

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти магістра

Підвищення якості контурного оброблення фрезеруванням деревини на верстатах з ЧПК шляхом оптимізації стратегій та режимів різання
Назва теми

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Галузь знань 13 механічна інженерія
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 131 прикладна механіка
Шифр і назва спеціальності
Назва

Освітня програма «технології машинобудування»
Назва

Шифр ДРМ.ФІТА.ПМ.24.11.ПЗ

Виконав студент 2 курсу група
ПМТм-23-1 Шифр

Керівник канд. техн. наук, ст.викладач
Науковий ступінь, звання

Нормоконтролер канд. техн. наук,
доцент

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри
технології машинобудування
Назва

Дата «23» 12 2024

Владислав ЛОЄК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ


Підпис

Сава КОСТЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ


Підпис

Сергій БИСЬ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ


Підпис

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії транспорту та архітектури

Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Галузь знань 13 механічна інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 131 прикладна механіка

Шифр і назва

Освітня програма «технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

Віталій ТКАЧУК

2 . 09 .2024

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Лоєку Владиславу Михайловичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема дипломної Підвищення якості контурного оброблення фрезеруванням деревини на верстатах з ЧПК шляхом оптимізації стратегій та режимів різання керівник роботи Костюк Сава Андрійович, к.т.н.,

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 серпня 2024 р. № 60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 10 грудня 2024

3 Вихідні дані до проекту (роботи) зразки оброблених деталей фрезеруванням при різних режимах різання

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Загальний розділ
2. Технологічний розділ
3. Дослідницький розділ
4. Науковий розділ
5. Охорона праці

5 Перелік графічного матеріалу: огляд продукції (1 лист А1); недоліки та дефекти (1 лист А1); Аналіз структури (1 лист А1); інструмент та схеми обробки (1 лист А1); режими різання (1 лист А1); режими різання (1 лист А1); Створення програми у САМ (1 лист А1); результати адитивного фрезерування (1 лист А1).

6 Консультанти розділів дипломної роботи (за наявності)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата
2.09.2024

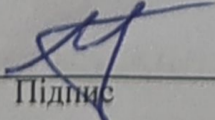
видачі

завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

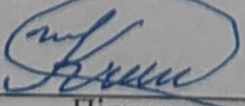
Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Загальний розділ	01.10.2024	
2 Технологічний розділ	01.11.2024	
3 Дослідницький розділ	20.11.2024	
4 Науковий	10.12.2024	
5 Охорона праці	15.11.2024	

Студент


Підпис

Владислав ЛОЄК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Сава КОСТЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Завідувачу кафедри
Віталію ТКАЧУКУ
здобувача вищої освіти студента
Владислава ЛОЄКА,
ФІТА, групи ПМТм 23-1

ЗАЯВА

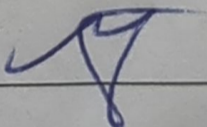
З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на академічний плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та/або Anti-Plagiarism) і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

25.12.2024

дата



підпис

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу Владислава Лоска Владислава

Тема роботи: «Підвищення точності фрезерування деревини на верстатах з ЧПК шляхом оптимізації стратегій та режимів різання»

Актуальність дослідження пов'язана з тенденцією розвитку промисловості, чим обумовлена потреба у вирішенні задачі переробки деревини й забезпечення процесу, який би забезпечував високі експлуатаційні та естетичні характеристики виробів після обробки.

У Розділі 1 своєї роботи Лоск Владислав провів детальний аналіз науково-технічної інформації за напрямком досліджень. У Розділі 2 наведено методику теоретичних та експериментальних досліджень. Проведено вибір заготовки та обґрунтування методу її отримання. Встановлено технологічні параметри для декоративного фрезерування деревини. Розділ 3 присвячено дослідженням та розробці методик проведення експерименту. Розроблено методики для технології адаптивного фрезерування з використанням оптичного розпізнавання структури заготовки. Визначено орієнтації волокон за допомогою Data-Centric Engineering Techniques а також розроблено код у Python, для аналізу структури деревини та розрахунку оптимальних режимів фрезерування. В науковому розділі розроблено G-код для фрезерування, оптимізовано керуючу програму на основі розпізнавання за допомогою додаткового коду Python та приведено результати досліджень.

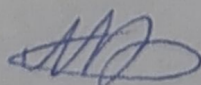
В розділі охорони праці проаналізовано ризики при роботі на деревообробному обладнанні та надано рекомендації

Робота має чітку й логічну будову. Достовірність отриманих результатів не викликає сумніву, оскільки дослідження базувалися на науково-обґрунтованих методиках із застосуванням сучасних комп'ютерного забезпечення, методів дослідження і вимірювання.

До недоліків варто віднести наявність поодиноких друкарських огріхів у роботі, що не знижують загальної цінності дослідження.

Беручи до уваги усе вищевикладене, вважаю, що магістерська робота Владислава Лоска виконана на високому рівні та заслуговує високої оцінки.

Рецензент:.



Моловцев В. В.

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатами звіту/звітів подібності щодо роботи, продукованими програмно-технічним засобом (ами) перевірки текстів на плагіат:

Назва кваліфікаційної роботи Підвищення точності фрезерування деревини на верстатах з ЧПК шляхом оптимізації стратегій та режимів різання

Автор Лоек Владислав Михайлович

Освітня програма технології машинобудування

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Науковий керівник: Костюк С.А

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	✓
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Дата

Завідувач кафедри

Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, прізвище

Гарант освітньої програми

Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, прізвище

Керівник кваліфікаційної роботи

Підпис

Сава КОСТЮК
Ім'я, прізвище

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Лоск Владислав Михайлович на захист дипломного проєкту (роботи)
(прізвище, ім'я, по батькові)
за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Підвищення точності фрезерування деревини на верстатах з ЧПК шляхом оптимізації стратегій та режимів різання

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету



ОЛЕГ ПОЛІЩУК

(підпис)

(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Лоск В. М. за період навчання на факультеті інженерії, транспорту та архітектури з 2023 по 2023 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за: національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 33,33 %, задовільно 66,67 %. шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 6,25 %, С 62,50 %, D 12,50 %, E 18,75 %.

Методист факультету

[Handwritten signature]

(підпис)

(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент

Лоск В.М. вчасно приступив до виконання роботи та завершив у необхідні терміни. Під час виконання роботи показав глибокі технічні знання та високі результати своєї інженерної роботи.

Оцінка дипломного проєкту (роботи)

Відмінно

Керівник дипломного проєкту

[Handwritten signature]

(підпис)

С.А. Костюк

(ім'я, прізвище)

" " 2024 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Лоск В. М. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

технології машинобудування

(назва)

[Handwritten signature]

(підпис, ім'я, прізвище)

" 23 " 12 2024 р.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	4
ABSTRACT.....	5
ВСТУП.....	7
ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Стан питання та визначення задач дипломного проектування.....	9
1.2 Огляд та аналіз технологій фрезерування деталей меблів з натуральної деревини із елементами декору за допомогою верстатів з ЧПК.....	11
1.3 Огляд сучасних систем керування верстатами з ЧПК	16
1.3.1 CLOBBI.....	16
1.3.2 CadStd.....	18
1.3.3 CutViewer	19
1.3.4 SimplyCam.....	21
1.3.5 ArtCAM Pro.....	22
1.3.6 Система LinuxCNC	24
1.3.7 Mach4	25
Висновки до розділу 1.....	26
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	27
2.1. Технології виробництва виробів із декоративними елементами.....	28
2.2. Вибір заготовки та обґрунтування методу її отримання.....	28
2.3 Вибір технологічних параметрів для декоративного фрезерування деревини.....	34
2.2.1 Вплив режимів різання.....	37
Висновки до розділу 2.....	42
3 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	43
3.1.1 Методика проведення експерименту та експериментальні дослідження.....	43
3.2. Розроблення методики для технології адаптивного фрезерування з використанням оптичного розпізнавання структури заготовки.....	49
3.2.1 Визначення орієнтації волокон за допомогою Data-Centric Engineering Techniques	51

3.2.2 Розроблення коду у Python, для аналізу структури деревини та розрахунку оптимальних режимів фрезерування деревини на верстатах з ЧПК.....	52
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	56
4. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ	57
4.1 Експериментальні дослідження та практична оцінка працездатності й ефективності запропонованої технології адаптивного фрезерування	57
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4.....	64
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	65
5.1.1 Аналіз технологічного процесу з точки зору безпеки праці.....	65
5.1.2 Заходи з безпеки праці	67
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5.....	69
Список джерел посилання	70
ДОДАТКИ	72
ДОДАТОК А	73
ДОДАТОК Б.....	75
ДОДАТОК В.....	77
ФРАГМЕНТ КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ.....	77

ВСТУП

На сьогодні існує значна кількість матеріалів, які використовуються в рамках проектування та відтворення різних технологічних та дизайнерських рішень, які останнім часом є все більше наближені до модернізованого хай-теку. Поширеними стали рекламні ролики у соціальних мережах де присутні фрагменти відображених елементів декору античних часів на деревині різних пород, коли йде мова про дизайн та декорацію оселі. Більш статусного матеріалу для підкреслення декоративного смаку і заможності не має, окрім благородних металів.

Ручна робота цінується більше за машинну, на сьогоднішній час є популярною, але дуже затратною.

Найбільш простим та економічно доцільним у даній сфері діяльності є верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). На перший погляд для виготовлення таких речей вибір верстатів з ЧПК є ідеальним рішенням, і це дійсно так, але дизайн інтер'єру та інших декоративних виробів із складним високо естетичним декором є індивідуальним і масовому чи серійному виробництву належить.

Відповідно до останніх маркетингових досліджень в Україні, зростає попит на меблі з декоративними елементами із складним та високоестетичним декором а також на такі вироби як: шкатулки, підсвічники, статуетки, художні композиції та інше.

На даний час у масовому та серійному виробництві меблів, декоративне фрезерування здійснюють на попередньо підготовлених заготовках з елементів із заданою орієнтацією волокон, режими фрезерування вздовж і поперек волокон підбирають експериментальним шляхом, або з попереднього досвіду. У дрібносерійному та індивідуальному виробництві фрезерування здійснюють з постійними технологічними параметрами (швидкість подачі, частота обертання фрези), але через анізотропію структури заготовки,

механічні властивості та якість обробки поверхні є різними як вздовж так і поперек волокон.

При декоративному фрезеруванні деревини на верстатах з ЧПК фреза рухається у просторі за складною траєкторією з одночасною зміною від двох до п'яти координат. При обробці ділянок виробу з деревини із малим радіусом кривизни через різні технологічні параметри та локальній структурі поверхні утворюються сколи або інші дефекти, які призводять до браку або потребують додаткових зусиль на відновлення.

Особливо вираженими є дефекти при фрезеруванні малоцінної деревини, яка має низькі механічні властивості і суттєву неоднорідність структури, тому фрезерування із таких заготовок є складним, рисунок 1.



Рисунок 1– Статуетка «мамонт», ліворуч обробка ЧПК, праворуч ручна робота

Також останнім часом є попит на меблі з деревини з сучками, що є естетично цінним. Області деревини поблизу сучків є особливо чутливі до режимів фрезерування.

Технології адаптивного фрезерування, можуть підвищити продуктивність процесу, зменшити шорсткість поверхні, зменшити кількість сколів та інших ушкоджень, та підвищити точність обробки. Насамперед, такі технології можуть бути корисні для одиничного виробництва, де немає можливості підбирати режими фрезерування дослідним шляхом, а потрібно на першій неорієнтованій заготовці отримати якісну поверхню.

ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Стан питання та визначення задач дипломного проектування

Приватне підприємство «Корпусула», яке знаходиться у м. Хмельницький займається виготовленням дверей, вікон та інших виробів з деревини та металопластику.

При виготовленні продукції з деревини підприємство використовує стандартні шаблони із стандартними режимами різання, що ускладнює обробку заготовок із малоцінної деревини і як наслідок, не забезпечує ні точності, ні якості.

Тема дипломного проекту «Підвищення продуктивності та точності оброблення декоративних елементів виробів із дерева на верстатах з ЧПК шляхом застосування ArtCAM»

В дипломному проекті потрібно поліпшити технологічний процес оброблення виробів із деревини, використовуючи верстати з ЧПК враховуючи анізотропію структури.

Для роботи на верстатах з ЧПК необхідні керуючі програми, які відповідають за створення нових макетів майбутніх виробів, введення команди керування верстатом та вірне розпізнавання мови програмування.

Керуючі програми верстатом забезпечують автономне оброблення заготовок. Дане ПЗ включає в себе комплекс команд, які безперервно поступають на верстат із ЧПК.

Дані команди дозволяють в автоматичному режимі виконувати наступні операції:

- 1) змінювати положення інструментів у системі координат;
- 2) змінювати положення заготовки в системі координат;
- 3) задавати швидкість обробки заготовки;
- 4) проводити заміну інструменту (свердла, фрези).

5) автоматично знімати і передавати готову деталь на конвеєр.

б) автоматично брати та встановлювати нову заготовку.

Відомі існуючі технології фрезерування деревини за допомогою верстатів з ЧПК розроблені: Гордиенко В.В., Мовніним М.С., Петровским В.С., Єфімовою Т.В., Разіньковим Е.М., Хуажевим О.З. та інші.

Процесами механічної обробки деревини вивчались Любченко В.И., Памфіловим Е.А., Пиріковим П.Г. та інші.

Вплив анізотропії структури деревини на її механічні властивості вивчався в роботах Перелигіна Л.М., Тамбі А.А., Торопова А.С., Уголева Б.Н., Чубинського А. Н.

Питанням формування високоякісної заготовки із деревини займались: Косіченко Н.Е., Кісельова А.В., Снігірьова С.Н., та інші.

Однак на даний час відсутні розробки регулювання технологічних параметрів в залежності від зміни структури деревини для декоративного фрезерування.

Метою роботи є підвищення продуктивності та якості декоративного фрезерування складних елементів з дерева.

Об'єктом дослідження є технологія декоративного фрезерування деревини.

Предметом дослідження є макроструктура поверхні деревини і технологічні параметри фрезерування

Задачі дослідження.

Встановити закономірності впливу макроструктури деревини і технологічних параметрів процесу фрезерування на якість оброблюваної поверхні.

Розробити технологію адаптивного декоративного фрезерування деревини та надати рекомендації щодо її застосування.

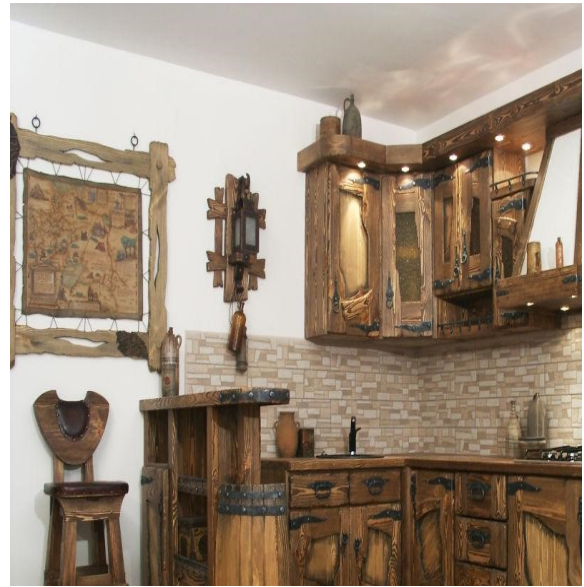
Практичне значення полягає у встановленні впливу параметрів макроструктури деревини та технологічних параметрів процесу фрезерування на якість готової продукції. Розроблено нову технологію фрезерування.

1.2 Огляд та аналіз технологій фрезерування деталей меблів з натуральної деревини із елементами декору за допомогою верстатів з ЧПК

Вироби із декоративними елементами і складним високоестетичним декором на даний час набувають популярності як в Україні так і за межами (рисунок 1.2).



а



б



в



г

Рисунок 1.2 – Вироби із дерева

а– ліжка, б– меблі, в – шкатулки, г– двері

Для створення елементів складного декору застосовують фрезерні верстати із ЧПК.

Попитом користуються вироби як з двовимірною фрезерною обробкою (рисунок 1.3 а), так і тривимірною (рисунок 1.3 б).



Рисунок 1.3 – Вироби з дерева із двовимірним та тривимірним фрезеруванням

Фрезерування декоративних елементів – надзвичайно складний технологічний процес, який має ряд вимог до геометричних параметрів і ступеня заточування. фрези, частоти обертання, подачі, точності позиціонування а також дискретності переміщення фрези. При декоративному фрезеруванні на верстатах з ЧПК фреза рухається у просторі за складною траєкторією одночасною в двох або п'яти координат (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4– Дільниця фрезерування декоративних елементів на верстаті з ЧПК

При середньосерійному та дрібносерійному виробництві меблів, освоєння нових декоративних елементів меблів вимагає значних трудозатрат та псування деревини на відпрацювання технології.

Для підвищення керованості процесу і повторюваності результатів до технологічної операції фрезерування проводять попередню підготовку меблевих заготовок. Вона полягає в склеюванні окремих заготовок із строго підбраною орієнтацією волокон [1,2]. Більшість декоративної обробки зводиться до лінійного фрезерування профільними фрезами. При цьому подача фрез здійснюється переважно строго вздовж і поперек волокон [3,4].

Технологічні параметри фрезерування, частоту обертання і швидкість подачі фрези, як вздовж так і поперек волокон підбирають експериментальним шляхом. Що призводить до постійного коригування параметрів для підвищення продуктивності та зменшення браку виробництва.

При одиничному виробництві немає можливості попередньо відпрацювати технологічні режими експериментальним шляхом. Тому фрезерування проводять із постійними технологічними параметрами (швидкість подачі і частота обертання), які забезпечують задовільну шорсткість поверхні, продуктивність, та низький відсоток браку. Однак через анізотропію структури якість обробки поверхні різна вздовж та поперек волокон.

При одиничному виробництві не можливо дібрати алгоритм зміни технологічних параметрів у процесі фрезерування декоративного елемента. Тому при фрезеруванні декоративних частин з малим радіусом кривизни (рисунок 1.5) через невідповідність технологічних параметрів та зміній структурі поверхні, часто утворюються сколи та інші дефекти, які призводять до браку або потребують додаткових операцій на виправлення браку (рисунок 1.6)



Рисунок 1.5– Зовнішній вигляд деталі з декоративним візерунком

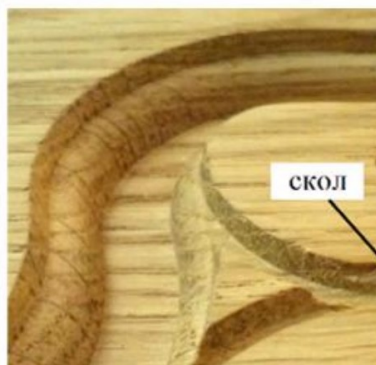


Рисунок 1.6 – Скол під час руху фрези вздовж волокон із невідповідними технологічними параметрами (завищеною швидкістю).

Додаткові труднощі виникають при обробленні малоцінної деревини, яка суттєву неоднорідність структури. Також останніми часом популярності набрали вироби із сучками, які становлять естетичну цінність (рисунок 1.7).



Рисунок 1.6 – Виріб із сучками, який потребує змінних режимів фрезерування.

Область деревини поблизу сучка дуже чутлива до режимів фрезерування.

1.2.1 Особливості та призначення декоративних елементів меблів

Як зазначає Барташевич А.А. [8], своєрідність форми виробу забезпечується декоративними елементами. Для цього використовуються різні властивості матеріалів або спеціальні прийоми декорування. Придання виробу відповідного зовнішнього вигляду називається декоруванням [9]. Для забезпечення естетичних якостей сучасних виробів із деревини сприяють різні компоувальні та планувальні рішення.

Декоративні вироби з деревини включають усі види впливу на поверхню, які спрямовані на вдосконалення декоративно-художніх властивостей.

У роботі [12] класифікують обробку декоративних виробів за функціональним значенням. Одним з декоративно-художнього оздоблення є створення рельєфу на поверхні.

Так як, декоративно-художні переваги деревини визначаються її текстурою та кольором, її природною будовою, формою стовбура і методом обробки, тобто обробка деревини має здійснюватися за допомогою художньо-конструкторських методів з врахуванням властивостей заготовки, а також експлуатаційних, функціональних, техніко-економічних вимог до виробу [19].

Отже, при проектуванні нового декору доцільно використовувати сучасне програмне забезпечення для векторизації фотографій декоративних елементів виробів з подальшою автоматизованою розробкою керуючих програм.

1.3 Огляд сучасних систем керування верстатами з ЧПК

1.3.1 CLOVBI

Система CLOVBI, дозволяє не лише планувати виробництво, а й контролювати перебіг операцій. Але має значний недолік це слабкий зв'язок із фізичною частиною виготовлення деталей, що унеможлиблює безпосередній запуск програми на деяких верстатах.

Однак є значні переваги, це моніторинг роботи верстатного парку, і безпосереднє планування роботи обладнання.

- можливість проводити розрахунки оптимальних планів виробництва.
- можливість контролювати кількість виробництва продукції, при чому розраховується потрібна кількість продукції за певний час і з мінімальними затратами.
- можливість здійснювати контроль виробництва, CLOBBI сформує завдання на кожну зміну для кожного робітника, яке прийде у додаток на мобільний телефон.
- можливість повністю відстежувати партії у виробництві, а також контролювати на якому виробничому етапі знаходиться деталь.
- можливість створити 3D-цех, який забезпечить контроль виробництва на відстані із смартфона або комп'ютера;
- можливість інтеграції із різними системами 3D-проектуювання (рисунок 1.7).
- можливість планувати виробництво (рисунок 1.8).

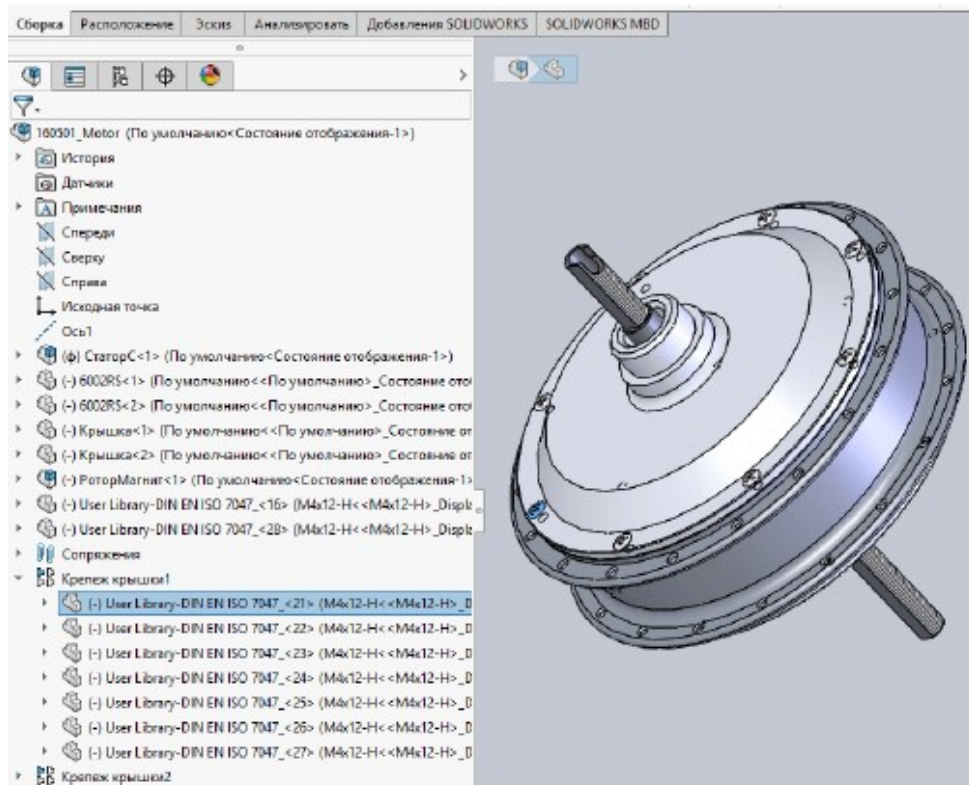


Рисунок 1.7 – Інтерфейс програми при роботі з моделями

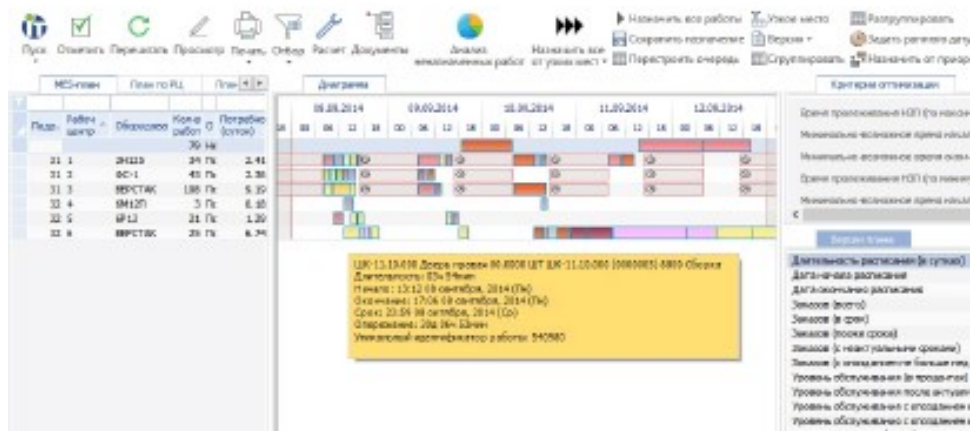


Рисунок 1.8– Интерфейс програми при роботі з плануванням виробництва

Оперативне планування виробництва та збуту готової продукції, полягає в постановці та доведенні конкретних виробничих завдань до кожної ланки виробництва. Програма розподіляє одну головну задачу на підзадачі та встановлює плани на кожну з них.

Програма забезпечує ведення календарного та об'ємного планування виробництва, а також забезпечує диспетчеризацію (контроль продажу продукції).

1.3.2 CadStd

CadStd – проста програма САПР для створення конструкцій, креслень, схем за стандартом ANSI. За допомогою програми можна створювати ізометричні проєкції з різних видів, яка має такі команди, як зміщення, обрізка, скругрення і фаска.

CadStd дозволяє копіювати, експортувати малюнки у формати DXF, SVG, HPGL, або імпортувати файли у формати DXF, HPGL і Gedcom.

Одна з переваг CadStd це можливість швидкого, і простого створення, різноманітних моделей.

Інтерфейс програми CadStd наведено на рисунку 1.9.

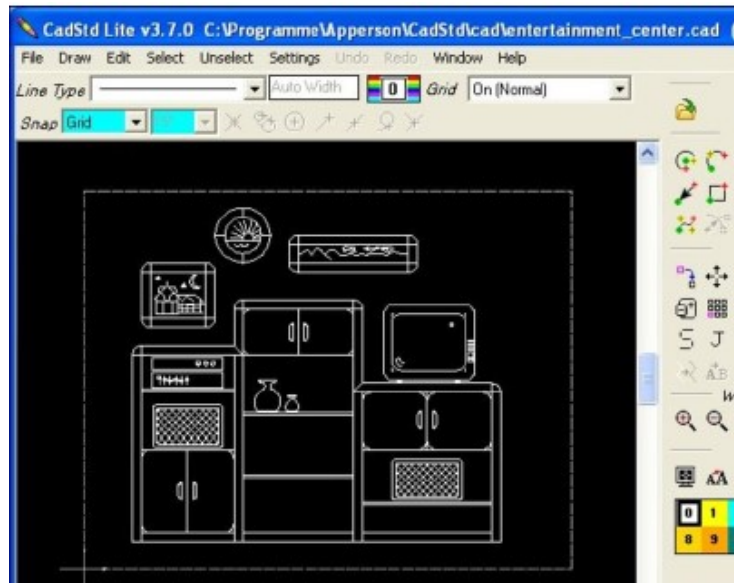


Рисунок 1.9 – Інтерфейс програми CadStd

Основним недоліком є те, що програма розрахована для роботи з 2D зображеннями, а тривимірні об'єкти створити неможливо, відповідно унеможлиблюється обробка з тривимірних моделей

1.3.3 CutViewer

CutViewer проста для використання програма, яка імітує процес оброблення з видаленням матеріалу у 2х або 3х координатах верстата з ЧПК і надає візуалізацію оброблюваної заготовки. Інтерфейс програми наведено на рисунку 1.10.

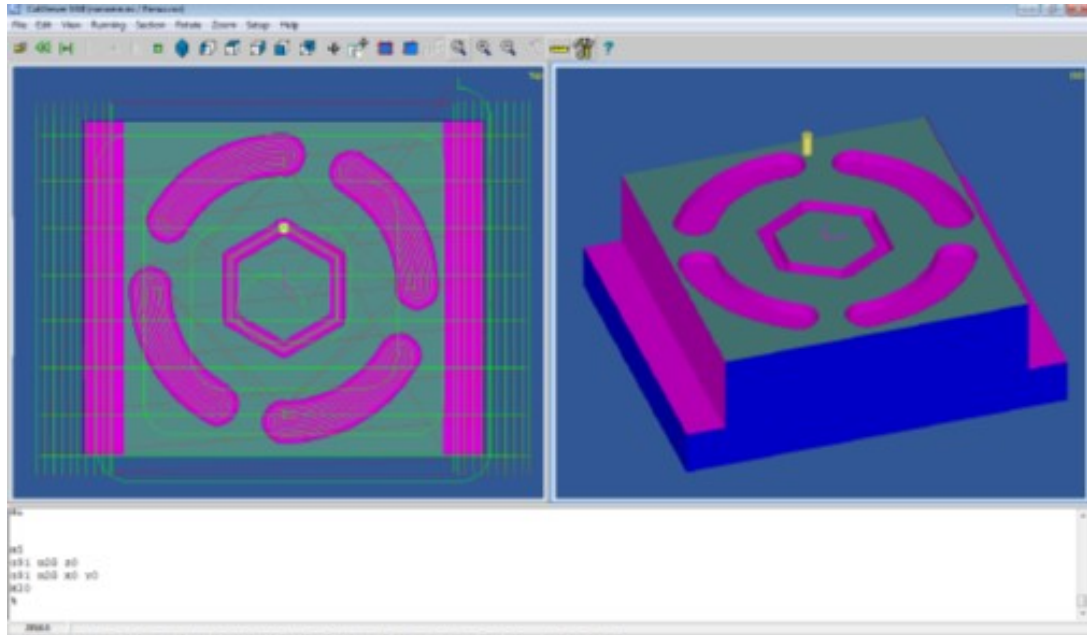


Рисунок 1.10 – Інтерфейс програми CutViewer

При використанні CutViewer можна значно збільшити продуктивність праці, заздалегідь розпізнати та усунути помилки в керуючій програмі, а також мінімізувати час налагоджувальних робіт. Програма дозволяє корегувати траєкторії інструменту, виявити небажане врізання інструменту в заготовку на прискорених подачах, провести розрахунок часу, необхідного на відпрацювання керуючої програми.

CutViewer має здатність виявляти помилки і їх усувати до початку обробки, тим самим, заощаджуючи ресурси виробника.

Можливість редагування спрощує аналіз і коригування керуючої програми, що полегшує знаходження помилок у файлі та їх виправляти не виходячи з режиму імітації в режимі реального часу.

Основними перевагами CutViewer:

- швидкий перегляд з можливістю зупинки, перегляд процесу оброблення у різних позиціях.
- розріз заготовки для зручності перегляду та аналізу обробки складних конфігурацій.

- зміна швидкості імітації оброблення.
- дозволяє додавати нові постпроцесори у список сумісних.

1.3.4 SimplyCam

SimplyCam – CAD/CAM система для створення 2D та 3D траєкторій оброблення на верстатах з ЧПК. Побудова геометричних деталей виконується інструментами безпосередньо програми або з допомогою файлів експортованих з інших додатків

Основні характеристики SimplyCam [6]:

- SimplyCam дозволяє створювати, редагувати, відкривати і зберігати креслення в стандартному форматі – DXF;
- можливість відкривати і працювати з файлами формату SVG;
- можливість конвертувати або векторизувати растрові зображення у вектори, проводити трасування по середній лінії та по контуру, розпізнавати округлення, дуги, кола;
- можливість масштабувати, обертати, відзеркалювати, переносити і зсувати або створювати cad-елементи:
 - лінії, прямокутники, дуги, еліпси, полілінії та сплакни, замінити функціями:
 - конвертувати шрифти в вектори;
 - генерувати команди G-кодів для фрезерних, гравірувальних, лазерних, плазморізів, а також токарних верстатів з ЧПК;
 - в SimplyCam можливе управління у форматі G-коду з інших систем, спс-імітація та конвертування. Інтерфейс програми зображено на рисунку 1.11

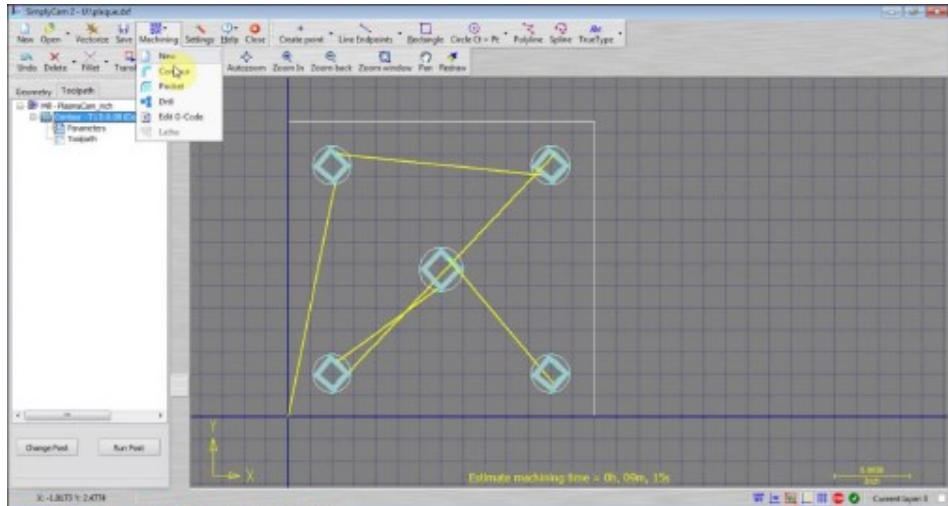


Рисунок 1.11 – Інтерфейс програми SimplyCam

- SimplyCam включає великий набір постпроцесорів таких систем як: Fadal, AUTOGRAV, Haas, Fanuc, Emc2, Heidehain, ISO, Mach2/3, KCam, PlasmaCam, MaxNc, Selca, ProtoTrak, ShopBot, Siemens, Tecno-ISEL, TurboCnc;

1.3.5 ArtCAM Pro

ArtCAM Pro — програмний пакет для просторового моделювання та механічної обробки заготовок, який автоматично генерує просторові моделі із рисунку, для отримання деталі на верстатах з ЧПК

Інтерфейс ArtCAM Pro наведено на рисунку 1.12.

ArtCAM включає:

Інструменти для обробки растрових і векторних зображень, створення текстових написів та двомірних ескізів;

Алгоритм для розрахунку оптимального маршруту фрези – можливість розбивки етапу на деякі цикли за допомогою різних фрез для скорочення часу циклу;

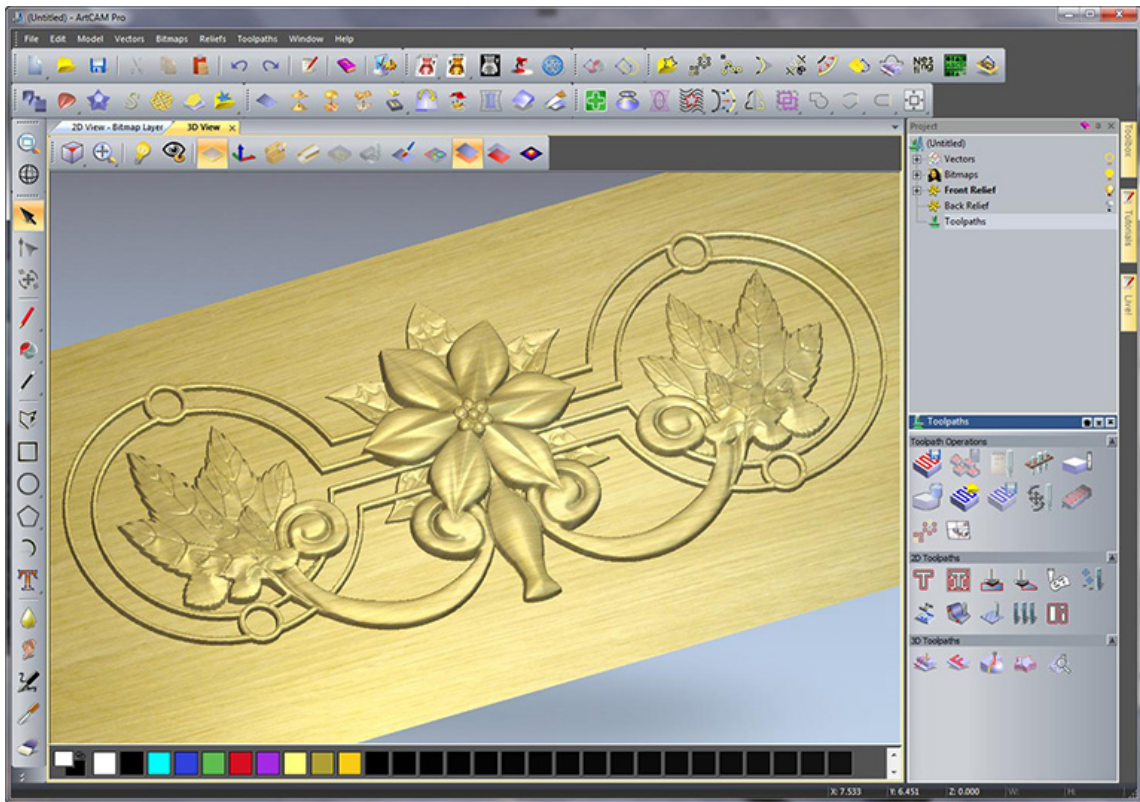


Рисунок 1.11 – Інтерфейс програми ArtCAM Pro

Майстер автоматичного створення дизайнерських вставок, накладок;

Засоби фігурного обходу кромки – для створення об'ємного текстового напису;

Засоби «експрес гравіювання» для оперативного створення зображень;

Automatic Toolpath Panelling – технологія оптимізації маршруту руху фрези для оброблення масивного виробу із автоматичним підлаштуванням до розмірів робочого столу верстата;

Засоби візуалізації і моделювання оброблення – для оцінки результату, ще до початку обробки;

Генератор статистики для отримання даних, про час кожного етапу для оцінки та планування процесу виробництва;

Незалежно від виду готового виробу та марки фрезерного верстата, принципова схема використання програми ArtCAM наступна.

На основі зображення (наприклад, векторного малюнка, фотографії або простого начерку) створюємо робочий ескіз. ArtCAM дозволяє працювати з готовими імпортованими зображеннями (з графічних форматів – bmp, jpeg, tif, gif, «креслярських» файлів – dwg, dxf, eps), або створювати ескізи з початку.

Плоский робочий ескіз перетворюємо на 3D-модель. Інструмент JewelSmith допомагає у створенні складних «глибоких» об'єктів (таких як художні барельєфи) з допомогою інтерактивного скульптора.

База даних програми містить безліч різних текстур, візерунків для створення дизайнерських моделей.

На основі підготовленої моделі, майстер здійснює розрахунок траєкторії руху фрези, використовуючи свою базу даних. ArtCAM запропонує оптимальний варіант як для чорнових так і чистових проходів залежно від виду виробу, типу верстата, ріжучого інструмента, що застосовується.

Крім цього, ArtCAM дозволяє розраховувати такі параметри як масу та об'єм готового виробу з врахуванням припусків на чорнову і чистову обробку.

Точна візуалізація дозволяє оцінити модель та вносити зміни до проекту, ще до етапу виготовлення, без необхідності виготовляти пробні вироби.

1.3.6 Система LinuxCNC

LinuxCNC – це програмна система для комп'ютерного керування такими верстатами як: фрезерні верстати, токарні верстати, плазморізи, ріжучі верстати, роботи, тощо.

Програма має безліч цікавих функцій та надає багато нових функцій таких як: гнучкий і потужний рівень апаратної абстракції, який дозволяє адаптувати його до різного обладнання, програмний контролер PLC, проста встановлені на комп'ютер.

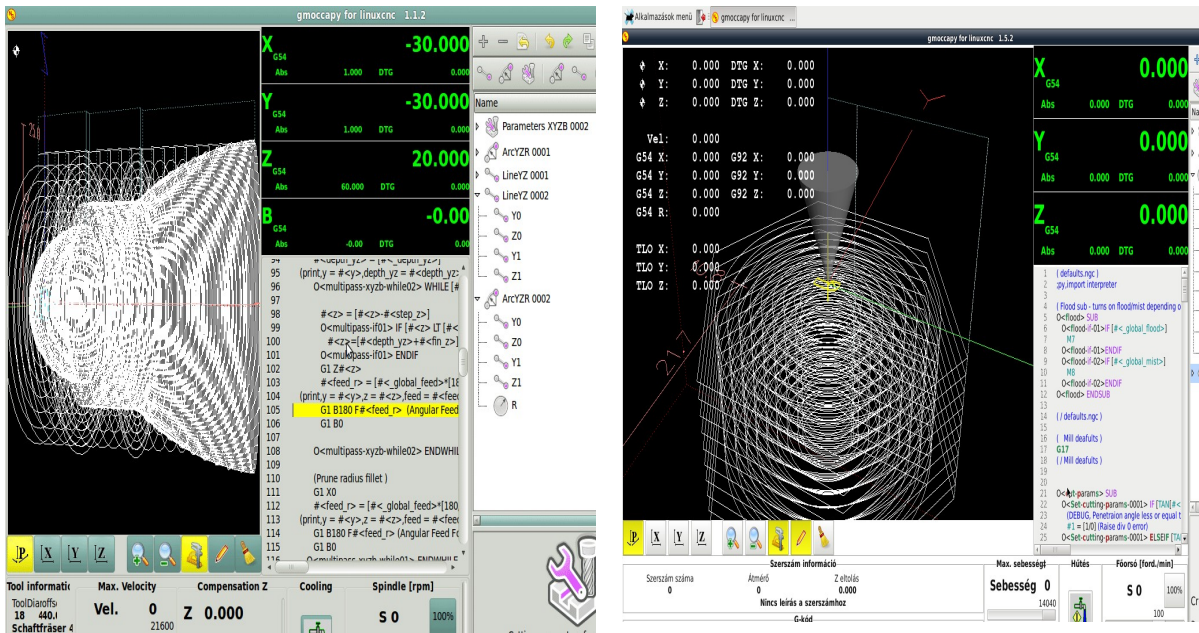


Рисунок 1.12 – Інтерфейс програми LinuxCNC

Інтерфейс програми переважаний інформацією та не зрозумілий для користування (рисунок 1.12), модель відображається набором ліній та дуг, за якими буде рухатись інструмент, що ускладнює розуміння як виглядає деталь.

Ще один недолік, програма працює виключно на операційній системі Linux.

1.3.7 Mach4

Mach4 версія програмного забезпечення для верстатів із ЧПК. Mach4 є наступником програмного забезпечення Mach3(рисунок 1.13).

Mach4 сумісний із різними типами верстатів, таких як, фрезерні, лазерні, токарні, плазмові, гравірувальні, та інші.

Mach4 забезпечує:

- точну траєкторію руху інструменту при при обробці різних розмірів;
- синхронізований рух шістьох систем координат;

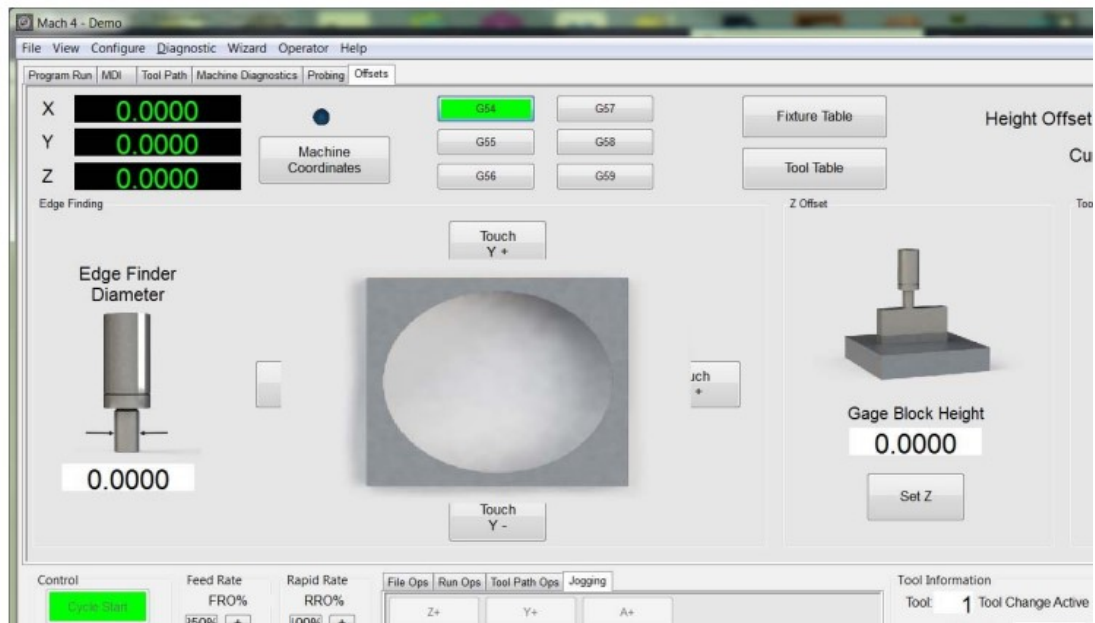


Рисунок 1.13 – Інтерфейс Mach4

- IPC-технологія розрахована на віддалену роботу;
 - Доступна панель інструментів для масштабування, обертання, перегляду траєкторії руху інструмента;
- У програми є дві версії:
- Hobby повнофункціональна версія програмного забезпечення, яка розроблена для початківців у верстатів з ЧПК.
 - Industrial платна версія, яка відрізняється від попередньої об'ємом інструментів та підтримкою, яка надається користувачу.

Висновки до розділу 1

На основі аналізу літературних джерел можна стверджувати, що на даний час технології фрезерування є досить актуальними, тому що існуючі технології не враховують структуру заготовки в процесі обробки.

Естетична цінність виробу досягається за допомогою декоративних елементів. Для цього використовуються різні матеріали із різними властивостями або спеціальні технології декорування. Для забезпечення естетичної цінності виробів використовують різні компоувальні та планувальні рішення, це різноманітність у поєднанні кольору та їх захист від впливу зовнішнього середовища. При виробництві декоративних елементів складної форми необхідно, правильно обрати різальний інструмент, параметри та режими різання. При програмуванні переміщення інструменту потрібно забезпечувати точне управління мінімум за трьома координатами.

Отже при розробці нового декору при мінімальних затратах, доцільно використовувати сучасне програмне забезпечення, для векторизації фото декоративних елементів з подальшим автоматизованим розробленням керуючих програм для верстатів з ЧПК.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Технології виробництва виробів із декоративними елементами.

Одним із способів художнього оздоблення виробів це створення декоративного рельєфу на поверхні деталі. Найбільші декоративно-художні переваги на сьогодні має деревина, оскільки має сукупність фізичних властивостей, природну будову, форму стовбура, тому оброблення деревини має здійснюватися з врахуванням естетичних властивостей заготовки, а також експлуатаційних, функціональних, техніко - економічних вимог.

На сьогодні виділяють основні технології обробки деревини:

- фарбування барвниками, протруйне фарбування або відбілювання;
- тиснення рельєфних малюнків на плиті;
- Виконання рельєфних (об'ємних) декоративних елементів за допомогою верстатів з ЧПК.
- піскоструминна обробка поверхні, для нанесення складних декоративних зображень;
- різьблення, мозаїка та розпис;
- Застосування накладних декоративних елементів;
- гаряче пресування деревини;
- Випалювання;

Перераховані види технологій характеризують усі способи виготовлення виробів з декоративними елементами. Але найбільший попит сьогодні на вироби з індивідуальними декоративними елементами (одиничне виробництво), тому доцільно використовувати верстати з ЧПК.

Отже, автоматизовані технології виробництва виробів із декоративними елементами мають переналаштовуватись для кожного індивідуального замовлення та забезпечувати високу якість виробу.

2.2. Вибір заготовки та обґрунтування методу її отримання

Новітні технології та верстати з ЧПК значно спростили роботу по дереву.

Дерево вважається зручним, практичним та естетично привабливим матеріалом, але якщо проаналізувати технологію, то вона значно складна і залежить від 3D-моделі, від структури деревини.

Заготовки з деревини класифікуються за щільністю сортів дерева:

- м'які породи (осика, липа);
- універсальні (береза, клен);
- тверді сорти (бук, дуб, червоне дерево);
- волокнисті породи (сосна, ялина та інші хвойні).

У процесі фрезерування деревини, орієнтація волокон деревини в при поверхневому шарі є змінною [13, 14]. Механічні властивості деревини залежать від її макроструктури. Вплив орієнтації волокон на фізико-механічні властивості (щільність, твердість, міцність тощо) досліджено у працях [15, 16].

Деревина є анізотропним матеріалом. Через сильно виражену симетрію вздовж осі стовбура дерева, спостерігається наявність річних шарів, що спричиняє істотну відмінність властивостей деревини в поздовжньому, радіальному та тангенціальному напрямках.

Ще одним показником, на якому варто зупинити увагу це вологість сировини.

Є певні сорти, які від природи з підвищеною вологою, і їх складно висушити. Деякі заготовки можуть бути занадто вологими, через зберігання в приміщеннях з підвищеною вологістю. Варто враховувати, що заготовки з однієї породи дерева можуть бути різної вологості, що вплине на якість готового виробу.

Породи дерева розрізняються за:

- кольором;
- малюнком та фактурою;

- щільністю та здатністю до розколювання.

На результат обробки заготовки на верстаті з ЧПК впливають такі фактори, як вік дерева та місце його зростання.

Основні властивості деревини різних порід, приведені в таблиці 1.

Таблиця 1– Характеристики деревини

Основні фізико-технічні характеристики деревини							
Порода	Міцність кгс/см ²				Щільність кг/м ²		
	Стиск вздовж волокон	На згин	На скол		При вологості 12%	Абсолютно суха	Умовна
			Радіальна площина	Тангенціальна площина			
Береза	44,7	99,7	8,5	11,5	630	600	500
Бук	55,5	108,5	11,6	11	670	640	530
Дуб	52,0	93,5	8,5	10,4	690	650	560
Сосна	43,9	79,3	6,9	8,0	500	470	400
Липа	39	68	7,3	8,7	495	640	400
Ясен	51	115	13,8	13,3	680	640	550
Клен	54	109,7	8,7	12,4	690	650	5520
Вільха	36,8	69,2	-	-	520	490	420

Аналіз даних, наведених у таблиці 1.1, показує що міцність деревини вздовж волокон приблизно в рази більша за міцність впоперек волокон. У поперечному напрямку міцність більша ніж в радіальному напрямку. Хвойні породи порівняно з листяними мають значно меншу міцність на розтяг.

Для більшості порід деревини немає різниці між твердістю радіальної та тангенціальної площинами, але у порід з добре розвиненими серцевинними променями (дуб, бук) твердість в радіальній площині на 5–10 % вище, ніж твердість в тангенціальній площині.

Опір деревини розколюванню також залежить від орієнтації поверхні. Для таких порід як (акація біла, бук, дуб, береза, липа) опір розколюванню

суттєво змінюється в залежності від радіальної або тангенційної площин – на 20–40 % [34]. Для хвойних порід (сосна, ялина, та інші) відмінностей в радіальній та тангенціальній площинах немає.

Приведені вище дані розглядалися в припущенні, що властивості деревини залежать тільки від напрямку по відношенню до вісі симетрії (рисунок 2.1).

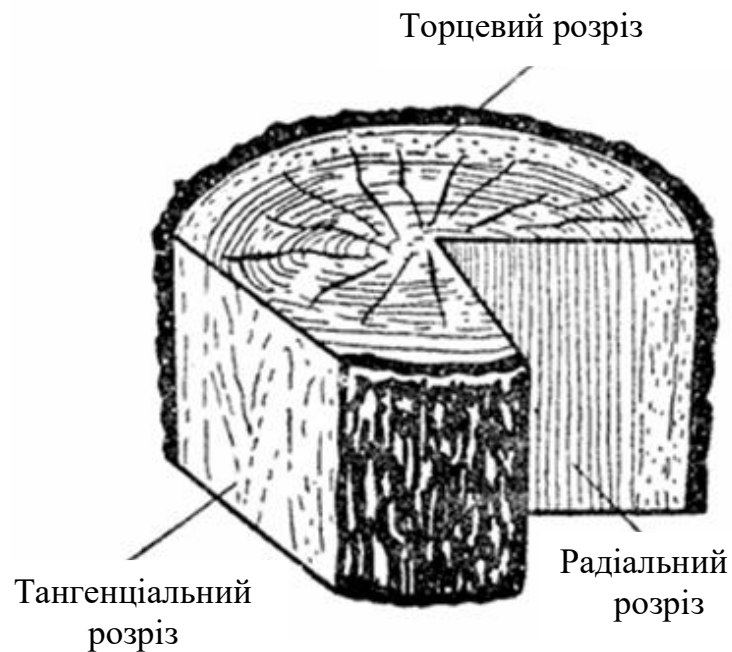


Рисунок 2.1 – Розріз деревини відносно вісі симетрії

Але для реальних виробів з деревини механічні властивості істотно змінюються, наприклад, щільність деревини змінюється вздовж радіусу стовбура (рисунок 2.2), у хвойних і листяних порід.

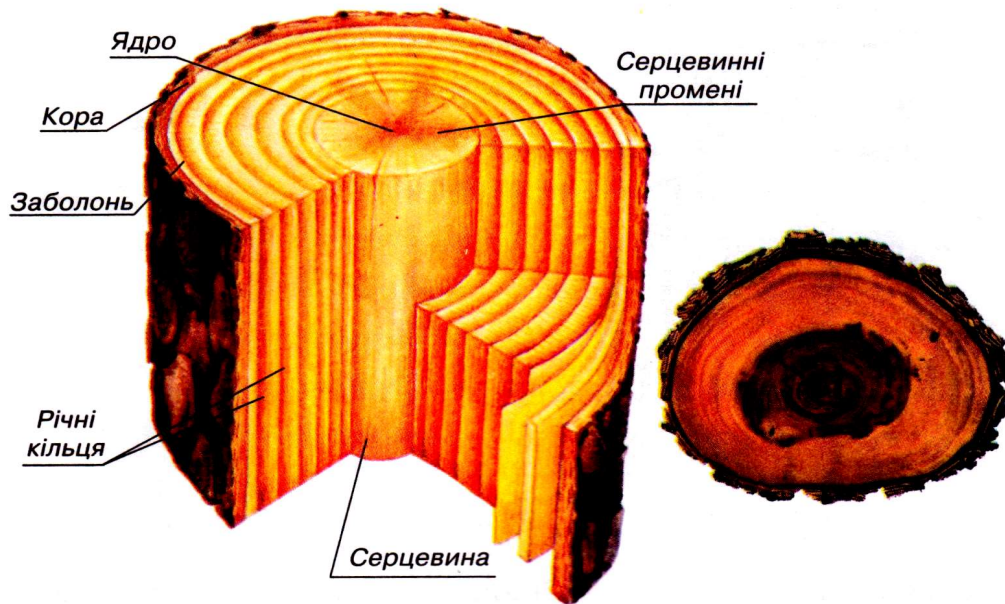


Рисунок 2.2 – Зміна властивостей деревини вздовж радіусу

Крім квазіперіодичних піків щільності від річних кілець, середня щільність змінюється за радіусом приблизно на 30–50 %, також можна стверджувати про різні властивості серцевини, ранню і пізню зони в залежності від будови стебла (рисунок 2.3).

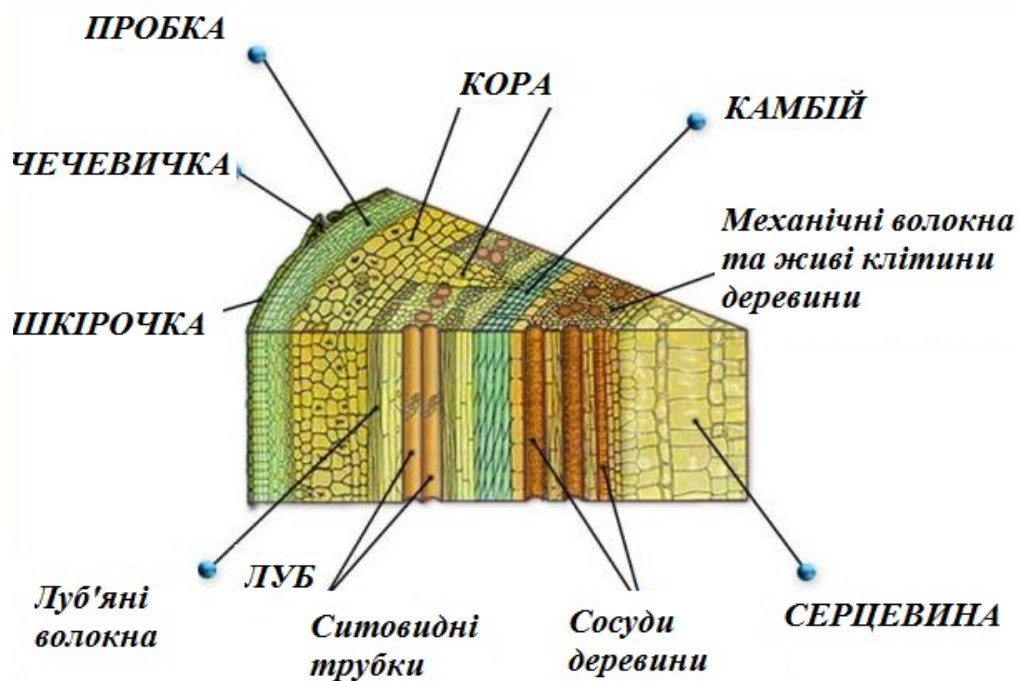


Рисунок 2.3 – Будова стебла

При фрезерній обробці деревини на поверхню виходять ділянки з різною середньою щільністю і різною відстанню між річними шарами, тому локальні умови роботи фрези значно різняться, що ускладнює обробку.

Ширина річного шару може змінюватись, наприклад, для сосни звичайної ширина річного кільця в межах одного зрізу змінюється від 1 до 4 мм. (рисунок 2.2)

Статична твердість деревини залежить від орієнтації поверхні.

Кожен сорт деревини має специфічні особливості, які варто врахувати при фрезеруванні. При ручній обробці, майстер ріже ручним інструментом і відчуває силу різання та приймає рішення корекції малюнку або сили різання.

В той же час верстат не може зупинитися під час роботи, щоб проаналізувати зусилля різання та запропонувати оператору альтернативний спосіб різання. Він просто відпрацьовує завантажену програмою за певною 3d моделлю для ЧПК.

Дерево - матеріал, який не стає морально-застарілим, завжди залишається і легкий порівняно з металами та камінням, легко обробляється.

Універсальними породами деревини вважаються дуб, бук, клен та ясен. Ручна обробка даних порід занадто трудомістка, а гострі фрези верстата з ЧПК обробляють ідеально. У результаті готовий виріб виходить якісним та довговічним;

На практиці встановлено, що з бюджетних варіантів деревини для обробки на верстатах з ЧПК найкраще підходить береза, а з дорожчих – бук, дуб, ясен та сосна.

2.3 Вибір технологічних параметрів для декоративного фрезерування деревини.

При декоративному фрезеруванні, потрібно корегувати технологічні параметри обробки в залежності від локальних особливостей декоративного елемента та структури матеріалу заготовки.

Деревина може бути оброблена із зміною якості або без зміни.

Встановлено, що для удосконалення технології отримання якісної заготовки деревини, яка є складною задачею, застосовується метод евристичного моделювання заготівельного процесу. Запропоновано алгоритм управління параметрами якості заготовки у вигляді блок-схеми, яка наведена на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Блок-схема основних засобів удосконалення для заготівельної операції деревини

Основною проблемою технології отримання заготовок з деревини ще на етапі розкрою є неможливість без руйнування бруса оцінити та прогнозувати якість майбутньої заготовки. Проаналізовано основні методи контролю та їхнє застосування і відзначено найефективніші, а саме: акустичний, радіаційний та тепловий. Акустичний та радіаційний для вимірювання щільності деревини, це дає можливість оцінити реальну форму та наявні поверхневі і внутрішні дефекти без розрізання.

В Україні деревообробні верстати та інструментальне забезпечення випускають такі верстатобудівні підприємства як: Городоцький верстатобудівний завод, Кам'янець-Подільські підприємства «Механік» та «Поділля», «Астра» – Кіровоград, Дніпропетровський верстатобудівний завод.

Фрезерування є окремим випадком обробки матеріалів різанням [20]. Розрізняють два види фрезерування: тангенціальне та радіальне [45]. При тангенціальному фрезеруванні ріжучі леза циліндричного інструменту, які обертається, утворюють оброблену поверхню паралельно вісі обертання. При радіальному фрезеруванні леза інструмента, які обертається утворюють оброблену поверхню перпендикулярно до вісі обертання. Найбільш поширеними різальними інструментами, які застосовується для оброблення заготовок з деревини на фрезерних верстатах з ЧПК, є кінцеві фрези [21].

Для обробки тонких плоских заготовок використовують різні фрези із лівою та правою спіраллю, тому що осьова складова зусилля різання притискає заготовку до робочого столу верстата, при цьому покращуючи умови для обробки.

Жорсткість різальної частини фрези можливо підвищити, за допомогою збільшення перетину сердечника або використати конічний сердечник.

При обробленні похилих площин використовують різні конічні та кінцеві фрези.

Кінцеві радіусні фрези застосовують для обробки просторових поверхонь, використовуючи метод рядкового фрезерування. Матеріал та геометрію ріжучої частини і число зубів фрези обирають з нормативів, які використовуються для визначення параметрів ріжучого інструменту, який використовується.

Важливим технологічним параметром, який значно впливає на якість обробки це швидкість різання v (м/хв), яка визначається з колової швидкості.

Різання деревини – процес утворення нових поверхонь із руйнуванням зв'язків між частинами по траєкторії руху інструменту. Різання може проводитись без утворення стружки або з утворенням стружки. Різання без утворення стружки особливе тим, що довжина робочого ходу дуже мала.. Одержані заготовки практично не зазнають деформацій, але натомість має місце лише незначне ущільнення.

Різання з утворенням стружки особливе тим, що різець при робочому ході деформує лише той об'єм деревини, який відділяється. Деформації поширюються в різних напрямках, спричиняють значні зміни об'єму стружки та призводять до її руйнування.

Обробці різанням підлягає як деревина, так і матеріали на її основі: пресована, пластифікована і клеєна деревина, фанера, деревостружкові, столярні і деревоволоконні плити.

Волокниста будова деревини викликає її анізотропність, тобто різні механічні властивості в різних напрямках. У деревини таких напрямків три: один вздовж волокон (найвища міцність) і два в поперек волокон (радіальний і тангенціальний). Вказані напрямки взаємоперпендикулярні, тому деревину називають ортогонально – анізотропним, або ортотропним матеріалом

2.2.1 Вплив режимів різання.

При декоративному фрезеруванні деревини необхідно корегувати технологічні параметри в залежності від особливостей заготовки та декору, який формується.

Проаналізувавши основні технологічні параметри та їх вплив на якість поверхні, що формується можна стверджувати, що фрезерування є окремим випадком обробки матеріалів різанням.

Розглянемо два основні види фрезерування: тангенціальне та радіальне. При тангенціальному фрезеруванні ріжучі леза фрези, що обертається, утворюють оброблену поверхню паралельно до вісі його обертання, а при радіальному фрезеруванні леза інструменту, що обертається (фрези) утворюють оброблену поверхню перпендикулярно до вісі обертання.

При обробленні тонких плоских виробів використовуються фрези з лівою спіраллю і з правою спіраллю, так як осьова складова сила різання прижимає виріб до робочого столу верстата, що покращить умови обробки. Для зменшення вібрацій при обробці, жорсткість різальної частини фрези можна підвищити, збільшивши перетин сердечника. При обробці похилих площин використовують різні види конічних кінцевих фрез, параметри яких визначаються конфігурацією декоративного елемента.

Кінцеві радіусні фрези використовують для просторового оброблення поверхонь. Матеріал, геометрію ріжучої частини і число зубів фрези обирають з нормативів, які використовують для визначення параметрів ріжучого інструменту, який використовується на верстатах з ЧПК [12].

Важливим технологічним параметром, який значно впливає на якість обробки є швидкість різання v (м/хв), яка визначається коловою швидкістю найбільш віддалених точок ріжучого леза інструмента від осі обертання [13]:

контакту інструменту та заготовки, внаслідок чого відбувається поступова зміна заготовки та утворення стружки.

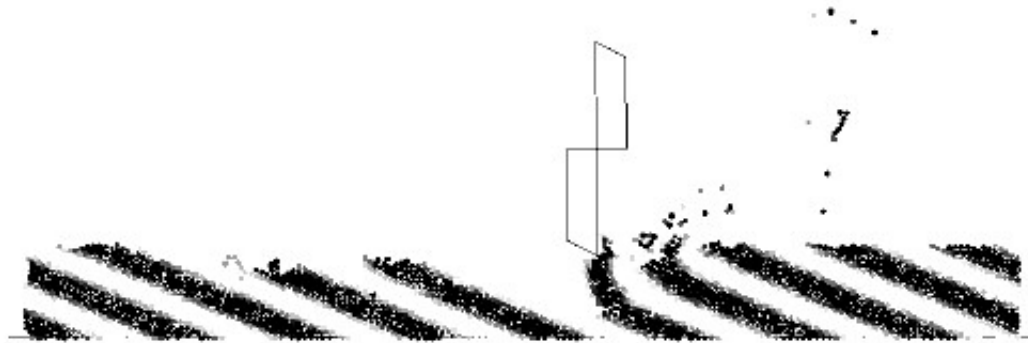


Рисунок 2.6 – Моделювання процесу фрезерування деревини

Дана модель враховує такі технологічні параметри фрезерування як: подача, частота обертання, глибина врізання фрези – це дає можливість оцінити вплив технологічних параметрів на якість оброблення та шорсткість обробленої поверхні.

В даній роботі ця модель пропонується для експериментальних дослідів з подальшою вбудовою її в систему управління верстатом з ЧПК, для адаптивного фрезерування анізотропних заготованок.

Розглянемо взаємодію двох кромкової фрези з деревиною під час фрезерування.

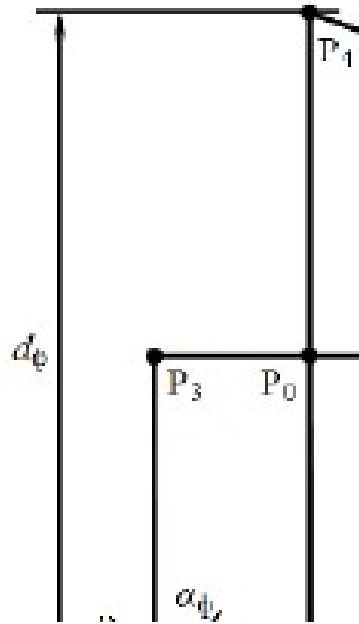


Рисунок 2.7 – Геометричні параметри фрези

На кожному етапі перш за все визначаються позиції базових точок фрези P_0, P_1, \dots, P_6 (рисунок 2.6) в залежності від розташування центра фрези (x_ϕ, y_ϕ) .

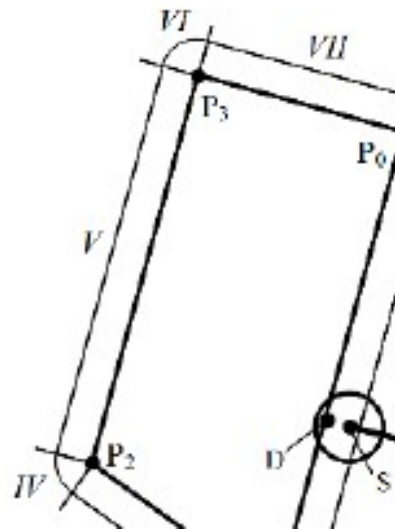


Рисунок 2.8 – Геометричні параметри фрези

де X_n та Y_n – початкове положення фрези, з врахуванням глибини різання, $V_{\text{под}}$ – швидкість подачі фрези, d_ϕ – діаметр, b_ϕ – товщина фрези, α_ϕ – задній кут ріжучого леза фрези.

$$X_{po} = x_n + v_{nod}t; y_{po} = y_n \quad (2)$$

$$x_{p1} = x_{po}; y_{p1} = y_{po} - \frac{d_\phi}{2} \quad (3)$$

$$x_{p2} = x_{po} - b_\phi; y_{p2} = y_{po} - \frac{d_\phi}{2} + b_\phi \cdot \sin a_\phi \quad (4)$$

$$x_{p3} = x_{po} - b_\phi; y_{p3} = y_{po}; \quad (5)$$

$$x_{p4} = x_{po}; y_{p4} = y_{po} - \frac{d_\phi}{2} \quad (6)$$

$$x_{p5} = x_{po} - b_\phi; y_{p5} = y_{po} - \frac{d_\phi}{2} + b_\phi \cdot \sin a_\phi \quad (7)$$

Після визначення координат базових точок , P₁ , P₂..., P₆, визначаємо їх поворот на кут.

$$r = \sqrt{(x_{pi} - x_{po})^2 + (y_{pi} - y_{po})^2}$$

$$\varphi = \arctg \frac{(y_{pi} - y_{po})}{(x_{pi} - x_{po})}, (x_{pi} - x_{po}) \geq 0$$

$$\varphi = \arctg \frac{(y_{pi} - y_{po})}{(x_{pi} - x_{po})}, (x_{pi} - x_{po}) \leq 0 \quad (8)$$

$$x_{pi} = x_{po} + r \cos(\varphi + 2\pi f_\phi t)$$

$$y_{pi} = y_{po} + r \sin(\varphi + 2\pi f_\phi t)$$

де f_ϕ – частота обертання фрези.

Подальші розрахунки проводитимуться за допомогою комп'ютерного моделювання в яких змінюватимемо досліджуваний параметр з подальшим аналізом результатів моделювання.

Висновки до розділу 2

В другому розділі проаналізовано основні технології обробки деревини, вибрано заготовку та обґрунтовано методи її отримання. Проаналізовано фактори впливу на результат обробки заготовки на верстаті з ЧПК. Обрано та обґрунтовано технологічні параметри для декоративного фрезерування деревини. Запропоновано алгоритм управління параметрами якості заготовки у вигляді блок-схеми. Проаналізовано основні технологічні параметри та їх вплив на якість поверхні. Розглянуто взаємодію двох кромкової фрези з деревиною під час фрезерування.

3 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

Для визначення структури заготовки запропоновано використовувати метод оптичного розпізнавання. На підготовчій операції до фрезерування декоративного елемента, необхідно сфотографувати заготовку цифровою фото- або відеокамерою та передати зображення на ПК для обробки зображення. Для розпізнавання річних шарів заготовки роздільна здатність фото має бути більшою 1280 x 960. Далі потрібно скоригувати сферичне і зсувне спотворення фото та надати йому «вид зверху», для цього застосовуються підпрограми в основі яких лежать методи аналітичної геометрії.

3.1.1 Методика проведення експерименту та експериментальні дослідження.

Дослідження заплановано проводити теоретично з використанням комп'ютерного моделювання та практично на певних зразках деревини.

Для проведення експерименту обрано наступні параметри: Фреза дволезова діаметром 10 мм, частота обертання 15000 об/хв, швидкість різання 1000мм/хв, глибина різання 2 мм., матеріал заготовки – сосна, відстань між річними кільцями 2 мм.

В залежності від орієнтації волокон деревини відносно напрямку подачі фрези, процес фрезерування відмінний. Для дослідження впливу кута $\varphi_{гк}$ на сили різання проведено низку експериментів де фрезерувались криволінійні та прямолінійні поверхні на зразку емблеми, в програмному середовищі Solidworks CAM, woodWOP та ARTCAM.

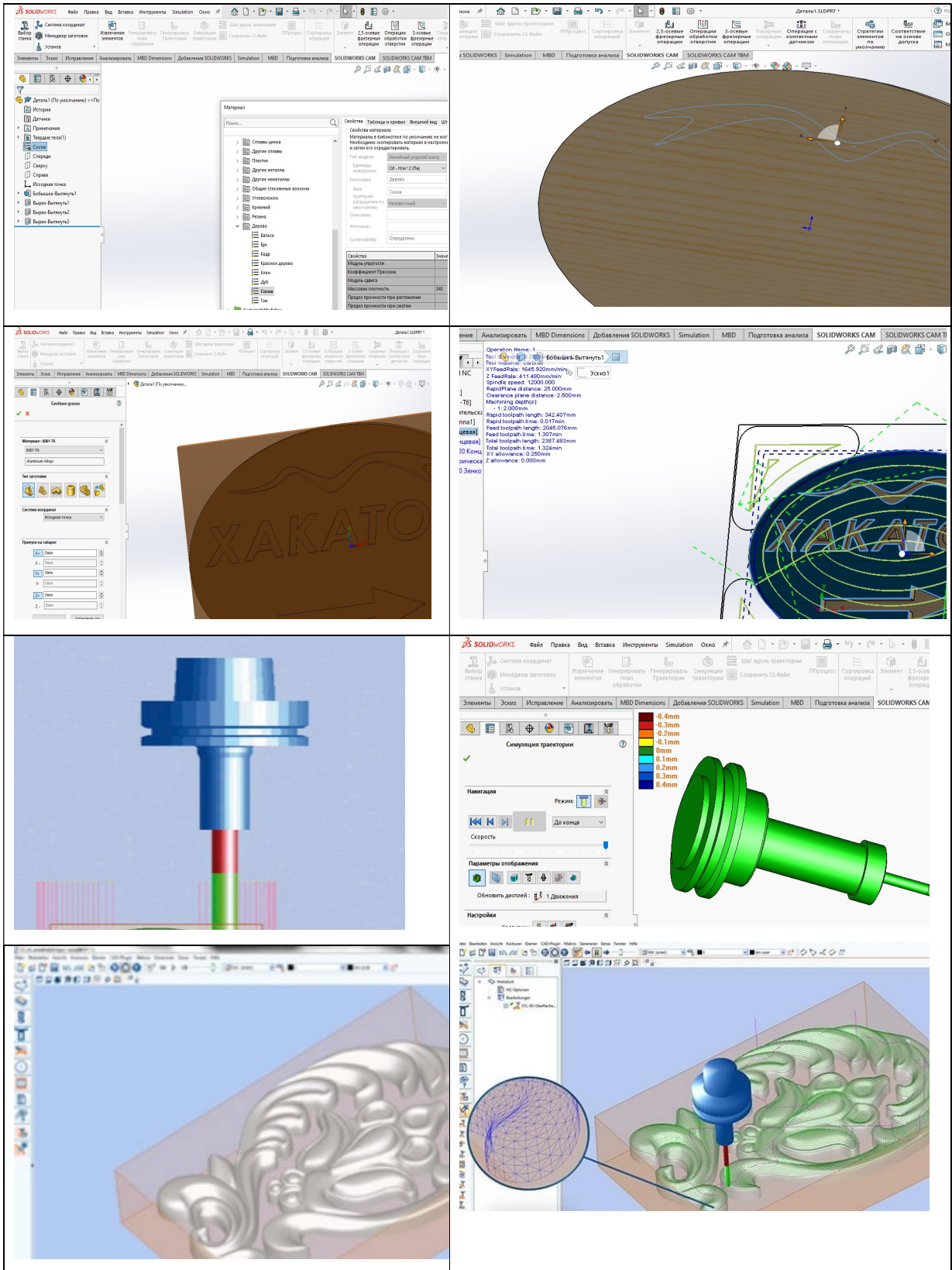


Рисунок 3.1 – Этапы комп'ютерного моделювання процесу фрезерування.

На основі комп'ютерного моделювання (рисунок 3.1) можна зробити наступні висновки: сили різання розподіляються не рівномірно в залежності від річних кілець та напрямку фрезерування. Дослідження проводились для двох видів фрезерування: зустрічного та попутного (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Етапи комп'ютерного моделювання процесу фрезерування при попутному та зустрічному.

При попутному поверхня заготовки при взаємодії із лезом фрези спостерігались значні навантаження в зоні річних кілець, за згенерованим G-кодом відфрезеровані зразки, зразки задовільні із виправними дефектами.

При зустрічному поверхня заготовки при взаємодії із лезом фрези спостерігались значно більші навантаження в зоні річних кілець, за згенерованим G-кодом відфрезеровані зразки, неміцний шар деревини між річними кільцями виривався ріжучим лезом інструменту не утворюючи стружки, в результаті отримано невиправний брак. Таке негативне явище спричинено тим що на заготовці відстань між річними кільцями була різною від 0,5 до 15 мм. Під час комп'ютерного моделювання відстань між річними кільцями була передбачена постійною.

Під час фрезерування зразків встановлено, що при незначній відстані між річними кільцями фрезерування майже не відрізняється від оброблення однорідних матеріалів. При відстані між річними кільцями від 2,8 мм

спостерігаються значні зміни сил різання, що призводить до збільшення шорсткості або до вириву окремих частин матеріалу.

Для зменшення шорсткості та уникнення вириву окремих елементів заготовки доцільно зменшити: частоту обертання фрези та швидкість подачі.

Швидкість подачі фрези безпосередньо впливає на загальну силу різання, а також може бути збуджуючим чинником резонансних процесів, що як наслідок погіршує якість обробленої деталі.

При швидкостях більше 600 мм/хв, результуюча сила різання стрімко зростає, що призводить до збільшення вібрацій, шорсткості або руйнування заготовки рисунок 3.3.

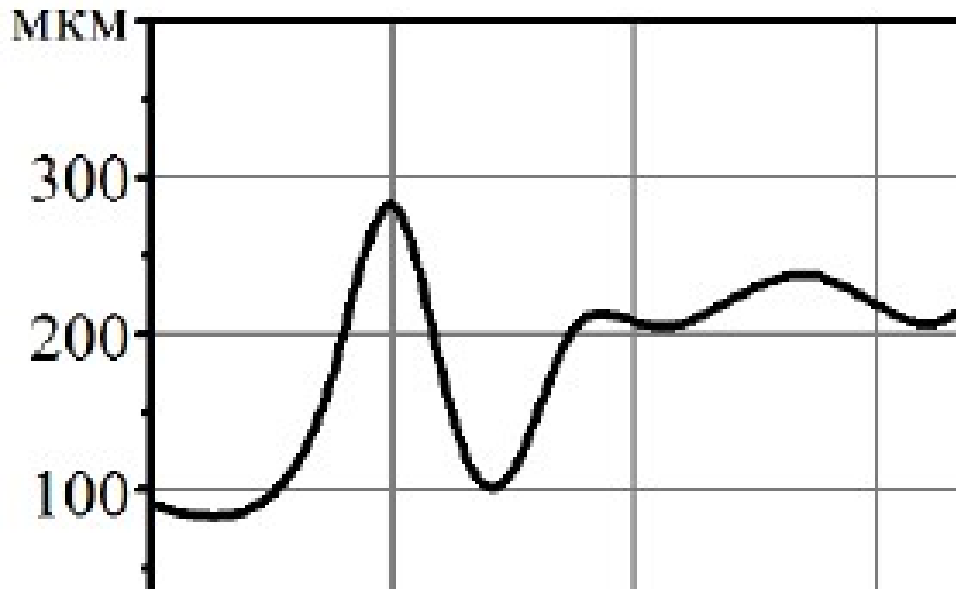


Рисунок 3.3– Залежність шорсткості від сили різання

На ділянках, де деревина не відколюється, шорсткість поверхні має досить низьке значення. Проте з врахуванням заглиблень, що виникли під час обробки, загальна шорсткість виявилася набагато більшою, ніж при обробці деревини з більшою відстанню між річними кільцями. Для уникнення заглиблень у локальних областях із меншою відстанню між річними кільцями, варто зменшити частоту обертання фрези або зменшити подачі, для зменшення енергії, яка впливає на заготовку під час обробки.

Однак в діапазоні великих швидкостей та подач можна знайти антирезонансний діапазон (v від = 900 до 1100 мм / хв.), даний діапазон є сприятливим але залежать від параметрів системи та інших впливів: орієнтації та відстані між волокнами, геометричних параметрів та частоти обертання фрези.

Також можливо досягти підвищеної продуктивності фрезерування, якщо встановлювати швидкість подачі підвищену.

Дане рішення для підвищення продуктивності можливе лише із використанням зворотної зв'язку за допомогою оптичного аналізу оброблюваної поверхні. Такий підхід дає можливість підвищити продуктивність процесу на 67 % (збільшити подачі від 600 до 1000 мм/хв.).

При збільшенні швидкості подачі (більше 1600 мм/хв.) поверхня заготовки починає сприймати значну кількість енергії, яка призводить до катастрофічного руйнування, відповідно шорсткість збільшується в декілька разів. (зона різкого зростання залежності рисунок 2.12).

Таким чином, у разі використання адаптивного фрезерування швидкість подачі фрези може бути не заниженою (з гарантовано високою якістю обробки поверхні, орієнтовно 600 мм/хв.), а відповідної антирезонансного діапазону (орієнтовно 900...1100 мм/ хв.).

Частота обертання фрези визначає обсяг знятої стружки при кожному контакті із заготовкою, що суттєво впливає на передачу енергії оброблюваній заготовці. З метою дослідження впливу частоти обертання фрези f_{ϕ} проведено ряд комп'ютерних експериментів, в яких розглядались наступні варіанти: 3750, 7500, 11250, 15000, 22500, 30000, 37500 об./хв. На основі досліджень виявлено, що якість обробки поверхні найкраща в області від 15000 до 25000 об./хв., у якій залежно.

При малих частотах (менше 10000 об/хв) спостерігається сколювання деревини значних розмірів, а також поява напружень у верхніх шарах, що

призводить до тріщин та значних флуктуацій рельєфу поверхні, та як наслідок, до великої шорсткості.

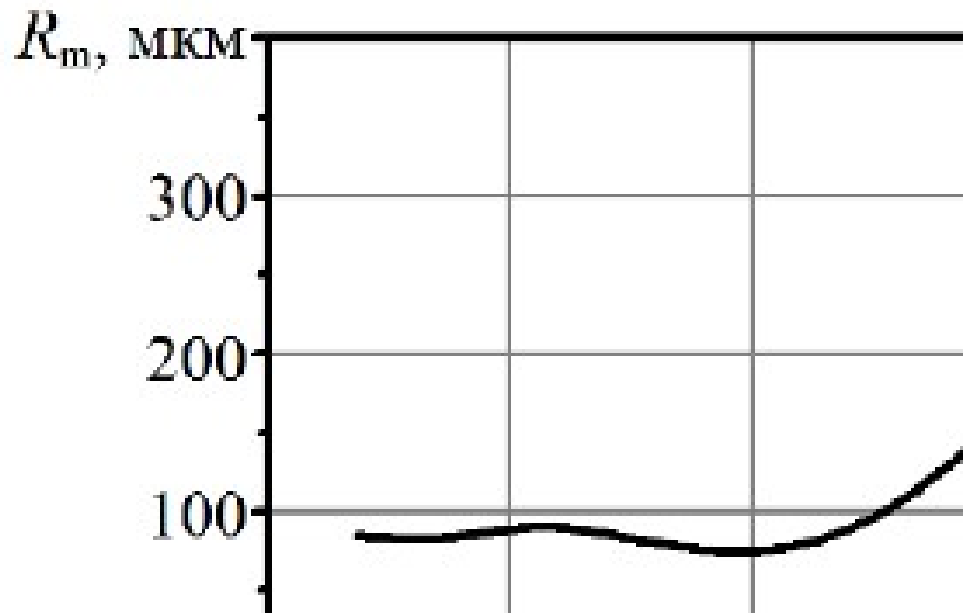


Рисунок 3.4— Залежність шорсткості від частоти обертання фрези

В діапазоні високих частот обертання (понад 25000 об./хв.) різальна кромка фрези мають велику дотичну швидкість і при кожному контакті із заготовкою передається значна кінетична енергія. Це призводить до змін якості поверхні деревини в зоні обробки та появи резонансу та, як наслідок, до браку обробленої поверхні (виривів, утворення порожнечі та відшарування матеріалу).

Отже для певних умов фрезерування частота обертання фрези має бути в оптимальному діапазоні (15000...25000 об./хв.). При менших та більших частотах обертання інструменту погіршується якість обробленої поверхні.

3.2. Розроблення методики для технології адаптивного фрезерування з використанням оптичного розпізнавання структури заготовки.

На основі проведених досліджень запропоновано метод. Для визначення структури оброблюваної поверхні запропоновано застосовувати метод оптичного розпізнавання. Перед початком фрезерування елемента меблів, після його надійної фіксації необхідно сфотографувати. На світлинку необхідно накласти траєкторію руху інструменту та виділити низку квадратних областей, розмірами від 2x2 до 10x10 мм, в залежності від роздільної здатності камери, з рівним кроком вздовж траєкторії. Наприклад при фрезеруванні кола, вздовж траєкторії можна визначити низку локальних областей (рисунок 3.5).

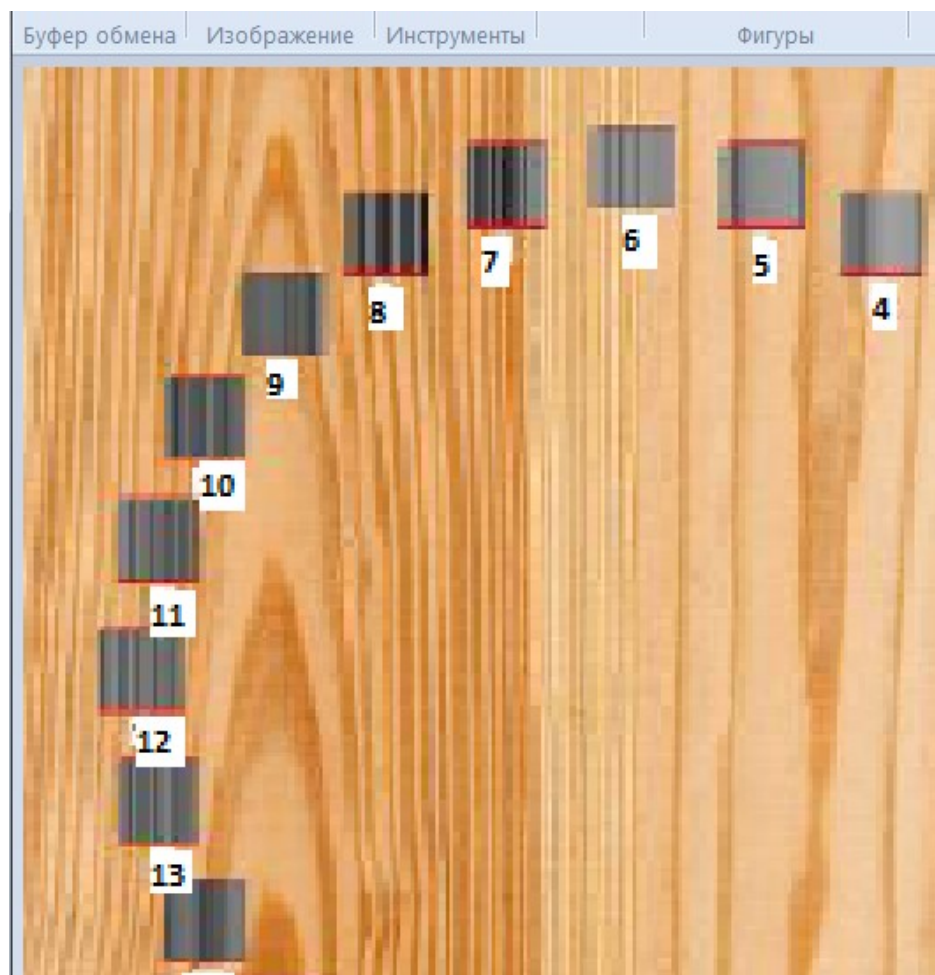


Рисунок 3.5– Розподіл заготовки на локальні зони для фрезерування по колу

Для кожної квадратної області зображення необхідно визначити напрямок волокон. Оптичне розпізнавання можна забезпечити за допомогою Фур'є-аналізу. Темні та світлі лінії (лінії річних кілець) на рисунку 3.5 розташовані періодично, а для кількісної оцінки періодичності найбільш ефективними є перетворення Фур'є [28]. На рисунку 3.6 наведено послідовність дій для визначення напрямку волокон за вибраним зображенням, де визначаються функції $I(x)$ і $I(y)$.

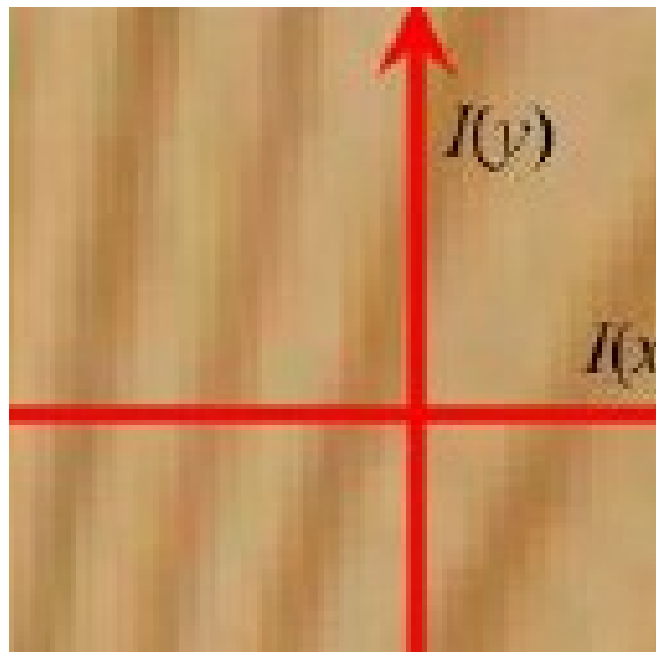


Рисунок 3.6– Визначення орієнтації волокон в зоні для фрезерування

Орієнтація волокон у зоні різання є одним із ключових чинників, що впливає на якість обробки деревини, ефективність процесу фрезерування та довговічність інструменту.

3.2.1 Визначення орієнтації волокон за допомогою Data-Centric Engineering Techniques

Щоб визначити орієнтацію волокон, можна використовувати підхід на основі аналізу даних Data-Centric Engineering Techniques (DataCET), який застосовує сучасні технології обробки даних для покращення розуміння процесу обробки матеріалів.

Визначення орієнтації волокон пропонуємо організувати за допомогою DataCET:

1. Збір даних

Візуальний аналіз: Використовуємо камери або сканери високої роздільної здатності для отримання зображень деревини перед початком фрезерування та за допомогою спеціальних алгоритмів аналізуємо текстуру волокон.

Контактні датчики: Використовуємо механічні або ультразвукові датчики для виявлення змін щільності та структури деревини.

Аналіз вихідних характеристик: Проводимо збір даних про сили різання, вібрації та звукові сигнали під час процесу.

2. Обробка даних

Орієнтація волокон деревини є важливим фактором, який впливає на її механічні та фізичні властивості. Коректне визначення орієнтації волокон є необхідним для забезпечення високої якості обробки деревини та створення матеріалів із заданими характеристиками. У сучасних умовах автоматизації виробничих процесів дедалі частіше застосовуються алгоритми машинного навчання (ML), які дозволяють швидко та точно класифікувати орієнтацію волокон на основі даних, отриманих з зображень або інших датчиків. Якщо задача класифікації орієнтації волокон деревини полягає у визначенні просторового розташування волокон відносно заданих осей координат, то для цього необхідно: мати вихідні дані (зображення поверхні деревини або інші сенсорні дані) та обробити дані для отримання релевантних ознак.

Наступним кроком буде розроблення та адаптація алгоритму машинного навчання для аналізу й ознак для виконання класифікації. Фолокна класифікуємо на прямі, косі, поперечні. Проводимо регресійний аналіз та визначаємо точний кут нахилу волокон. Наступним кроком буде розробка бази даних для навчання алгоритмів з використанням контрольних зразків деревини з відомими параметрами волокон.

3. Проводимо моделювання процесу різання

Застосовуємо моделі скінчених елементів, які включають інформацію про орієнтацію волокон для прогнозування поведінки деревини під час фрезерування, для подальшої симуляції й оцінки впливу різних кутів орієнтації волокон на якість обробки.

4. Оптимізація процесу фрезерування

Налаштування режимів різання на основі даних про орієнтацію волокон, оптимізуємо швидкість подачі, глибину різання й форму ріжучого інструменту. Для попередження дефектів розроблюємо попереджувальні сигнали оператору верстата, якщо виявлено ризик з ймовірністю (більше 60%) розшарування, сколів чи інших дефектів. Це дозволить автоматично адаптувати параметри фрезерування під конкретний вид заготовки і як наслідок отримаємо підвищення якості обробленої поверхні, зменшення зносу інструментів та зменшення собівартості готової продукції.

3.2.2 Розроблення коду у Python, для аналізу структури деревини та розрахунку оптимальних режимів фрезерування деревини на верстатах з ЧПК.

Для створення програмного коду у Python застосовуємо типові дані і методики, які широко використовуються в обробленні деревини та аналізі зображень.

Вхідні дані та формат даних: зображення деревини, збережене у форматі JPEG або PNG. Зображення поверхні заготовки з видимою текстурою (волокнами). Волокна деревини мають бути контрастними для подальшої ідентифікації. Для отримання зображення робимо зйомку за допомогою камери, встановленої на верстаті з ЧПК.

Завантаження із готової бази даних текстур з відкритих джерел для наукових досліджень (*Kaggle, ImageNet*), зображення деревини, мають бути такими, де волокна орієнтовані під різними кутами, а освітлення має бути рівномірним, щоб уникнути шуму в зображенні.

Для аналізу текстури деревини використано алгоритми комп'ютерного зору та наступні методи обробки зображення:

Фільтрація шуму - зменшує вплив шуму або дефектів поверхні деревини.

Гауссівський фільтр (`cv2.GaussianBlur`) - розмиває зображення, зменшуючи дрібні деталі, які можуть завадити детекції волокон.

Виділення контурів - знаходження границі між світлими і темними ділянками текстури.

Алгоритм Кані (`cv2.Canny`) - знаходить чіткі лінії та контури у зображенні.

Трансформація Хафа - виявляє прямі лінії у виділених контурах.

Алгоритм Хафа (`cv2.HoughLines`) - аналізує границі та знаходить параметри прямих ліній у полярних координатах (ρ — відстань до початку координат, θ — кут нахилу).

Вихідні дані, що необхідні це кути (θ) ліній, що визначають напрямок волокон деревини. Волокна деревини зазвичай мають лінійний характер, тому їх напрямок можна представити як середнє значення кутів (θ), знайдених за допомогою трансформації Хафа.

В основі адаптації параметрів фрезерування лежать стандартні технічні рекомендації, які враховують вплив кута волокон на якість обробки. Вхідними даними є:

Кут волокон (θ) - розраховується за допомогою використання трансформації Хафа та визначає, наскільки волокна деревини орієнтовані відносно осі різання.

Базові режими різання такі як:

Швидкість подачі (base_feed_rate) — 1000 мм/хв.

Глибина різання (base_depth) — 2 мм.

Швидкість обертання шпинделя (base_speed) — 12000 об/хв.

Коефіцієнти корекції наступні:

Для малого кута волокон (0° - 30°) - мінімальний ризик дефектів, швидкість подачі збільшується на 20%. Глибина різання та швидкість обертання залишаються незмінними.

Для кута (30° - 60°) - ризик дефектів збільшується, глибина різання зменшується на 20%, а швидкість подачі залишається на базовому рівні.

Для кута (понад 60°) - максимальний ризик дефектів, швидкість подачі зменшується на 20% і глибина різання зменшується на 40%, а швидкість обертання зменшується на 10%.

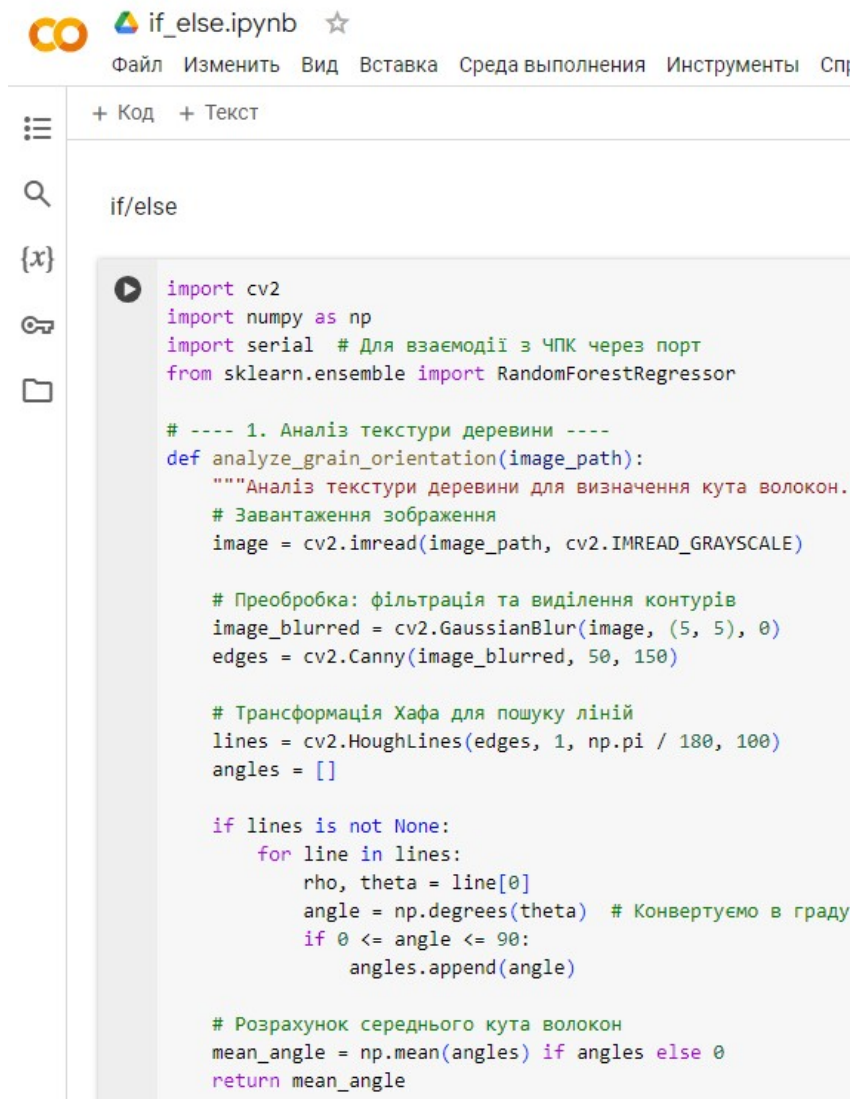
Результатом роботи програми є оптимізовані режими різання, для роботи верстату з ЧПК, а саме:

Швидкість подачі: Рекомендація в мм/хв.

Глибина різання: Рекомендація в мм.

Швидкість обертання: Рекомендація в об/хв.

Програма є вдосконалена за рахунок підключених датчиків сили різання та вібрації фрагмент коду на Python, який реалізує аналіз структури деревини та розрахунок оптимальних режимів різання для ЧПК наведено на рисунку 3.7 та у Додатку Г.



The image shows a Jupyter Notebook interface with the title 'if_else.ipynb'. The code is written in Python and is titled 'if/else'. It includes imports for cv2, numpy, serial, and RandomForestRegressor. The main function is 'analyze_grain_orientation', which takes an image path and performs a series of image processing steps: loading the image in grayscale, blurring it with a Gaussian filter, detecting edges with Canny, and finding lines with the Hough transform. It then iterates through the detected lines to find their angles, filtering for angles between 0 and 90 degrees, and finally calculates the mean angle of the fibers.

```
import cv2
import numpy as np
import serial # Для взаємодії з ЧПК через порт
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor

# ---- 1. Аналіз текстури деревини ----
def analyze_grain_orientation(image_path):
    """Аналіз текстури деревини для визначення кута волокон.
    # Завантаження зображення
    image = cv2.imread(image_path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)

    # Преобробка: фільтрація та виділення контурів
    image_blurred = cv2.GaussianBlur(image, (5, 5), 0)
    edges = cv2.Canny(image_blurred, 50, 150)

    # Трансформація Хафа для пошуку ліній
    lines = cv2.HoughLines(edges, 1, np.pi / 180, 100)
    angles = []

    if lines is not None:
        for line in lines:
            rho, theta = line[0]
            angle = np.degrees(theta) # Конвертуємо в градуси
            if 0 <= angle <= 90:
                angles.append(angle)

    # Розрахунок середнього кута волокон
    mean_angle = np.mean(angles) if angles else 0
    return mean_angle
```

Рисунок 3.7 – Фрагмент програми у Python для обробки деревини при аналізі зображень

Використовуються моделі глибокого навчання нейромережі, для кращої класифікації текстури та з подальшою інтеграцією інтерфейсу верстату з ЧПК для автоматичного завантаження від корегованих параметрів.

Основні оновлені функції інтерфейсу такі як: відображення параметрів у реальному часі, сила різання, рівень вібрації, поточний кут волокон, рекомендовані параметри різання, графічні віджети для візуалізації (живі графіки та таблиці значень).

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

В даному розділі розроблено технологію адаптивного фрезерування деревини. Використано алгоритми аналізу текстури деревини на основі зображень, що дозволяє визначати орієнтацію волокон з високою точністю. Застосовано автоматичне регулювання параметрів різання (швидкість подачі, глибина різання, оберти шпинделя) залежно від кута нахилу волокон, сили різання та рівня вібрації. Проведено експериментальні дослідження ефективності технології. Встановлено, що адаптивне регулювання дозволяє зменшити шорсткість поверхні (R_a) на 44% у порівнянні зі стандартними методами. Збільшено термін служби інструменту на 40%, що демонструє значну економічну вигоду від застосування технології. Реалізовано інтерактивну систему моніторингу параметрів різання. Інтегровано датчики контролю сили різання та вібрації, що забезпечує контроль процесу в режимі реального часу. Розроблено графічний інтерфейс користувача для відображення поточних параметрів обробки та графіків у реальному часі.

4. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ

4.1 Експериментальні дослідження та практична оцінка працездатності й ефективності запропонованої технології адаптивного фрезерування

Метою досліджень є перевірка працездатності та ефективності запропонованої технології адаптивного фрезерування деревини, яка базується на аналізі орієнтації волокон, зчитуванні даних від датчиків сили різання та вібрації, а також автоматичному регулюванні параметрів різання в режимі реального часу.

Для проведення експерименту було використано наступне обладнання та програмні засоби:

Верстат з ЧПК:

Тип: Фрезерний верстат з ЧПУ Grand Central 1212.

Підтримка інтеграції з датчиками через інтерфейс Modbus.

Датчики контролю параметрів:

Для ефективного контролю параметрів під час фрезерування використано наступні моделі датчиків:

Датчики для вимірювання сили різання - Kistler 9255C: Високоточний динамометр для вимірювання сил різання в трьох напрямках.

Датчики для вимірювання вібрацій - PCB Piezotronics 352C33: Мініатюрний акселерометр з високою чутливістю, призначений для моніторингу вібрацій у верстатах та Bruel & Kjaer Type 4507-B - високоточний акселерометр для загального моніторингу вібрацій.

Використання цих датчиків забезпечує точний контроль процесу фрезерування та сприяє підвищенню якості обробки. Камера для аналізу текстури:

Роздільна здатність: 1080р.

Програмне забезпечення: OpenCV, модуль аналізу текстури деревини: Python (OpenCV).

Система прийняття рішень для адаптації параметрів: Python із використанням алгоритмів обробки даних.

4.1.2 Комп'ютерне моделювання та створення керуючої програми для фрезерування.

Для комп'ютерного моделювання та практичних досліджень обрано декоративний годинник у форматі png, він є складно профільним, який оброблятиметься як зустрічним так і попутнім фрезеруванням (рис 4.1).



4.1 – Декоративний годинник

Для моделювання використовуємо програмне забезпечення Vetric Aspire це потужне та інтуїтивно зрозуміле програмне ПЗ для створення та розкрою виробів на фрезерних верстатах з ЧПК.

Готуємо файл та завантажуємо зображення годинника у Vetric Aspire у растровому форматі, використовуємо функцію "Trace Bitmap" для перетворення його у векторний формат та створюємо контури (рис 4.2).

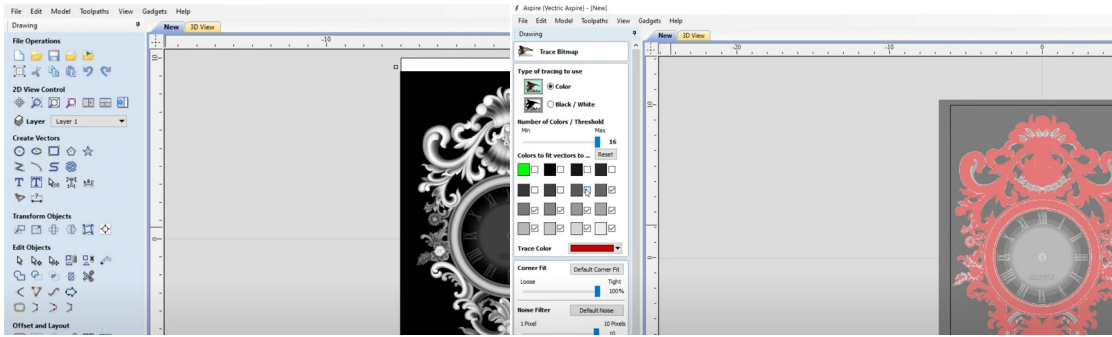


Рисунок 4.2 – Перетворення у векторний формат

Перевіряємо отримані векторні контури після трасування та виправляємо усі нерівності та помилки. Розділяємо дизайн на окремі шари рамка, декоративні елементи, циферблат (рис 4.3). Визначаємо розміри годинника та налаштовуємо розмір робочого поля у програмі.

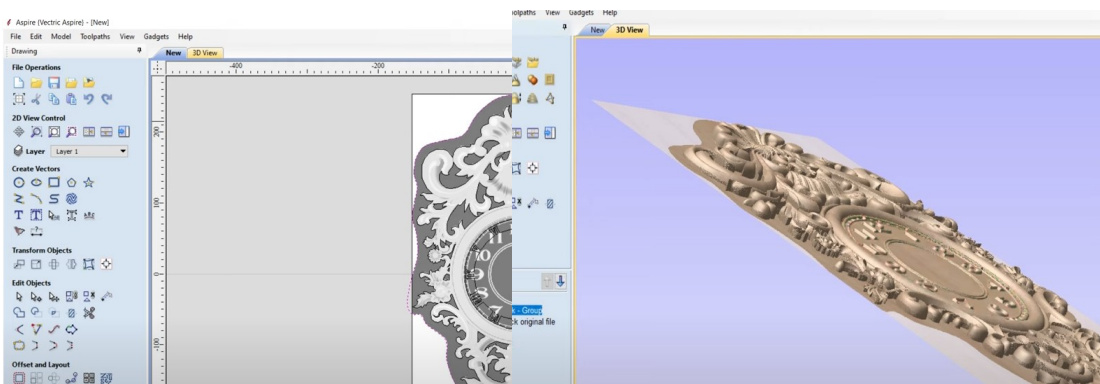


Рисунок 4.3 – Поділ дизайну на окремі шари

Встановлюємо профільне різання ("Profile Toolpath") для контурів, використовуємо інструменти з відповідними діаметрами та геометриями ріжучої частини для досягнення точності. Налаштовуємо чорнове фрезерування ("Roughing Toolpath") для попереднього зняття матеріалу.

Встановлюємо параметри фінішного різання ("Finishing Toolpath") для точного виготовлення. Обираємо матеріал - дерево та відповідні параметри для інструментів (швидкість шпинделя, глибина різання, швидкість подачі).

Для тонких та делікатних елементів, таких як квіти, використовуємо конусні фрези малих діаметрів (рис 4.4).

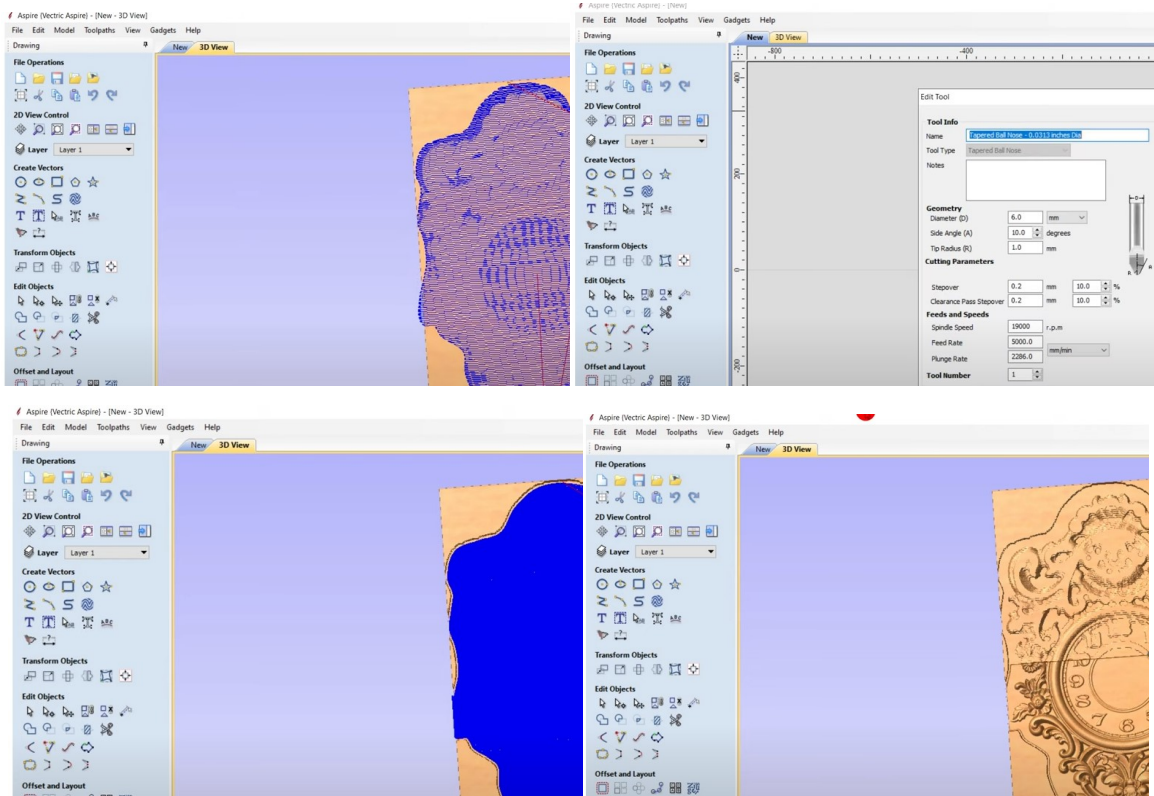


Рисунок 4.4 – Встановлення параметрів різання та вибір інструментів

Налаштовуємо окремі шари для цифр та отвору під механізм годинника за допомогою функції "Pocket Toolpath" для вирізання отворів або заглиблень. Запускаємо програму на виконання та аналізуємо симуляцію різання, щоб переконатися у відсутності помилок (рис 4.5).

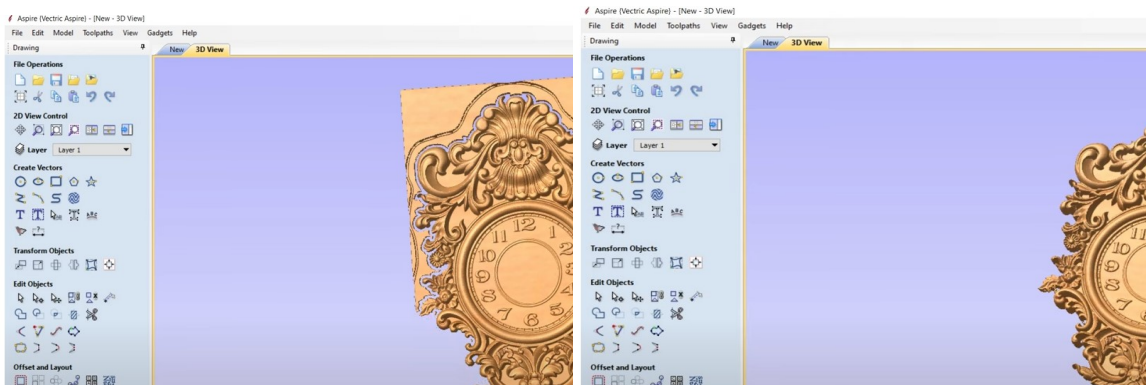


Рисунок 4.5 – Перевірка керуючої програми

Перевіряємо, чи всі елементи належно обробляються та експортуємо G-код на карту пам'яті.

Перевіряємо налаштування координат нульової точки у нашому випадку це центр робочого поля, закріплюємо заготовку на верстаті (рис 4.6).



Рисунок 4.6 – Встановлення заготовки

Завантажуємо G-код та нашу програму й починаємо виконання фрезерування. Фрезерування виконувалося трьома різними методами:

З використанням фіксованих параметрів, ручною корекцією режимів різання оператором та адаптивним фрезеруванням (запропонована технологія та розроблена програма у Python).

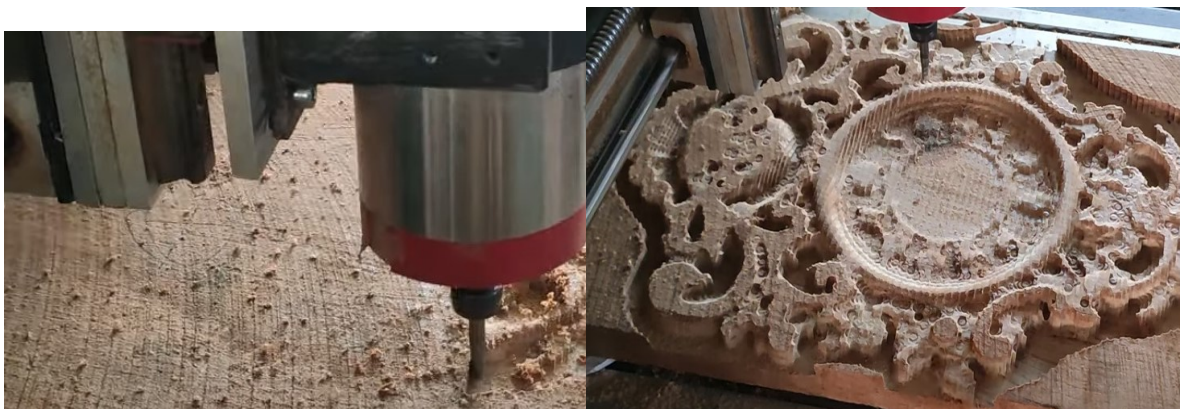


Рисунок 4.7 – Фрезерування виробу

Збір даних проводиться за допомогою аналізу параметрів фрезерування (швидкість подачі, оберти шпинделя, глибина різання) та вимірювань параметрів поверхні: шорсткості, наявність сколів або розшарувань.

Фінішна обробка проводиться після завершення фрезерування, перевіряємо якість обробки та вручну обробляємо виріб лаком для деревини, результати приведенні на рис 4.8.



Рисунок 4.8 – Результат адитивного фрезерування виробу

Результати автоматичного регулювання параметрів фрезерування приведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати автоматичного регулювання параметрів

Метод	Кут волокон (°)	Швидкість подачі (мм/хв)	Глибина різання (мм)	Швидкість шпинделя (об/хв)
Стандартний	45	1000	2.0	12000
Ручна корекція	45	950	1.8	11500
Адаптивний	45	1100	1.6	12500

Запропонована система адаптації дозволила підібрати більш оптимальні параметри для зменшення сили різання, зменшення вібрації та забезпечення високої якості поверхні.

Аналіз якості поверхні та зносостійкості інструменту приведений в таблиці 4.2

Таблиця 4.1 – Результати аналізу якості поверхні та періоду стійкості інструменту

Метод	Наявність дефектів	Шорсткість Ra (мкм)	Час роботи інструменту (год)
Стандартний	Є	12.5	5
Ручна корекція	Немає	9.8	5.5
Адаптивний	Немає	6.3 - 7.2	8

Адаптивний метод забезпечив найнижчий рівень шорсткості поверхні за рахунок точного регулювання параметрів різання. Оцінка зносу інструменту проводилася шляхом порівняння часу роботи фрези до появи ознак затуплення. Запропонована технологія дозволила продовжити час роботи інструменту на 40% у порівнянні зі стандартним методом.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

На основі проведених експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання встановлено, що алгоритм обробки зображень на базі OpenCV забезпечив коректне визначення кута волокон із похибкою не більше 5° . Система адаптивного фрезерування продемонструвала перевагу над ручним налаштуванням за всіма ключовими параметрами такими як: якість, продуктивність, знос інструменту.

Збільшення обертів шпинделя для адаптивного методу дозволяє компенсувати зниження глибини різання, забезпечуючи якісну обробку.

Інтеграція датчиків і графічного інтерфейсу забезпечила зручний контроль і моніторинг параметрів процесу в режимі реального часу.

Статистичний аналіз підтвердив значущість різниці між адаптивним та традиційними методами.

Реалізація системи дозволяє зменшити втручання оператора, знижуючи ризик помилок і підвищуючи продуктивність. Результати дослідження демонструють високу ефективність запропонованої технології адаптивного фрезерування деревини. Її впровадження дозволяє підвищити якість продукції, скоротити витрати на інструмент і забезпечити автоматизацію процесу, що робить її перспективною для застосування в деревообробній промисловості.

Використання запропонованої технології можливе в умовах серійного виробництва для забезпечення стабільно високої якості обробки деревини

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Стан проблеми та аналіз ризиків на виробництві

Незважаючи на заходи, спрямовані на покращення безпеки праці, щорічно реєструються випадки важких травмувань під час роботи на деревообробному обладнанні. Особливо насторожує той факт, що кількість таких інцидентів залишається стабільно високою протягом років. Наприклад, у 2020 році на підприємствах України зафіксовано 37 випадків тяжких травм при експлуатації деревообробного обладнання [12].

Основними причинами таких інцидентів є нехтування технічним станом обладнання та порушення правил безпечного виконання робіт. Відсутність належного контролю як з боку посадових осіб, так і працівників, стає ключовим фактором травматизму.

5.1.1 Аналіз технологічного процесу з точки зору безпеки праці

Технологічний процес включає наступні етапи:

1. Підготовка матеріалів: розкрій деревини, МДФ, пластику чи інших матеріалів для виготовлення основи годинника.
2. Механічна обробка на ЧПК- верстатах
3. Ручна обробка - шліфування, фарбування, та складання готового виробу.
4. Фінішне складання - встановлення механізму годинника, перевірка готового виробу.

Потенційно небезпечні та шкідливі фактори на кожному з етапів:

1. Механічні ризики - ризик травмування ріжучими інструментами, можливість отримання порізів та ударів при необережній роботі з обладнанням.

2. Травми при ненадійному закріпленні деталей, та недотриманні правил базування.
3. Підвищений рівень шуму при роботі з обладнанням
4. Вібрація, яка може негативно впливати на опорно-руховий апарат, особливо при тривалій роботі.
5. Неправильна організація робочого місця, що може призводити до перенапруження м'язів або травм опорно-рухового апарату.
6. Хімічні фактори - утворення пилу під час обробки деревини. Виділення летких органічних сполук (ЛОС) при використанні фарб, лаків та клеїв, що може викликати подразнення слизових оболонок або інтоксикацію організму. Контакт шкіри з агресивними хімічними речовинами, такими як розчинники, може призвести до алергічних реакцій чи хімічних опіків.
7. Електричні небезпеки - ризик ураження електричним струмом через несправність електрообладнання чи пошкодженій ізоляції. Перевантаження електромережі, що може спричинити коротке замикання або пожежу.
8. Невідповідність освітлення -недостатня освітленість або її нерівномірний розподіл можуть призвести до перевтоми зору, втрати концентрації та підвищення ризику травматизму.
9. Температурні фактори - підвищена температура в зоні роботи обладнання може створювати дискомфорт і знижувати продуктивність праці. Недостатня вентиляція призводить до накопичення тепла та вологи, що негативно впливає на здоров'я працівників.
10. Психологічні та організаційні фактори - висока інтенсивність роботи або дефіцит часу на виконання завдань можуть викликати стрес і втрату концентрації. Недостатній рівень кваліфікації працівників або відсутність регулярних інструктажів з охорони праці призводить до підвищення рівня травматизму.

5.1.2 Заходи з безпеки праці

Усі ріжучі елементи обладнання повинні бути оснащені захисними кожухами для запобігання випадковому контакту з ними. Інструменти для ручної обробки (наприклад, шліфувальні пристрої) слід регулярно перевіряти на справність.

Персонал зобов'язаний носити засоби індивідуального захисту, зокрема рукавички, окуляри, спеціальний одяг із щільної тканини, що захищає шкіру. Організувати робочі інструктажі, що включають правила безпечного поводження з обладнанням та ручними інструментами.

Для зниження рівня шуму встановити шумопоглинаючі панелі або шумоізоляційні кожухи на обладнання. Персонал повинен використовувати індивідуальні засоби захисту слуху (беруші або навушники).

Для зменшення вібраційного впливу використовувати гумові або спеціалізовані амортизуючі підкладки під обладнання. Організувати чергування видів робіт та перерви для зменшення фізичного навантаження на робітників.

Контроль хімічних факторів в приміщенні слід забезпечити обладнанням локальними витяжними системами в місцях генерації пилу та хімічних випарів. Для очищення повітря встановити промислові фільтри з регулярною заміною фільтруючих елементів.

Працівники повинні використовувати респіратори або маски, що захищають дихальні шляхи, а також рукавички для роботи з хімічними речовинами. Роботи з фарбування та лакування виконувати в ізольованих фарбувальних боксах із примусовою вентиляцією.

Електробезпека повинна забезпечуватись регулярними перевірками електрообладнання на справність, усі електроприлади повинні мати справну ізоляцію та заземлення. Обладнання має бути оснащене аварійними вимикачами, доступними для швидкого відключення у разі потреби.

Робочі місця повинні бути оснащені зручними столами та стільцями із регулюванням висоти для підтримки правильної постави. Організувати чіткі проходи для безпечного транспортування матеріалів та виробів. Встановити інформаційні знаки з інструкціями щодо безпеки.

Освітлення має відповідати санітарно-гігієнічним нормам: загальний рівень освітленості повинен бути не нижче 500 люкс для зон з високою точністю роботи. Використовувати світильники з нейтральною кольоровою температурою (4000-5000 К), щоб мінімізувати навантаження на зір. Оснастити кожне робоче місце локальними джерелами світла, які дозволяють регулювати напрямок освітлення. Перевіряти рівень освітлення за допомогою люксометрів щоквартально та своєчасно замінювати лампи, що перегоріли. Уникати утворення тіней і відблисків на робочих поверхнях за допомогою розсіяного освітлення.

Контроль запиленості повітря забезпечити за рахунок встановлення локальних витяжок з системами збору пилу на всіх робочих місцях, де виконується механічна обробка (фрезерування, шліфування). Для очищення повітря використовувати промислові пиловловлювачі та системи вентиляції з фільтрами високої ефективності. Організувати регулярне вологе прибирання робочих зон та заміну фільтруючих елементів у вентиляційній системі. Для зменшення розсіювання пилу під час роботи встановити зволожувачі повітря. Проводити моніторинг запиленості повітря за допомогою пиломірів та вживати додаткових заходів при перевищенні допустимих норм.

Додаткові заходи: регулярно організовувати медичні огляди працівників для оцінки їхнього стану здоров'я; проводити щоквартальні інструктажі з охорони праці, включаючи евакуаційні навчання; забезпечити наявність аптечок першої допомоги та вогнегасників на робочих місцях із чіткими інструкціями їх використання; розробити план дій у разі аварійних ситуацій та ознайомити з ним всіх працівників.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

У розділі проведено аналіз стану охорони праці на деревообробних підприємствах, визначено основні ризики, пов'язані з травматизмом, і виявлено їхні причини. Описано небезпечні та шкідливі фактори на кожному етапі технологічного процесу.

Запропоновані заходи:

Встановлення захисних пристроїв на обладнання.

Використання засобів індивідуального захисту працівниками.

Організація систем вентиляції, пиловловлювачів і шумоізоляції.

Регулярний технічний контроль обладнання.

Проведення інструктажів, медичних оглядів та евакуаційних навчань.

Забезпечення належного освітлення та організації робочих місць.

Запропоновані кроки спрямовані на мінімізацію ризиків травматизму та поліпшення умов праці на деревообробному виробництві

Список джерел посилання

1. Василь Попович. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Навч. посібник для ВНЗ: у 2-х кн. Книга 1. (Частина I, II, III). – Львів: Вид-во Папуга, 2003. – 264 с.
2. Голубець В. М. Вплив електроіскрових покриттів інструментів на силові показники процесу фрезерування деревинних матеріалів / Голубець В. М., Гвоздецький В. М., Пашечко М. І., Шпуляр Ю. С // Фіз.-хім. механіка матеріалів, 2022, том 58, № 6. -С. 115-120.
3. Білоус О.В. Технологічні засади підвищення зносостійкості дереворізального інструменту комплексною електроіскровою і лазерною обробкою: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. – Хмельницький: ХНУ, 2002.
4. 3. Жарікова І. В., Нетис В. О. Вплив режимів фрезерування на верстаті з ЧПК на параметри виробів // Modern research in science and education. Proceedings of the 5th International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Chicago, USA. 2024. Pp. 301-303. URL:<https://sciconf.com.ua/v-mizhnarodna%20naukovo-praktichna-konferentsiya-odern-esearch-inscience-and-education-11-13-01-2024-chikago-ssha-arhiv/>
5. Фрезерна обробка заготовок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://stud.com.ua/36359/tovaroznavstvo/frezerna_obrobka_zagotovok.
6. Фрезерна обробка заготовок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cncmasters.com/types-of-milling-machine/>.
7. Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням : навч. посіб. Київ: КПІ, 2020. 158 с.
8. Technological process modeling aiming to improve its operations management [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/267150153_Technological_process_modeling_aiming_to_improve_its_operations_management

9. What is a regression model? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.scribbr.com/frequently-asked-questions/what-a-regression-model/>
10. Milling – selection of machining parameters [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://technologicalprocess.com/milling-machining-parameters/>.
11. Milling Formulas and Definitions [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com/en->
12. Surface finish [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/surface-finish/>.
13. Вибір каналу управління адаптивної системи верстата з ЧПК [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/>

.

.

.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

```
import cv2
import numpy as np
import serial # Для взаємодії з ЧПК через порт
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor

# ---- 1. Аналіз текстури деревини ----
def analyze_grain_orientation(image_path):
    """Аналіз текстури деревини для визначення кута волокон."""
    # Завантаження зображення
    image = cv2.imread(image_path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)

    # Преобробка: фільтрація та виділення контурів
    image_blurred = cv2.GaussianBlur(image, (5, 5), 0)
    edges = cv2.Canny(image_blurred, 50, 150)

    # Трансформація Хафа для пошуку ліній
    lines = cv2.HoughLines(edges, 1, np.pi / 180, 100)
    angles = []

    if lines is not None:
        for line in lines:
            rho, theta = line[0]
            angle = np.degrees(theta) # Конвертуємо в градуси
            if 0 <= angle <= 90:
                angles.append(angle)

    # Розрахунок середнього кута волокон
    mean_angle = np.mean(angles) if angles else 0
    return mean_angle

# ---- 2. Збір даних з датчиків ----
def read_sensors():
    """Зчитування даних із датчиків сили різання та вібрації."""
    # Симуляція даних (у реальному випадку потрібні драйвери датчиків)
    cutting_force = np.random.uniform(10, 50) # Сила різання (Н)
    vibration_level = np.random.uniform(0.1, 1.0) # Вібрація (мм/с)
    return cutting_force, vibration_level

# ---- 3. Розрахунок параметрів фрезерування ----
def calculate_cutting_parameters(grain_angle, cutting_force, vibration_level):
    """Розрахунок параметрів обробки на основі аналізу даних."""
    # Базові режими
    base_feed_rate = 1000 # мм/хв
    base_depth = 2 # мм
    base_speed = 12000 # об/хв

    # Корекція параметрів залежно від кута волокон
    if grain_angle < 30:
        feed_rate = base_feed_rate * 1.2
        depth = base_depth
        speed = base_speed
    elif 30 <= grain_angle <= 60:
        feed_rate = base_feed_rate
        depth = base_depth * 0.8
        speed = base_speed
```

```

else:
    feed_rate = base_feed_rate * 0.8
    depth = base_depth * 0.6
    speed = base_speed * 0.9

# Корекція параметрів залежно від сили різання та вібрації
if cutting_force > 40 or vibration_level > 0.8:
    feed_rate *= 0.9
    depth *= 0.8
    speed *= 0.95

return feed_rate, depth, speed

# ---- 4. Інтеграція з ЧПК ----
def send_to_cnc(feed_rate, depth, speed):
    """Надсилання розрахованих параметрів до ЧПК через G-code."""
    try:
        # Підключення до ЧПК через порт (приклад з Modbus або Serial)
        cnc_serial = serial.Serial(port="COM3", baudrate=115200, timeout=1)

        # Формування команд G-code
        commands = [
            f"G1 F{feed_rate:.2f}", # Швидкість подачі
            f"G1 Z-{depth:.2f}",    # Глибина різання
            f"S{speed:.2f}"         # Швидкість обертання шпинделя
        ]

        # Надсилання команд
        for cmd in commands:
            cnc_serial.write(f"{cmd}\n".encode())
            print(f"Відправлено на ЧПК: {cmd}")

        cnc_serial.close()
    except Exception as e:
        print(f"Помилка підключення до ЧПК: {e}")

# ---- 5. Основна програма ----
if __name__ == "__main__":
    # Шлях до зображення деревини
    image_path = "wood_texture.jpg"

    # Аналіз текстури
    grain_angle = analyze_grain_orientation(image_path)
    print(f"Середній кут волокон: {grain_angle:.2f}°")

    # Зчитування даних з датчиків
    cutting_force, vibration_level = read_sensors()
    print(f"Сила різання: {cutting_force:.2f} Н, Вібрація: {vibration_level:.2f} мм/с")

    # Розрахунок параметрів
    feed_rate, depth, speed = calculate_cutting_parameters(grain_angle, cutting_force, vibration_level)
    print(f"Рекомендовані режими різання:")
    print(f"- Швидкість подачі: {feed_rate:.2f} мм/хв")
    print(f"- Глибина різання: {depth:.2f} мм")
    print(f"- Швидкість обертання: {speed:.2f} об/хв")

    # Надсилання на ЧПК

```

```
send_to_cnc(feed_rate, depth, speed)
```

ДОДАТОК Б

Код інтерфейсу для роботи в реальному часі

```
import tkinter as tk
from tkinter import ttk
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
import random
import threading
import time

# ---- Дані для симуляції ----
def get_simulated_data():
    """Симуляція даних для моніторингу."""
    cutting_force = random.uniform(10, 50) # Сила різання (Н)
    vibration_level = random.uniform(0.1, 1.0) # Вібрація (мм/с)
    grain_angle = random.uniform(0, 90) # Кут волокон (градуси)
    return cutting_force, vibration_level, grain_angle

# ---- Функція для оновлення параметрів ----
def update_data():
    while True:
        global cutting_force, vibration_level, grain_angle
        cutting_force, vibration_level, grain_angle = get_simulated_data()
        time.sleep(1) # Затримка для симуляції

# ---- Функція для побудови інтерфейсу ----
def create_interface():
    def update_gui():
        """Оновлення графічного інтерфейсу в реальному часі."""
        force_label["text"] = f"Сила різання: {cutting_force:.2f} Н"
        vibration_label["text"] = f"Вібрація: {vibration_level:.2f} мм/с"
        angle_label["text"] = f"Кут волокон: {grain_angle:.2f}°"

        # Оновлення графіка
        x_data.append(time.time() - start_time)
        y_data.append(cutting_force)
        if len(x_data) > 20:
            x_data.pop(0)
            y_data.pop(0)
        ax.clear()
        ax.plot(x_data, y_data, label="Сила різання (Н)")
        ax.legend(loc="upper left")
        canvas.draw()

    root.after(1000, update_gui) # Оновлення кожну секунду

# ---- Налаштування вікна ----
```

```

root = tk.Tk()
root.title("Моніторинг процесу різання")
root.geometry("800x600")

# ---- Панель інформації ----
info_frame = ttk.LabelFrame(root, text="Поточні параметри",
padding=(10, 10))
info_frame.pack(fill="x", padx=10, pady=5)

force_label = ttk.Label(info_frame, text="Сила різання: -- Н",
font=("Arial", 14))
force_label.pack(anchor="w", pady=2)

vibration_label = ttk.Label(info_frame, text="Вібрація: -- мм/с",
font=("Arial", 14))
vibration_label.pack(anchor="w", pady=2)
angle_label = ttk.Label(info_frame, text="Кут волокон: --°",
font=("Arial", 14))
angle_label.pack(anchor="w", pady=2)

# ---- Графік ----
graph_frame = ttk.LabelFrame(root, text="Живий графік сили різання",
padding=(10, 10))
graph_frame.pack(fill="both", expand=True, padx=10, pady=5)

# Підготовка графіка Matplotlib
global x_data, y_data, ax, canvas, start_time
x_data, y_data = [], []
fig, ax = plt.subplots(figsize=(8, 4))
ax.set_title("Сила різання в реальному часі")
ax.set_xlabel("Час (с)")
ax.set_ylabel("Сила різання (Н)")

canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=graph_frame)
canvas.get_tk_widget().pack(fill="both", expand=True)

# ---- Запуск оновлення GUI ----
start_time = time.time()
update_gui()

# ---- Запуск програми ----
root.mainloop()

# ---- Запуск потоків ----
if __name__ == "__main__":
    # Запуск симуляції в окремому потоці
    threading.Thread(target=update_data, daemon=True).start()

    # Запуск графічного інтерфейсу
    create_interface()

```

ДОДАТОК В
Фрагмент керуючої програми