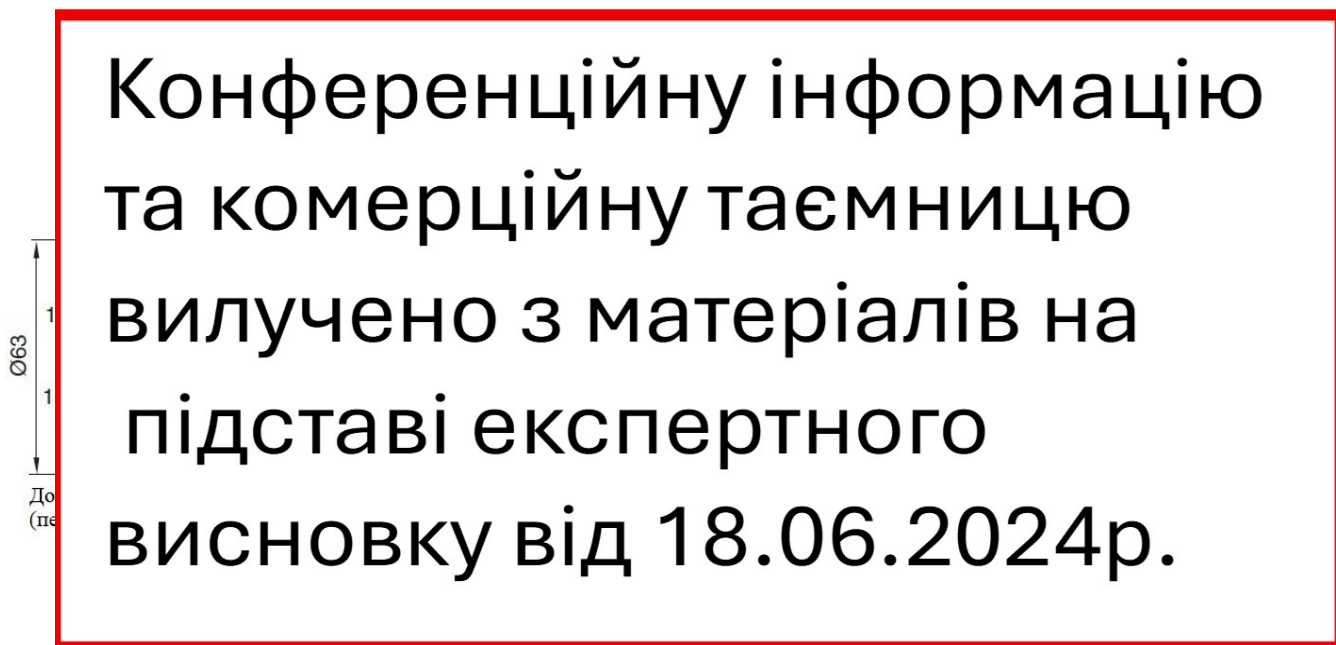


Рисунок 6 – Основні розміри Renishaw RMP600

Для датчиків RMP600 (див. рисунок 6) обирається щуп з підвищеною міцністю, виготовлений з вуглецевого волокна із високим значенням коефіцієнта Юнга. Цей щуп спеціально розроблений з метою мінімізації

робочого ходу і підвищення точності датчика, його можна впізнати за гладкою обробкою поверхні графіту. Щуп підвищеної міцності з вуглецевого волокна представлений на рисунку 7, а його розміри наведено в таблиці 3.2 нижче. Він забезпечує оптимальні робочі характеристики для тензодатчика RMP600.

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

Рисунок 7 – Щуп з вуглецевого волокна A-5003-7306

Таблиця 3.2 – Основні розміри щупа Renishaw RMP600

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

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

Розробимо полегшену заготовку використовуючи комірчасті структури для деталі "Вал-шестерня" за допомогою технологій адитивного виробництва на машині EOS M 280 в програмі Autodesk Netfabb Premium 2024.0.

4.1 Виявлення актуальності проблеми

Сучасні технології 3D друку вже давно можуть виготовляти деталі складних форм та використовувати дисперсний металевий порошок для друку. Цей процес, відомий як адитивне виробництво (AM) англійською, зараз широко використовується в дрібносерійному виробництві та активно зростає в промисловості, включаючи медицину, авіабудування та космічні програми. Дедалі частіше ми можемо спостерігати використання надрукованих деталей у різних 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

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

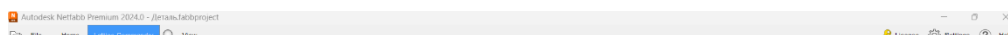
Завантажуємо деталь у форматі .stl рис. 9

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

Встановлюємо деталь площиною торцю деталі до рухомого робочого столу машини рис. 10

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. 11



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

За допомогою функції Hollow створюємо пустотілу оболонку по контуру деталі. Товщину в даному випадку приймається 3 мм та підтверджується команда натиском на команду Generate рис. 12.

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 5 мм та товщина структури в 1 мм рис. 13.

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

Підтвердити параметри натиснувши команду Generate та у вікні з'являється комірчаста структура по форму деталі рис. 14.

**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. 15.

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. 16.

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

Об'єднавши комірчасту структуру та створену оболонку деталі, візуально можливо побачити дефекти на поверхні які утворені від комірчастої структури рис. 17

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

Мінімізувати їх можливо в програмі, видаливши незамкнуті комірки. Відповідно виділяємо комірчасту структуру та використовуємо функцію Remove open beams рис. 18.

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

Завершуємо генерацію та отримуємо комірчасту структуру виключно з закритими комірками рис. 19.

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

При більш детальному огляді можна виявити що комірчаста структура в певних місцях виходить за оболонку контуру деталі рис. 20. 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.**

да

То

обробляти механічно щоб запобігти дефектів цієї структури. Торець з іншої

сторони деталі буде слугувати базою для початку друку, тому важливо зберегти площину без дефектів.

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

Середній функцію всередині осей і на поверхні об'єкта то ми перетину
балок які виходять за контур деталі рис. 22.

**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 вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Generate part type обираємо Generate part mesh (legacy) та та звершаємо генерація модифікованої деталі рис. 25.

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

Рисунок 25 – 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.

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

Рисунок 26 – Модифікована деталь в робочій зоні

Для встановлення на технологічну базу розвертаємо деталь по X на 180°
рис. 27.

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

Рисунок 27 – Встановлення деталей на рухомому столі

Виходячи з обсягу дрібносерійного виробництва, що періодично будуть запускатися 10 штук деталей в одній серії у виробництво, тому потрібно

р
ф
10

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

Рисунок 28 – Параметри генерації копій деталей

Отримавши необхідну кількість перевіряємо правильність розміщення на робочому столі рис. 29.

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

Рисунок 29 – Згенеровані копії деталей

По виду зверху видно, що габаритні розміри деталей виходять за розмір робочого столу тому виділивши всі деталі переміщаємо їх по Y в зону робо

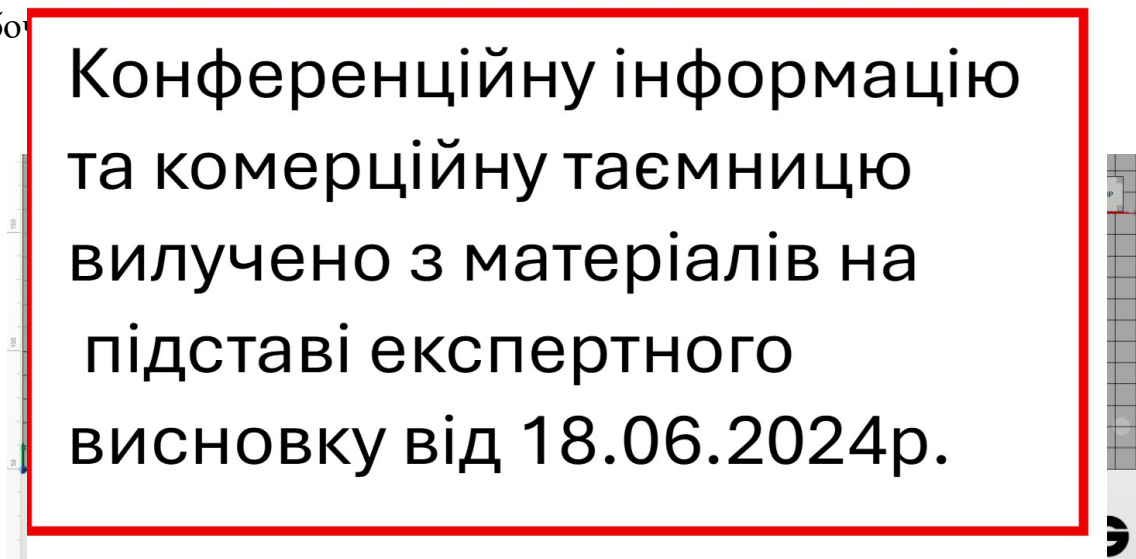


Рисунок 30 – Корекція розміщення деталей

Перевіряємо головний вид рис. 31.

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

Рисунок 31 – Розміщення деталей з головного виду

На завершення перевіряємо можливі перетини між деталями. Для цього в вкладці Arrange обираємо функцію Collision detection рис. 32. В даному вип:

деталі
відс

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

Рисунок 32 – Корекція 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. 33.

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

No jobs

Рисунок 33 – Порівняння деталей

На рис. 34 показано параметри кожної деталі. На першій деталі ми бачимо об'єм $\approx 51 \text{ см}^3$ та на модифікованій деталі об'єм $\approx 35 \text{ см}^3$. Таким чином об'єм модифікованої деталі вдалося зменшити на $\approx 31\%$ 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.

На рис. 35 порівнюються дві деталі в розрізі.

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

Рисунок 35 – Деталі в розрізі

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У сучасній ринковій економіці відбувається постійний розвиток виробництва, де існує різне співвідношення між масовим та індивідуальним виготовленням деталей. Найбільш поширеними є серійне та дрібносерійне виробництво, особливо коли йдеться про деталі типу "Вал". Кожне підприємство періодично потребує індивідуального виробництва, що є важливим аспектом у розвитку машинобудівної галузі. У цьому контексті була розглянута деталь "Вал-шестерня", досліджено її конструкцію, призначення, властивості матеріалу та складено річну програму виробництва.

У рамках кваліфікаційної роботи була розроблена прогресивна технологія обробки деталі "Вал-шестерня" для умов дрібносерійного виробництва. Вивчено інноваційні технології створення режимів різання, методи формування поверхонь та симуляцію обробки у програмах CAD/CAM. Ефективність комбінованих операцій формування поверхонь деталі досліджено на сучасних верстатах з ЧПК, що представляють нові прогресивні технології.

Були детально описані конструкторські та технологічні особливості, проведено оцінку технологічності конструкції деталі та обрано найкращий метод отримання заготовки. На основі розрахунків запропоновані оптимальні технологічні маршрути обробки деталі з урахуванням норм часу. В проекті проведено відбір прогресивного ріжучого інструменту, спеціального вимірювального пристрою та обґрунтовано вибір верстата. Всі ці кроки спрямовані на використання високої жорсткості та точності сучасних верстатів з ЧПК, що має прямий вплив на точність та шорсткість виготовленої деталі. Такий підхід дозволяє досягти заданої точності та шорсткості поверхні деталі під час чистового точіння, уникаючи використання шліфувального верстата. Крім того, допоміжна фрезерна головка дозволяє обробку евольвентних поверхонь, що уникне необхідності використання фрезерного верстата.

У науково-дослідному розділі представлено модифіковану заготовку деталі "Вал-шестерня". 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.

5. Гейчук, В. М. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor. Частина I [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Галузеве машинобудування» / В. М. Гейчук ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,39 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 394 с.

6. Технології формоутворення сучасних складнопрофільних деталей [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології виготовлення літальних апаратів», «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові дані (1 файл: 15,26 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 380 с.

7. David A. Stephenson, John S. Agapiou Metal Cutting Theory and Practice. Third Edition 2016 by Taylor & Francis Group, LLC 932p.

8. Найкращі рішення для обробки. Лінійка необертальних інструментів. Токарна обробка. Обробка канавок. Різьбонарізання. Відрізання. Метрична версія каталогу 2019. 08/2020 3395080. Member IMC Group ISCAR / www.iscar.com.ua .

9. Найкращі рішення для обробки. Фрезерування. Свердління. Інструментальна оснастка. Метрична версія каталогу 2020-2021. 10/2020 3395081. Member IMC Group ISCAR / www.iscar.ua

10. Петраков Ю.В., Мацківський О.С. Моделювання фрезерування кінцевими фрезами. Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування №1 (73). 2015.

11. Петраков Ю.В. Розвиток САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПК: Монографія. – Київ, Січкар, 2011. – 220 с.

12. Дубовой В.М. Моделирование та оптимізація системи: підручник / Дубовой В.М., Кветний Р.Н., Михальов О.І., Усова А.В. – Вінниця: ПП «ГД Едельвейс», 2017. – 804с.

13. Васильченко Я.В. Математичне моделювання процесів різання та різальних інструментів. Практикум. ДДМА, Краматорськ, 2019. – 249с

14. Zhuravel, O . Yu , Derbaba, V.A., Protsiv, V.V., & Patsera, S.T. (2019). Interrelation between Shearing Angles of External and Internal Friction During Chip Formation. Solid State Phenomena. Materials Properties and Technologies of Processing, (291), 193-203. - 2019. doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.291.193

15. Kravchenko, Yu., & Derbaba, V. (2020). Empirical definition of the shearing angle and chip-edge contact length when cutting. Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 63, 123-133. <http://znp.nmu.org.ua/index.php/en/archives/33-63en/358-63en11>.

16. Щербина Є.Ю. Критерії стійкості ріжучого інструменту для висошвидкісної обробки / Є.Ю. Щербина, В.А. Дербабя, В.А. Козечко // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2022 – № 67 – С.77-95 <https://doi.org/10.33271/crpnmu/67.077> .

Додаток А

Технологічна документація

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.

Додаток К

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