

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 Беляєва Сергія Олеговича
академічної групи 131М-21Н-1 ММФ
спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: «Оптимізація режимних параметрів процесу різання при
механічній обробці деталі «Маточина» на верстаті з ЧПК»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від
_____ за № _____

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи	Пацера С.Т.			
розділів:				
Аналітичний	Пацера С.Т.			
Технологічний	Пацера С.Т.			
Спеціальний	Пацера С.Т.			
Науково- дослідницький	Пацера С.Т.			
Рецензент	Бас К.М.			
Нормоконтролер	Рубан В.М.			

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.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

технологій машинобудування та матеріалознавства

В.А. Дербаб

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«__» _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ступеню магістра

студенту Беляєву Сергію Олеговичу

академічної групи 131М-21Н-1 ММФ

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

на тему: «Оптимізація режимних параметрів процесу різання при механічній обробці деталі «Маточина» на верстаті з ЧПК»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ за № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналітичний	Аналіз і характеристики матеріалу, умови експлуатації та оцінка технологічності деталі «Маточина»	06.02.2023-28.02.2023
Технологічний	Проектування та опрацювання детальної технології механічної обробки. Розробка комплексу документації	01.03.2023-31.03.2023
Спеціальний	Використовувані обладнання базування та контролю розмірів деталі на верстаті з ЧПК	01.04.2023-30.04.2023
Науково-дослідницький	Дослідження і розробка методики оптимізованої технології обробки деталі та режимних параметрів на верстаті з ЧПК	01.05.2023-31.05.2023

Завдання видано _____

Пацера С.Т.

Дата видачі 16 січня 2023 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____

С.О. Беляєв

РЕФЕРАТ

Актуальність. Поєднання токарно-фрезерних робіт на багатокоординатних верстатах з ЧПК набуло значного поширення в сучасному машинобудуванні. Тому визначення оптимальної технології та траєкторій руху керованих агрегатів має актуальне значення при металообробці. Також актуальною є проблема застосування інженерних розрахунків на деталі в спеціалізованих програмах, при складанні технології виготовлення виробу та корегуванні режимних параметрів на стадії підготовки виробництва.

Мета. Розв'язання науково-технічної задачі, пов'язаної з технологічним забезпеченням високопродуктивної механічної обробки деталі з чавуна шляхом оптимізації та управління її оброблюваністю інструментом з твердих сплавів на багатоцільових верстатах з ЧПК, за умов використання CAD-CAM систем.

Методика. Методологічною основою роботи є системний підхід та аналіз вивчення об'єкта досліджень, що ґрунтується на використанні: чисельного та графо-аналітичному методах дослідження з метою встановлення системного зв'язку параметрів точіння з властивостями оброблюваного матеріалу, геометрією інструменту та його стійкістю, параметрами режимів різання з відповідним зазначенням до керуючої програми для верстата з ЧПК.

Результати. Одержані чисельні результати досліджень для науково-обґрунтованого підходу у розв'язанні технічної задачі високопродуктивної токарної обробки деталей з чавуну на багатовісних обробних центрах, що містить сукупність скорегованих методик та алгоритмів для прогнозування їхньої оброблюваності із забезпеченням надійності різального інструменту з твердих сплавів. Отримані результати порівнювалися з відомими роботами, пов'язаними з дослідженнями процесів механічного оброблення різних марок сталей, сплавів та чавунів, оцінкою надійності ріжучих інструментів, точності та шорсткості обробленої поверхні, результатами вимірювань силових параметрів різання. Максимальна відносна похибка розрахунків не перевищувала 6-8%.

Наукова новизна. Встановлення повного і системного зв'язку параметрів оброблення з властивостями оброблюваного матеріалу, геометрією інструменту і конструкторсько-технологічних чинників деталі на розрахунок оптимізованої технології автоматизованого виробництва. У математико-статистичному опрацюванні експериментальних даних, що дало змогу вперше одержати комплексні залежності в зручному для розрахунку й аналізу вигляді, які дають

наочне уявлення про вплив кожного параметра процесу точіння на його енергетичні та часові показники при складанні раціональної технології механічної обробки деталі складної геометричної форми в САМ системі.

Практична значимість. Полягає у виборі й обґрунтуванні оптимальних геометричних параметрах різальних інструментів та оснащення, установленні характеру впливу умов токарної обробки чавунів на основні показники процесу – час механічної обробки та режимні показники в залежності від твердості матеріалу деталі і інструментального матеріалу. Надані практичні рекомендації щодо оптимального використання САD-САМ систем, коригування результатів технології та режимних параметрів для отримання оптимальних результатів на стадії підготовки виробництва.

Ключові слова: точіння, верстат, чавун, інструментальний матеріал, технологія, стійкість, різучий інструмент, режими різання, САD, САМ.

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».

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. Аналітично-конструкторський.....	8
1.1 Характеристика об'єкта дослідження.....	8
1.2. Хімічний склад матеріалу і механічні властивості.....	9
1.3 Якісний аналіз технологічності конструкції деталі.....	10
1.4 Виконання тривимірної моделі деталі у Autodesk PowerShape.....	10
РОЗДІЛ 2. Методика складання автоматизованої технології обробки в САМ-системі.....	12
2.1 Вибір заготовлі і обґрунтування способу формоутворення заготовки	13
2.2 Розробка технологічного маршруту виготовлення деталі.....	14
2.3 Вибір технологічного обладнання, оснащення та пристосувань.....	16
2.4 Вибір металоріжучого інструменту та режимів різання.....	18
2.5 Детальна розробка технології автоматизованого виробництва.....	22
РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНИЙ	
3.1 Розрахунок та конструкція спеціального верстатного присторю.....	25
РОЗДІЛ 4. Науково-дослідницький.....	28
4.1 Створення структури оптимального упавляння.....	28
4.2 Блок-схема алгоритма досліджень.....	30
4.3 Оптимізація режимів різання при точінні.....	31
ВИСНОВКИ	35
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	39
Додаток А. Кресленник деталі «Маточина»	
Додаток Б. Фрагменти обробки деталі з першого установу	
Додаток В. Фрагменти обробки деталі з другого установу	
Додаток Г. Інструментальна карта налагоджень	
Додаток Д. Фрагмент керуючої програми для верстата з ЧПК	

ВСТУП

В Україні розвинуте широко профільне машинобудування, підприємства якого формують складний взаємопов'язаний машинобудівний комплекс. До його складу входять усі основні галузі машинобудування. Провідне місце посідають приладобудування, тракторне і сільськогосподарське машинобудування, де зайнято близько п'ятої частини тих, хто працює в машинобудуванні. Розвиваються транспортне машинобудування, промисловість металевих конструкцій, конструкцій, верстатобудівна та інструментальна тощо.

Сьогодні без комп'ютерної автоматизації вже неможливо виробляти сучасну складну техніку, що вимагає високої точності. У всьому світі відбувається різке зростання комп'ютеризації на виробництві та в побуті. Впровадження комп'ютерних і телекомунікаційних технологій підвищує ефективність і продуктивність праці.

В сьогоденні спостерігається швидкий розвиток систем автоматизованого проектування (САПР) в таких галузях, як авіабудування, автомобілебудування, важке машинобудування, архітектура, будівництво, нафтогазова промисловість, картографія, геоінформаційні системи, а також у виробництві товарів народного споживання, наприклад побутової електротехніки. САПР в машинобудуванні використовується для проведення конструкторських, технологічних робіт, у тому числі робіт з технологічної підготовки виробництва. За допомогою САПР виконується розробка креслень, проводиться тривимірне моделювання виробу та процесу складання, проектується допоміжна оснастка, наприклад штампи і прес-форми, складається технологічна документація та керуючі програми (КП) для верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ), складається база даних. Сучасні САПР застосовуються для наскрізного автоматизованого проектування, технологічної підготовки, аналізу і виготовлення виробів в машинобудуванні, для електронного управління технічною документацією.

Згодом з'являються сучасні верстати з ЧПУ, які спочатку майже нічого принципово не змінили в методиках та підходах до проектування технологічної

підготовки виробництва та призначення режимів різання. Однак, з удосконаленням комп'ютерної техніки, систем приводів подач та головних рухів агрегатів, з появою нових систем ЧПУ, коли верстат керується безпосередньо від комп'ютера, ситуація змінилася.

Таке нове покоління верстатів із ЧПУ може майже все: безперервне регулювання формоутворюючих рухів, безступінчаста зміна швидкостей головного руху та подач тощо.

Відомо, що будь-який комп'ютер потребує системної оболонки. Без неї він купа "заліза". Також сучасний верстат з ЧПУ без САМ системи вже не може бути ефективно використаний на сучасному виробництві.

Такі САМ системи були створені і тепер набули широкого поширення. Однак, на жаль, першими розробниками таких систем були фахівці з програмування, накреслювальної геометрії та, в останню чергу, фахівці з металообробки. В результаті такі системи блискуче вирішують завдання проектування формоутворюючих рухів для виготовлення поверхонь майже будь-якої складності, але не враховують, що така поверхня утворюється на верстаті в результаті процесу різання, який має силові, температурні збурення, знос інструменту і т.п.

Таким чином, склалася ситуація, коли з боку обладнання з'явилися можливості управління процесом різання у широкому діапазоні, а з боку САМ систем такі можливості ігноруються чи просто не використовуються. Така суперечність є рушійною силою подальшого розвитку металообробки різанням, теорії різання.

Об'єкт дослідження у даній науковій роботі є операційні технологічні процеси механічної обробки однієї деталі «Маточина».

Предмет дослідження – вдосконалення відомих методик розрахунків режимних параметрів при складанні технології автоматизованої обробки деталі на багатоцільових верстатах з програмним керуванням, за умов використання САМ-САМ систем.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Конструкція деталі визначається схемою розположення підшипників. Основними конструкторськими базами деталі є циліндрична поверхня діаметром 105 мм, а також циліндричний отвір діаметром 78 мм. Вони визначають точність встановлення деталі в коробку швидкостей, що відображено на робочому кресленні підвищеними вимогами до співвісності цих поверхонь.

Деталь має складну геометричну форму, і не несе великих навантажень, тому для її виготовлення доцільно використовувати чавун. Виходячи з вищесказаного, робимо висновок, що Маточину виконують литими з чавуну марки СЧ15 ДСТУ 8833:2019. Цей матеріал не коштовний, добре лється і добре обробляється різанням, використовується для виготовлення виливків картерів, кришок, гальмівних барабанів, коробок швидкостей, всмоктуючих і вихлопних труб, маховиків, а також виливків, що працюють в умовах парів води і масла при температурі до 70°C (корпусу колонок, корпуси підшипників, кришки-опори валоповорота, рами підшипників, вкладиші , втулки , стійки).

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

2. Допустима напруга при вилиті - $[\delta_u] = 350 \text{ кгс/см}^2$;
3. Допустима напруга при крутінні - $[\delta_\kappa] = 230 \text{ кгс/см}^2$;
4. Допустима напруга при стиску - $[\delta_{см}] = 830 \text{ кгс/см}^2$

1.3 Якісний аналіз технологічності конструкції деталі

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Медична компанія, виробництво медичних приладів

Всі отвори, різьби кріпильних отворів відповідають середній точності, її забезпечення на даному матеріалі не викличе труднощів при обробці свердлом і машинним мітчиком на токарно-фрезерному верстаті з ЧПК.

Після проведення якісного аналізу технологічності деталі робимо висновок, що, конструкція деталі є технологічною.

1.4 Виконання тривимірної моделі деталі у програмі Autodesk PowerShape

Autodesk PowerShape це проста в засвоєнні та застосуванні CAD-система, що поєднує можливості поверхневого, твердотільного та фасетного 3D-моделювання. Має ефективний функціонал для реверсивного інжинірингу та відновлення пошкоджених імпортованих даних [5, 6].

Використовуємо вказану програму для виконання тривимірної моделі деталі «Маточина». За допомогою простих ліній, простих геометричних форм та кривих інтерфейсу PowerShape, створюємо крок за кроком об'єкт за розмірами і пропорціями, в масштабі, ідеально схожий що на кресленнику, який в нас є технічним завданням.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 1.2 – Тривимірна модель у програмі Autodesk PowerShape

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА СКЛАДАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ В САМ-СИСТЕМІ

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

- візуалізувати в режимі 3D та на верстаті виконаний процес механічної обробки деталі, внести певні уточнення або рекції у параметри технології;
- по завершенні корегування технології, за допомогою САМ-системи, скласти керуючу програму для багатокординатного верстата з ЧПК;
- зберегти NC-файл керуючої програми у відповідному форматі та проект технології у САМ-системі для подальшого корегування та переміщення інформації на CNC обладнання.

2.1 Вибір заготівлі і обґрунтування способу формоутворення заготовки

Виходячи з вимог робочого креслення деталі, а вона має складну геометричну форму й виготовлена з чугуну, тому може бути у вигляді виливки або прокату. Аналізуючи можливі способи лиття, враховуємо, що першорядне значення має забезпечення необхідного параметра шорсткостій геометричної точності поверхонь, що не підлягають механічній обробці внаслідок своєї складності.

Найбільш універсальним методом є лиття в піщано-глиняні форми різної вологості й міцності (лиття в землю), однак виготовлення форм вимагає значних витрат часу.

Розміри виливків та їхню точність визначимо виходячи з вимог державного стандарту ДСТУ 8981:2020 [1, 2], що поширюється на виливки із чорних і кольорових металів та сплавів. Цей стандарт встановлює допуски розмірів, форми, розташування й нерівностей поверхні, допуски маси й припуски на обробку

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Розрахунок виконавчих розмірів виливка

в міліметрах

Розмір за кресленням	Середній розмір	Допуск розміру	Допуск форми	Загальний допуск	Припуск на сторону	Розмір заготовки
39,3 _{-0,62}	39	1,4	0,2	1,6	2,9	42±0,8
91,8 ± 0,87	92	2,2	0,2	2,4	3,6	95±1,2
105 ± 0,87	105	2,4	0,2	2,6	3,8	109±1,2

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 2.3 – Заготівля для деталі «Маточина»

2.2 Розробка технологічного маршруту виготовлення деталі

При визначенні маршруту механічної обробки деталі (МОД) орієнтуємося на вид заготовки і її точність. Кількість технологічних операцій, їхня

концентрація буде зумовлюватись методами обробки поверхонь, які визначаються з огляду на необхідний квалітет розміру, параметр шорсткості й умови оброблюваності чавуну. Перелік поверхонь, їх розміри і методи обробки, які забезпечують виконання вимог креслення, наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

пневматичний трикулачковий патрон, щоб мати змогу обробити отвір з обох сторін. Базою для обробки отвору буде вже підготовлена циліндрична поверхня діаметр. Для виконання такої токарної операції використаємо токарно-фрезерний багатокоординатний верстат з ЧПК. Він забезпечить швидкість й високу точність обробки.

Технологічний процес виготовлення деталі завершується контрольною операцією, під час якої здійснюється комплексний контроль розмірів поверхонь

та їхнього взаємного розташування. Технологічний маршрут обробки деталі «Маточина» наведено в таблиці 2.4.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

викотехнологічне обладнання від компанії Yamazaki Mazak. Багатоцільові обробні центри Mazak з програмним забезпеченням та додатковим протишпінделем, здатні за одну установку обробити найскладніші геометрії деталей будь якого напрямку і галузі промисловості.

До пріоритетних напрямків роботи корпорації Mazak належить не тільки виготовлення верстатів з ЧПК з найвищим рівнем продуктивності, а й постійне покращення ергономічного дизайну та постійне впровадження передових технологій, що забезпечує неперевершену легкість та ефективність експлуатації. Інтелектуальні системи ЧПУ верстатів роблять роботу оператора виключно простою та забезпечують оптимально високу потужність обладнання.

І саме головне, що файли постпроцесорів та віртуальні (3D) верстати MAZAK присутні в базі даних САМ-системи Autodesk FeatureCAM. Тобто створювати керуючі програми можливо для конкретних верстатів, враховуючі їх конструкційну особливість, кінематику, потужність, візуалізувати (симулювати) механічну обробку, виконувати контроль та вносити відповідні корективи у технологію і керуючу програму.

Головні технічні характеристики обраного багатокоординатного верстата з ЧПК Mazak серії Integrex наведені у таблиці 2.5. Загальний вид верстата показано на рисунку 2.4.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Максимальний діаметр точіння, мм	660
Діаметр отвору у шпінделі, мм	76
<i>Основний шпindel</i>	

Швидкість шпинделю, об/хв	5000
Потужність двигуна, кВт	22
Обертаючий момент, Р*м	208
Оберти фрезерного шпинделю, об/хв	12000
<i>Контршпиндель</i>	
Швидкість контршпинделя, об/хв	6000
Потужність контршпинделя, кВт	18,5
<i>Інші параметри</i>	
Тип інструментальної оснастки	КМ-63
Величина робочого переміщення по осі X (мм)	580
Величина робочого переміщення по осі Z (мм)	1045
Y - вісь (мм)	160
Вісь B, °	225
Система ЧПК	Mazatrol Matrix
<i>Габарити</i>	
Довжина, мм	5200
Висота, мм	2600
Глибина, мм	2550
Вага, кг	14000

2.4 Вибір металоріжучого інструменту та режимів різання

Вибір різальних інструментів здійснюється залежно від методу обробки, форми та розмірів оброблюваної поверхні, її точності та шорсткості, оброблюваного матеріалу. Вибір інструментів здійснювався за допомогою каталогу ISCAR.

ISCAR - ізраїльська компанія-виробник металорізального інструменту, що входить до складу одного з найбільших у світі металообробних конгломератів IMC Group (International Metalworking Companies).

Якість, продуктивність, стабільність та надійність інструменту ISCAR стали незаперечними, а новизна конструкцій та технологій металообробки є унікальними. ISCAR постійно веде роботи з розробки більш досконалих

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Точіння поверхонь (чорнове K20-25)	Державка PCLNR 2525 M-12	-			
	Пластина CNMG 120408-NR	IC5005	1.0-5.0	0.15-0.5	160-300
Точіння поверхонь (чистове K05-K10)	Державка PCLNR 2525 M12	-			
	Пластина WNMG 080404-GN	IC428	1.0-4.0	0.15-0.4	160-300
Свердління центрального отвору, K20	Корпус свердла Ø60 мм DR060-120-40-16-2D-N	-			
	Пластина SOMT 160512-DT	IC808	30	0.2-0.34	150-250
Розточування отвору чорнове, K25	Державка A25R PCLNR-12X	-			
	Пластина CNMG 120408-NR	IC5005	1.0-3.0	0.14-0.4	140-280
Розточування	Державка A25R	-			

отвору чистове, K05	PCLNR-12X				
	Пластина CNMG 120404-GN	IC428	1.0-2.0	0.1-0.25	140-280
Розточування внутрішньої ка- навки, K10	Державка GHIR32-6	-			
	Пластина GIF1 4.00E-0.40	IC808	0.5-2.0	0.06- 0.11	135-245

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Фрезерна опе- рація для конту- рної обробки (чистова K05)	Кінцева фреза ра- діусна d=8, z=4, r=0.5 EC-E4L 08- 18\26C08CF63	IC900	-	0.035- 0.06	180-260
	Цанговий патрон HSK-A100 ER50X100 DIN6499 DIN69893 форма A	-			

	Цанга ER50 SPR 8-10				
Свердління та формування фасок, 10 отворів, K15	Ступінчате свердло збірне d12-d18мм, DCNT 120-035-16A-M14	-			
	Пластина АО- MT060204-45BE	IC908	-	0.18- 0.35	40-140
	Цанговий патрон HSK-A100 ER50X100				

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

	120408-NR	IC5005	1.0-3.0	0.14-0.4	140-280
Розточування чорнове K25	Державка A25R PCLNL-12X				
	Пластина CNMG 120408-NR	IC5005	1.0-3.0	0.14-0.4	140-280
Розточування чистове K05	Державка A25R PCLNL-12X	-			

		140-280
Форм фасок рах 10		
	<div style="border: 1px solid red; padding: 5px; display: inline-block;"> Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р. </div>	40-140

2.5 Детальна розробка технології автоматизованого виробництва

Тривимірну модель деталі виконано за розмірами у Autodesk PowerShape та використовуємо її в якості цифрового еталону. Аналіз матеріалу і конструкції деталі теж, режими різання складені з довідника ISCAR. Наразі розробляємо детальну технологію автоматизованої обробки деталі у програмі Autodesk FeatureCAM. При розробці керуючих програм використовувалася література [5, 6].

Імпортуємо модель деталі і інтерфейс програми FeatureCAM, призначаємо розміри заготівлі, які вираховували у попередньому розділі, встановлюємо локальну систему координат деталі, обираємо в базі даних існуючий постпроцесор верстата та модель тривимірний гібрид верстата MAZAK Integrex 200-IV S, отримуємо слідуєчий вигляд комп'ютерного експерименту з підготовки до автоматизації технології, рис.2.4.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

додаткові «Криві» по поверхні деталі які треба обробити та додаємо їх в якості шаблону. Фрезерні і свердлильні операції, формування нарізі, обробка фосок тощо виконуємо використавши функцію «Автоматичне розпізнавання поверхонь». Далі, з бази даних, в існуючі технологічні переходи та операції підтягуємо ріжучий інструмент відповідної геометрією та встановлюємо режими різання з таблиці 2.6.

Фрагменти послідовної з технологічними переходами і візуалізацією з програми FeatureCAM представлені у «Додатку Б».

Після першого установау, деталь відрізається від загальної заготовлі та одночасно перехоплюється контршпінделем. Такий спосіб базування деталі на верстаті досягає максимально точно і якісно виконати всі розміри в межаї допуску за креслеником.

Далі виконуються такі ж самі операції з іншого боку деталі. Фрагменти обробки деталі з іншого установу програми FeatureCAM показані у «Додатку В».

На останньому етапі програмування механічних операцій, за допомогою функцій програми FeatureCAM, формуємо керуючу програму (КП) для верстата з ЧПК та зберігаємо її в форматі *.txt Фрагмент КП з інтерфейсу для верстата

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 2.5 – Фрагмент керуючої програми для Mazak Integrex 200-IV S

Конструкторська частина

3.1 Розрахунок та розробка конструкції затискного пристрою

Опис будови та роботи пристрою

Трьохкулачковий патрон 23.113.7122-4162-00 застосовується для затискан-

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

зупідкулачника 9. При переміщенні тяги 5, г-подібний важіль обертається навколо вісі штифта 7 притискаючись до конічної поверхні муфти. Завдяки подачі повітря в без штокову порожнину 2 кулачок 10 затискує оброблювану деталь. Тяга з муфтою переміщуються в праву сторону і г-подібний важіль підіймає підкулачник з кулачком, деталь розтискується.

3.1.2 Розрахунок сили затиску деталі та визначення діаметру пневмоциліндра

Вихідні дані: $P_z=1200$ Н

Будуємо розрахункову схему:

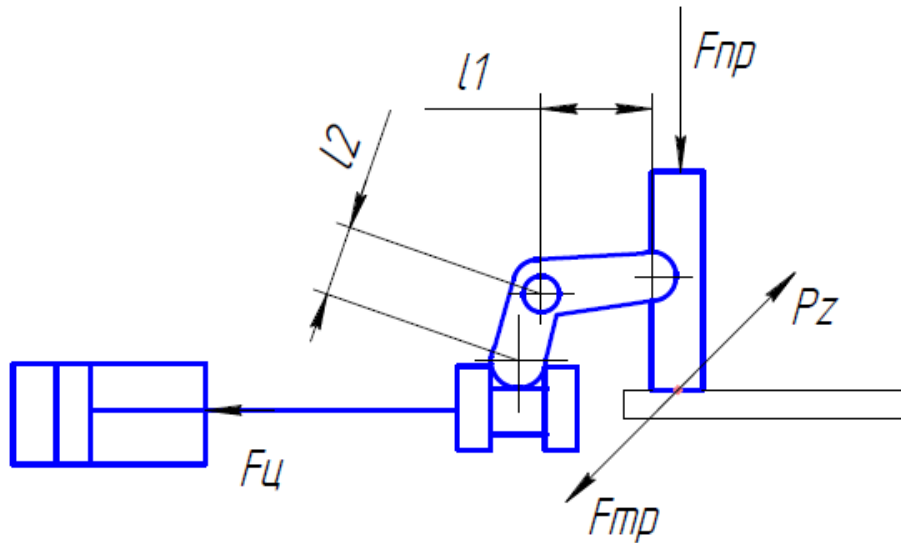


Рис.3.2 Розрахункова схема

Для того, щоб заготовка не оберталась в затискному пристрої необхідно щоб виконувалась умова

$$F_{\text{тр}} \geq 2,5P_z \quad 2.1$$

Знаходимо необхідну силу тертя:

$$F_{\text{тр}} \cdot \mu = 2,5P_z \quad 2.2$$

де μ – коефіцієнт тертя (сталь по сталі 0,12)

$$F_{\text{тр}} = \frac{2,5P_z}{\mu} = \frac{2,5 \cdot 1200}{0,12} = 25000\text{Н} \quad 2.3$$

На один кулачок трьохкулачкового патрону приходитья:

$$F_{\text{пр}} = \frac{1}{3} F_{\text{тр}} = \frac{1}{3} \cdot 25000 = 8350\text{Н} \quad 2.4$$

Знаходимо зусилля на штоці циліндра:

$$F_{\text{ц}} \cdot \frac{l_2}{l_1} = F_{\text{пр}} \quad 2.5$$

де l_1 та l_2 - плечі важелів:

$$l_1 = 42 \text{ мм};$$

$$l_2 = 46 \text{ мм}.$$

$$F_{ц} = \frac{l_2 \cdot F_{шп}}{l_1} = \frac{46 \cdot 8350}{42} = 6150\text{Н} \quad 2.6$$

находимо діаметр циліндра, виходячи з необхідного зусилля:

$$P = S \cdot p_{\text{мат}} \quad 2.7$$

де S - площа поршня циліндру

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad 2.8$$

$$F_{ц} = \frac{\pi d^2}{4} P_{\text{мат}} \quad 2.9$$

$$d = \sqrt{\frac{4F_{ц}}{\pi P_{\text{мат}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9150}{3,14 \cdot 0,6}} = 0,052\text{м} \quad 2.10$$

Зі стандартного ряду приймаємо $d=63$ мм.

Але враховуючи те, що на верстаті можлива обробка інших деталей де сили різання будуть більшими, тому приймаємо $d_{ц}=160$ мм.

3.2 Розрахунок пристрою на міцність

Розраховуємо штифт (поз.7) на зріз так-як він є найбільш слабким елементом пристрою.

При зрізі повинне зберігатися наступне рівняння:

$$[\tau] \geq \frac{P}{S} \quad 2.11$$

де P – зусилля на штифті;

S – площа перерізу.

Приймаємо, що штифт зроблений зі сталі 45 $[\tau]=220$ МПа

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad 2.12$$

$$[\tau] \geq \frac{4P}{\pi d^2} \quad 2.13$$

$$d = \sqrt{\frac{\tau \cdot \pi}{4P}} = \sqrt{\frac{220 \cdot \pi \cdot 10^6}{4 \cdot 8350}} = 16,3\text{мм} \quad 2.13$$

Приймаємо $d_{шт}=18$ мм

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 Створення структури оптимального упавляння

Основні труднощі реалізації оптимального управління за допомогою замкнутої системи автоматизованого управління (САУ) обумовлені принциповою неможливістю створення вимірювального приладу продуктивності або

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 4.1 – Структура САУ оптимального управління

Первинна інформація про хід процесу різання, крім констант, які вводяться раніше, виходить з модуля розрахунку поточної глибини різання, який пов'язаний із програмою управління формоутворюючими рухами. далі, Відповідно до

оптимізаційної математичної моделі процесу різання визначаються оптимальні величини керуючих впливів (наприклад, подачі та швидкості різання). Розраховані таким чином величини надходять на модуль програмного управління, який виробляє команди відповідних приводів верстата.

Таким чином, основною такою САУ оптимізації процесу різання є його оптимізаційна математична модель, яка пов'язує критерій оптимізації з керуючими впливами-подачі та швидкістю різання. В результаті вирішення задачі оптимізації знаходять керуючий вплив, який забезпечує максимум продуктивності або мінімум собівартості при безумовному виконанні вимог обмежень щодо якості обробки. Крім традиційних критеріїв оптимізації (продуктивність та собівартість) залежно від результатів техніко-економічного аналізу застосовують критерій максимальної інтенсивності зняття припуску. Іноді з виробництва ставиться таке завдання-досягнення максимальної продуктивності чи мінімальної собівартості при заданих значеннях стійкості інструмента.

Розробка математичної моделі процесу різання є найважливішим етапом створення алгоритму оптимізації. При традиційному, класичному підході математична модель будується у вигляді системи рівнянь та нерівностей, які виражають зв'язки між керуючими впливами, обмеженнями та прийнятими критеріями оптимальності на основі класичних залежностей теорії різання [12, 13].

Для випадку обробки поздовжнім точінням за один прохід з постійною глибиною різання, що дорівнює припуску на обробку (ідеальний випадок), режим різання буде оптимальним при такому поєднанні подачі та швидкості різання, коли основний технологічний час буде мінімальним. Таке оптимальне рішення знаходять, відшукуючи такі невід'ємні значення керуючих впливів (подачі S і частоти обертання n шпинделя) при задоволенні всім обмеженням, які доставляють мінімум критерію оптимальності-технологічного часу t_0 . Таким чином, для випадку поздовжнього точіння, оптимізаційна математична модель може бути виражена наступною системою рівнянь і нерівностей. Зв'язок між управліннями S і n та пе-

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

$$v = \frac{C_{\varphi}}{\varphi_{IH}}, \quad v_1 = \frac{C_{\varphi 1}}{\varphi_{IH 1}}$$

Такі залежності входять до математичної моделі процесу різання, а їх вплив на обмеження (3.1) виконується за рахунок коефіцієнта k_v , величина якого розраховується за конкретними умовами обробки. Наступне обмеження-за потужністю різання N_p , кВт:

$$N_p = \frac{P_z \pi D n}{1000 \cdot 6 \cdot 10^4} = \frac{C_p h^{x_p} S^y k_p \pi D n}{6 \cdot 10^7} \leq N_{cm} \eta,$$

звідки

$$n S^y \leq \frac{1,91 \cdot 10^7 N_{cm} \eta}{C_p h^{x_p} k_p D}, \quad 3.2$$

де N_{cm} – ефективна потужність верстата в кВт;

η – коефіцієнт корисної дії;

C_p, k_p, x_p, y_p – коефіцієнти та показники емпіричної залежності сили різання від режиму та умов обробки.

Подача, що допускається необхідною шорсткістю обробки, може бути визначена за детермінованою складовою профілю шорсткості обробленої поверхні, яка, у свою чергу, визначається за геометричними залежностями формування мікронерівностей поверхневого шару деталі для кожного з чотирьох можливих профілю [12, 13, 15].

4.2 Блок-схема алгоритма досліджень

Для вирішення такого завдання доцільно використати чисельний метод, який побудований за ітеративним принципом наближення із заданим кроком до вирішення відповідно до алгоритму, блок-схема якого представлена на малюнку 3.2.

Такі випадки визначаються співвідношеннями між геометричними параметрами вершини різця у плані (головний φ , допоміжний φ_1 кути в плані і радіус r округлення вершини різця в плані) і подачею S навпаки заготовки.

При $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ виступ профілю формується перетином головного і допоміжного різальних лез інструменту, при $\varphi > \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ виступ профілю формується перетином допоміжного різального леза і радіусною частиною вершини інструменту, при $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 > \arcsin(S/2r)$ виступ профілю формується перетином головного різального леза і радіусної частини вершини інструменту, а при $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ виступ профілю формується перетином винятково радіусних частин вершин інструменту. Таким чином, в умову визначення допустимої (по шо-

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 4.2 – Блок-схема алгоритма

Наступне обмеження, яке накладається на поздовжню подачу, вибирається з умов міцності жорсткості ТОС. Наприклад, подача за максимальною силою, яку забезпечує привід подачі верстата, може бути розрахована за наступною залежністю:

$$[S_p]_{\text{доп}} = \left(\frac{2P_n}{c_p h X p k_p} \right)^{\frac{1}{Y_p}}$$

Подача, що допускається, вибирається як найменша з подач, які розраховані за міцністю інструменту $[S_l]_{\text{доп}}$ або тяговою силою механізму подачі верстата $[S_p]_{\text{доп}}$:

$$S \leq \min\{ [S_p]_{\text{доп}}, [S_l]_{\text{доп}} \}. \quad (3.3)$$

Конструктивні обмеження які визначаються за можливостями металорізального верстата:

діапазон поздовжніх подач:

$$S_{min} \leq S \leq S_{max} \quad (3.4)$$

діапазон частот обертання шпинделя:

$$n_{min} \leq n \leq n_{max} \quad (3.5)$$

Як оцінну функцію за критерієм максимальної продуктивності приймають

$$f = nS \rightarrow \max, \quad (3.6)$$

оскільки при цьому основний час обробки $t_0 = L/n \rightarrow \min$ (де L – довжина обробки).

Отримана математична модель (3.1) – (3.6) складає ядро прикладної програми "Оптимізація точіння" [4], яку ми будемо використовувати для оптимізація режимів різання при точінні.

4.3 Оптимізація режимів різання при точінні

Для виконання роботи використовується прикладна програма [4], інтерфейс представлений на малюнку 3.2. Інструкції та пояснення для роботи з програмою містяться в самій програмі та з'являються на екрані монітора при натисканні кнопки "Help".

Після активації програми, введення даних відповідно до варіанта та натискання кнопки "Застосувати дані" у графічному вікні інтерфейсу з'являються всі розраховані обмеження, що утворюють область D допустимих значень частоти обертання шпинделя та подачі, яка відповідає представленим на інтерфейсі вихідним даним верстата і процесу різання. На малюнку 4.2 ця область утворена перетином наступних обмежень: 1 – мінімальна подача, 3 – мінімальна частота обертання шпинделя, 5 – мінімальна подача по шорсткості поверхні, 7 – обмеження за стійкістю інструменту, 8 – обмеження за потужністю верстата. Лінія 9 відображає функцію оптимізації за максимальною продуктивністю і задовольняє залежності (3.6).

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.



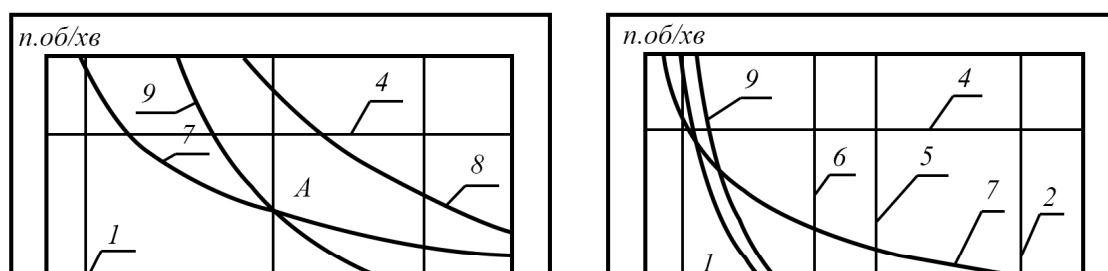
Рисунок 4.2 Інтерфейс прикладної програми оптимізації режимів різання

Після натискання лівої клавiшу мишки, при утриманні її перехрестя у вершині області допустимих значень, на інтерфейсі з'являються оптимальні величини режиму різання. Визначається такі складові режиму різання та його головні характеристики: частота обертання шпинделя (1881 об/хв), подача на оборот (0,136 мм/об), швидкість різання (472 м/хв), поздовжня подача (400 мм/хв), потужність різання (11,7 кВт), що становить сили F_z різання (1481,4 Н).

Звертаємо увагу на те, що відповідно до прийнятого критерію оптимальності - максимальна продуктивність - його величину зручно оцінювати безпосередньо за величиною поздовжньої подачі.

В якості прикладу виконання роботи нижче представлено перебіг досліджень для вихідних даних, які вказані у вікнах головного інтерфейсу програми на малюнку 3.2.

Для виконання експериментальних досліджень за першими трьома завданнями, які виконуються у функції глибини різання, перед активацією прикладної програми необхідно скласти таблицю експериментальних даних визначивши діапазон і крок зміни глибини різання (табл. 4.1). На малюнку 4.3 представлено стан області D допустимих значення частоти обертання шпинделя та поздовжньої подачі під час проведення експериментальних досліджень за даними таблиці 3.1.



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

7	3,7	624	0,362	7,51	4600	226	112
8	4,1	624	0,306	7,52	4603	191	112

Тут прийняті ті самі позначення, що і на малюнку 4.2: лінія 1 і 2-обмеження по мінімальній і максимальній подачі, лінія 3 і 4 - обмеження по мінімальній і максимальній частоті обертання шпинделя, лінія 5 - обмеження подачі по заданій шорсткості, лінія 6 - обмеження подачі за допустимою силою механізму подачі приводу верстата, лінія 7 - обмеження за стійкістю інструменту, лінія 8 - обмеження потужності верстата. Лінія 9 відображає оцінну функцію оптимізації максимальної продуктивності. Видно, що зі зміною глибини різання вершина А області допустимих значень, яка відповідає оптимальному (за продуктивністю) режиму різання, утворюється перетином різних обмежень. Так, при глибині різання 1 мм ця вершина утворена обмеженнями по стійкості інструменту і необхідної шорсткості поверхні, а при глибині 4 мм - обмеженнями за потужністю різання і максимально допустимою силою приводу подачі. Отримані експериментальні дані, що визначають оптимальний режим різання за різних величин глибини Н різання представлені в таблиці 4.2. За експериментальними даними з використанням пакету Excel побудовано графіки відповідної залежності, що представлені на рисунку 4.4.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Рис. 4.4 Експериментальні залежності оптимального режиму різання від глибини різання

Аналіз отриманих експериментальних результатів (рис. 4.4) свідчить, що закон оптимального управління має дві зони:

1) оптимальна обробка до глибини різання 3 мм відбувається з постійною подачею на заготівлю, проте частота обертання зменшується майже за лінійною залежністю;

2) оптимальна обробка з глибиною, яка перевищує 3 мм, виконується з постійною частотою обертання заготовки, проте поздовжня подача знижується також майже за лінійною залежністю.

При проведенні експериментів можна помітити, що оптимальна точка фазової площини n - S утворюється в основному трьома обмеженнями: стійкістю, потужністю і шорсткістю. До глибини різання 3 мм основним обмеженням, яке накладається на подачу, є обмеження необхідної шорсткості обробленої поверхні. При збільшенні глибини різання набуває чинності четверте обмеження-за силою подачі верстата.

Подібні числові значення розрахунків режимів різання були отримані і при класичному аналітичному методі корегування стосовно геометрії ріжучого інструменту, матеріалу і параметрів деталі [12, 13, 16], відносна похибка розрахунків не перевищувала 6-8%. Це говорить про те, що модель перевірна на

адекватність результатів режимів механічної обробки стосовно нашої деталі «Маточина» та його геометричних параметрів.

Далі ми послідовно повторюємо процедуру зміни вхідних даних для кожного технологічного переходу при точінні (поперечному, подздовжньому, розточування, точінні канавки та відрізання). Отримані результати заносимо в таблицю 4.2. де скореговуємо режими різання для кожного випадку при точінні.

Таблиця 4.2

Оптимізовані режими різання токарних операцій на верстаті з ЧПК

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

1. Проаналізовані конструктивні особливості деталі, матеріалу та надана загальна характеристика об'єкта дослідження, виконаний якісний аналіз технологічності конструкції деталі.

2. Якісно виконана тривимірна модель у CAD-системі SolidWORKS за технічними вимогами кресленника і технічного завдання. Модель використовувалась як цифровий еталон у подальшому складанні технології автоматизованої обробки.

3. Складена оптимальна технологія механічної обробки деталі. Застосований прогресивний ріжучий інструмент стандарту ISO, оснащення для сучасного багатоцільового верстата з ЧПК. Програмна реалізація і комп'ютерний експеримент

з розрахунку автоматизованої технології механічної обробки реалізований у програмі Autodesk FeatureCAM.

4. Одержані чисельні результати досліджень для науково-обґрунтованого підходу у розв'язанні технічної задачі токарної обробки деталей з чавуну на багатовісних обробних центрах, що містять сукупність скорегованих методик та алгоритмів для прогнозування їхньої оброблюваності із забезпеченням надійності різального інструменту з твердих сплавів. Отримані результати порівнювалися з відомими роботами, пов'язаними з дослідженнями процесів механічного оброблення різних марок сталей, сплавів та чавунів, оцінкою надійності ріжучих інструментів, точності та шорсткості обробленої поверхні, результатами вимірювань силових параметрів різання. Максимальна відносна похибка розрахунків не перевищувала 5-8%.

5. Обґрунтований і встановлений повний системний зв'язок параметрів оброблення з властивостями оброблюваного матеріалу, геометрією інструменту, інструментального матеріалу і конструкторсько-технологічних чинників деталі на розрахунок оптимізованої технології токарної обробки.

6. Виконана методика значно спрощує громістки аналітичні розрахунки за класичними методами з купою виправних коефіцієнтів та враховує сучасну геометрію інструментів показники і режимів різання стосовно конкретної деталі та більш того, може буди адаптована до інших типів деталей типу тіл обертів різних галузей виробництва.

7. Надані практичні рекомендації щодо оптимального використання CAD-CAM систем, коригування результатів технології та режимних параметрів для отримання оптимальних результатів на стадії підготовки виробництва.

8. Виконане дослідження дозволяє моделювати абсолютно всі токарні роботи за рахунок застосування комп'ютерних програм в умовах дефіциту виробництва натурних експериментів та дистанційного навчання; індивіалізувати процес навчання та підвищити ефективність самостійної роботи учня або студента; надає змогу проводити дослідження в таких областях змінення параметрів, які неможливо або небезпечно реалізувати на реальному кошовному обладнанні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 8833:2019. Національний стандарт України виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=82147.
2. ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення. ДСТУ (Державний Стандарт України).
3. Технічне креслення. Розробка робочих креслеників деталей за креслеником загального виду [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О.Г.Гетьман, Н.В. Білицька, Г.В. Баскова. – Електронні текстові дані (1файл: 10,474Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 150 с.
4. Петраков Ю.В. Лабораторно-комп'ютерний практикум з теорії різання // Рекомендовано МОН України як навчальний посібник для вищих навчальних закладів (Лист МОН України №1.4/18-Г-212), Київ, Політехніка, 2006, 190с.
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, Січкап, 2011. – 220 с.

12. Дубовой В.М. Моделювання та оптимізація системи: підручник / Дубовой В.М., Кветний Р.Н., Михальов О.І., Усова А.В. – Вінниця: ПП «ТД 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. Дербаба, 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> .

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Перш. приміст.
Стор. №

Лист. і дата
Лист. і дата
Взам. шиф. №
Інв. № звіт.
Лист. і дата
Інв. № лист.

ММ

Цурів
1

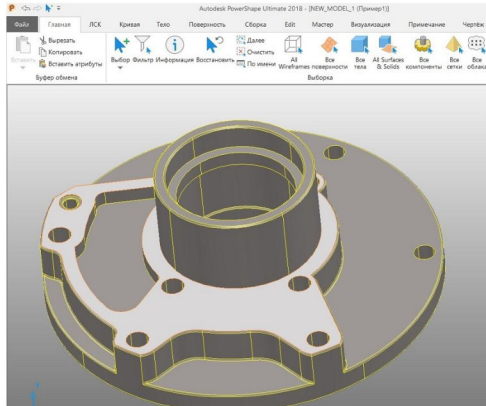
Масштаб

1:1

Лист. 1

ЗСЬКА

ка"



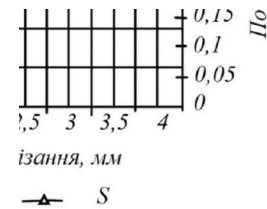
№ оп.	Най
005	Токарн
010	Токарн
015	Фрезерн
020	Сверли
025	Токарн Програ
030	Токарн
035	Токарн
040	Сверли
045	Контрс

Марш

Ек

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.



оптимального режиму різання
ч різання



Токарний обробний центр з ЧПК MAZAK