

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**Дослідження 3-х осьового фрезерного верстату з ЧПУ з
метою розширення технологічних можливостей**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21

Федорук Дмитро Леонідович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Сичук Віктор Анатолійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» _____ 20__ р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Луцьк – 2023 року

Луцький національний технічний університет

Факультет Транспорту та механічної інженерії
Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки
Другий (магістерський) рівень
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»
Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Р.Г. Редько

“ _____ ” _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Федорук Дмитро Леонідович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження 3-х осьового фрезерного верстату з ЧПУ з метою розширення технологічних можливостей, керівник кваліфікаційної роботи магістра Сичук В.А. затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» січня 2023 р., № 42/01-02.

2. Строк подання студентом роботи 14.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: документація фрезерного верстата РП1515 з ЧПК, документація лазерної головки SCULPFUN S9.

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

Вступ. 1 Загальна частина. 2 Конструкторська частина. 3 Технологічна частина. 4 Дослідна частина. Висновок. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Електрична схема приєднання лазерної головки до фрезерного верстата з ЧПК – 1 лист (ф. А1), Кріплення лазерної головки до каретки шпинделя – 1 лист (ф. А1), Тестова деталь та зображення для випробування – 1 лист (ф.А1), Обробка тестової деталі фрезеруванням – 1 лист (ф. А1), Обробка тестової деталі лазерним різанням та лазерним гравіюванням – 1 лист (ф.А1).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Загальний			
Конструкторський			
Технологічний			
Дослідний			

7. Дата видачі завдання _____

Керівник _____

(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	<i>Загальна частина.</i>		
2.	<i>Конструкторська частина.</i>		
3.	<i>Технологічна частина.</i>		
4.	<i>Дослідна частина.</i>		
5.	<i>Представлення роботи до захисту</i>		
6.	<i>Електронний варіант кваліфікаційної роботи магістра</i>		

Студент _____

(підпис)

Федорук Д.Л.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Сичук В.А.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Федорук Д.Л. Дослідження 3-х осьового фрезерного верстату з ЧПУ з метою розширення технологічних можливостей. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття кваліфікації другого (магістерського) рівня вищої освіти із спеціальності 131 Прикладна механіка спеціалізації технологія машинобудування. – Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2023.

Робота присвячена модернізації 3-х осьового фрезерного верстату з ЧПУ шляхом його гібридизації, а саме встановивши на його шпиндельну каретку додаткову лазерну головку. Приєднавши його електронну частину та здійснивши налаштування роботи в програмному середовищі Mach3 було здійснено успішні випробування фрезерної, лазерної та гравіювальної лазером робіт над однією, одноразово, встановленою деталлю.

Ключові слова: фрезерний верстат, ЧПУ, лазерна головка, лазерна різка, лазерне гравіювання, гібридизація верстата.

ANNOTATION

Fedoruk D.L. Research of a 3-axis CNC milling machine with the aim of expanding technological capabilities. - Manuscript.

Master's Qualification for Qualification of the Second (Master's) Level of Higher Education in Specialty 131 Applied Mechanics of Specialization mechanical engineering technology. - Lutsk National Technical University. - Lutsk, 2023.

The work is devoted to the modernization of a 3-axis CNC milling machine by hybridizing it, namely by installing an additional laser head on its spindle carriage. By connecting its electronic part and setting up the work in the Mach3 software environment, successful tests of milling, laser cutting and laser engraving work were carried out on one, one-time, installed part.

Keywords: milling machine, CNC, laser head, laser cutting, laser engraving, machine hybridization.

Вступ.....	
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	
1.1 Фрезерні верстати з ЧПК та їх функціональні можливості.....	
1.2 Лазерні верстати та їх функціональні можливості	
1.3 Висновки по розділу	
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	
2.1 Характеристики фрезерного верстата з ЧПК для його гібридизації	
2.2 Характеристики лазерної головки для гібридизації фрезерного верстата...	
2.3 Характеристики ЧПК плата Bitsensor для гібридизації фрезерного верстата.....	
2.4 Електрична схема під'єднання лазерної головки до плати ЧПУ та налагодження роботи в програмі Mach3.....	
2.5 Висновки по розділу.....	
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
3.1 Проектування кронштейну для під'єднання лазерної головки на каретку осі Z верстата	
3.2 Проектування тестової деталі.....	
3.3 Налагодження керуючих програм в FeatureCAM та LaserGRBL.....	
3.4 Висновки по розділу.....	
4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	
4.1 Проведення експерименту фрезерним обробленням.....	
4.2 Проведення експерименту лазерним різанням по контуру.....	
4.3 Проведення експерименту лазерним гравіюванням.....	
4.4 Висновки по розділу	
Висновок.....	
Список використаних джерел.....	
Додатки.....	

Розширення функціональних можливостей обладнання з ЧПК є дуже перспективним напрямком в модернізації високотехнологічних верстатах. В даній роботі здійснюється процес гібридизації фрезерного верстата шляхом встановлення на нього лазерної головки відповідно на даному обладнанні можна проводити як фрезерні так і лазерно-різальні та лазерно-гравіювальні роботи

Актуальність теми та доцільність магістерського дослідження важко переоцінити, бо об'єднуючи фрезерну обробку та лазерне гравіювання та різання на одному і тому ж обладнанні можна отримувати складні у виготовленні та по своїй сутності деталі користуючись перевагами як лазерного так і фрезерного оброблення.

Мета роботи полягає у встановленні на фрезерний верстат з ЧПК лазерної головки зробивши даний верстат більш гнучким у використанні, тобто на ньому можна проводити як фрезерні так і лазерні операції включно і над однією встановленою деталлю.

Об'єкт дослідження – фрезерний верстат з ЧПК, лазерна головка і відповідно електронні плати для цього всього обладнання. Також варто згадати і про програмне забезпечення яке також потрібно налагодити для коректної роботи вдосконаленого обладнання.

Предмет дослідження – можливість розширення функціоналу фрезерного верстата оснащуючи його лазерною головкою з можливістю налагодження їх роботи в програмних продуктах FeatureCAM, Mach3, LaserGRBL і подібних.

Методи дослідження, що застосовувалися при виконанні роботи пов'язані з 3D моделюванням, розробки G-коду для обробки тестової деталі в програмі FeatureCAM та LaserGRBL для програмного продукту Mach3 що безпосередньо керує роботою гібридного верстата.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробці та реалізації ідеї щодо гібридизації фрезерного верстата встановивши на ньому лазерний модуль, що дає можливість обробляти деталь, встановлену на верстат лише раз, фрезерним та лазерним методом.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці нового різновиду верстата з ЧПК на якому можна проводити фрезерні та

лазерні операції, відповідно таке обладнання може використовуватися на підприємствах з меншими виробничими площами, оскільки по суті замість двох верстатів виробничу площу займає один, виконуючи роботу двох.

Особистий внесок здобувача. Основні результати, які становлять суть магістерської роботи, висновки і рекомендації не викликають сумніву. Було поставлено мету та задачі досліджень, також проведено усі роботи щодо проектування, виготовлення та налагодження додаткового обладнання з ЧПУ при якому гібридний фрезерно-лазерний верстат здійснює відповідні йому види робіт. З метою перевірки розширеної функціональності обладнання з ЧПК на ньому успішно проведені експерименти 3 операцій, а саме фрезерне та лазерне різання, лазерне гравіювання.

Апробація отриманих результатів роботи. Основні ідеї та результати роботи розглядалися на науково-практичних семінарах кафедри.

Структура та обсяг роботи. Випускна робота магістра має вступ, 4 розділи, висновки, список використаних джерел. Результат досліджень наведений на ___ сторінках машинописного тексту, ілюструється ___ рисунками та ___ таблицями. Список використаних джерел складає ___ найменувань.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Фрезерні верстати з ЧПК та їх функціональні можливості

Процес ЧПК

Процес ЧПК був розроблений у 1950-х роках і зробив великий стрибок вперед у 1980-х роках із додаванням комп'ютеризації. На відміну від інших виробничих процесів, ЧПК починається з візуалізації комп'ютером, який створює дво- або тривимірне представлення деталі, яка буде виготовлена. САПР, система автоматизованого проектування, використовується для створення інструкцій, які керують верстатом з ЧПК у процесі виробництва.

Програмне забезпечення САПР точно визначає розміри та вимоги до деталей. Інженери та дизайнери покладаються на нього для перевірки, вдосконалення та схвалення прототипів проектування. Це дає можливість детально перевірити їхні ідеї без необхідності виготовляти прототип на машині. САПР пропонує переваги безпечної роботи над концепцією без втрати часу чи праці. Багато предметів, представлених сьогодні на ринку, спочатку були створені програмним забезпеченням САПР.

Коли деталь виявиться прийнятною, її потрібно перетворити на мову програмування для верстата з ЧПК. Це завершується за допомогою використання САМ, автоматизованого виробництва, який змінює інструкції для верстата з ЧПК на загальний або різний код, G-Code або M-Code.

Перекладена інформація надсилається на виробництво для налаштування верстата з ЧПК і завантаження програм САПР. Налаштування обладнання включає додавання інструментів, введення заготовки та тестування процесу. Після того, як верстат з ЧПК запрограмований, вставляється сировина або заготовка. Машина автоматично виконує набір запрограмованих інструкцій для створення готової деталі.

Процес ЧПК здатний змінювати форму різних матеріалів, таких як метал, пластик, скло або дерево. Його можна запрограмувати на виробництво

спеціально розроблених деталей відповідно до точних специфікацій за лічені хвилини. Сучасне виробництво залежить від ЧПК для ефективного та економічного виробництва різноманітної кількості продуктів.

Фрезерування з ЧПК є найпоширенішою формою процесу з ЧПК і було першим типом, використаним у верстатах з ЧПК у 1952 році. Фрезерування є одним із найстаріших виробничих процесів, який розпочався на початку 19 століття. Це ідеальний партнер для методу ЧПК, оскільки він призначений для видалення матеріалу з заготовки, що є серцевиною процесу ЧПК. Приклад 3-х осьового портального фрезерного верстата з ЧПК представлено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Приклад 3-х осьового фрезерного верстата з ЧПК

Види фрезерних операцій

Точність фрезерування з ЧПК робить його придатним для кількох галузей промисловості у виробництві різноманітних виробів. Використовуючи програму САПР, фрезерування з ЧПК може створювати прототипи для перевірки, окремі деталі, кілька деталей або повні невеликі тиражі. Його універсальність сприяє його популярності як виробничого процесу. Фрезерування з ЧПУ має чотири загальні процеси фрезерування.

Торцеве фрезерування — це обробка плоскої поверхні, розташованої під прямим кутом до осі різця. Фрези для цього процесу мають зуби на периферії та торці інструменту. Кожен набір зубів виконує певну функцію: периферійні зуби виконують різання, а лицьові зуби виконують обробку. Торцеве фрезерування забезпечує більш високу якість обробки і може використовуватися для вертикальних або горизонтальних методів.

Фрезерування площини, фрезерування поверхні або фрезерування плити — це коли вісь фрези паралельна поверхні, що фрезерується. Це виконується заготовкою, встановленою паралельно поверхні столу фрезерного верстата, фрезою, встановленою на стандартній оправці фрезерного верстата. Оправка підтримується в горизонтальній площині між шпинделем фрезерного верстата та однією або кількома опорами оправки. Заготовка притискається безпосередньо до столу. Площинні фрезерні інструменти мають зуби по периферії ріжучого інструменту. Широкі або вузькі різці можна використовувати, якщо вузькі різці роблять глибокі надрізи, а широкі різці використовуються для великих поверхонь. Якщо заготовка потребує видалення великої кількості матеріалу, оператор використовує фрезу з грубими зубами, повільну швидкість різання та високу швидкість подачі для отримання приблизної геометрії деталі, після чого фрезу з тонкими зубами, більшу швидкість різання, і повільніша швидкість подачі деталей.

Кутове фрезерування — це фрезерування плоских поверхонь, у яких вісь ріжучого інструменту розташована під кутом до поверхні заготовки. Одна кутова фреза використовується для кутових поверхонь, таких як фаски, зубці

та канавки. Фрезерування «ластівчин хвіст» є типовим прикладом кутового фрезерування, де кут фрези становить 45° , 50° , 55° або 60° залежно від конструкції. Шпунт або канавку спочатку обробляють за допомогою бічної фрези, після чого кутові сторони та основу обробляють кутовою фрезою.

Фрезерування складних форм — це функція фрезерування нерівних поверхонь, наприклад вигнута плоска поверхня або всі криві. Він може завершити формування одним розрізом за допомогою сформованої фрези або фрези, сформованої відповідно до контуру розрізу. Фрезерування загальної форми передбачає фрезерування напівкруглих виїмок і радіусних форм на заготовках, також фрезерування складних форм геометрично які описати неможливо. Типи різців для фрезерування форми - це опуклі, увігнуті та кутові різці, які можуть фрезерувати до необхідного круглого діаметру. Фрезерування форм може створювати складні візерунки або фрезерувати кілька складних поверхонь за один розріз. За допомогою цього процесу також можна формувати напівсферичні та напівкруглі порожнини, опуклості та складні контури.

1.2 Лазерні верстати та їх функціональні можливості

Лазерний верстат з ЧПК — це частина обладнання з числовим програмним керуванням, яка використовує сфокусований потужний лазерний промінь для маркування, різання або гравірування матеріалу для створення нестандартних форм. Його унікальний дизайн і робота забезпечують високу точність, особливо під час вирізання складних форм і невеликих отворів.

Що таке лазерний різак з ЧПК і як він працює?

Як і будь-який інший тип верстатів з ЧПК, лазерний верстат з ЧПК покладається на комп'ютерне числове керування та комп'ютерні інструкції (G-код) для виконання послідовності операцій різання.

Однак лазерні верстати з ЧПК дещо відрізняються від звичайних верстатів з ЧПК своєю конструкцією та методом різання.

Лазерне різання з ЧПУ – це безконтактний термічний процес. Лазерний різак з ЧПК має лазерну головку, що містить лінзу лазерного фокусування та сопло. Через сопло ця головка та лінза фокусують лазерний промінь — потік світла дуже високої інтенсивності — на заготовці, розплавляючи та розрізаючи заготовку, щоб утворити бажану форму. Лазери з ЧПК використовують стиснений газ (також протікає через сопло, яке пропускає лазерний промінь), щоб охолодити фокусуючу лінзу та вивести випарений метал із заготовки.

Коли ви фокусуєте потужний лазерний промінь на точку на металевій поверхні, щільність тепла в цій точці стає високою, що призводить до швидкого нагрівання та часткового (або повного) випаровування цієї точки на металі. Потім технологія ЧПК контролює послідовність рухів цієї лазерної головки та лазерного променя на робочій поверхні для формування бажаних нестандартних форм і функцій.

Які є типи верстатів для лазерного різання з ЧПК?

Волоконний лазерний різак

Лазерні різак з ЧПК зазвичай класифікуються на основі стану активного лазерного середовища (тверда речовина, рідина або газ) і компонентів активного лазерного середовища (наприклад, CO₂, азот тощо). Ось три типи лазерів, які найчастіше використовуються сьогодні:

ЧПУ CO₂ лазерний різак

ЧПУ кристал лазерний різак

Волоконний лазерний різак з ЧПУ

CNC CO₂ лазерний різак

CO₂-лазерний різак — це тип газового лазера, який використовує вуглекислий газ як активне лазерне середовище. Вони є найпоширенішим типом лазерних різаків насамперед через їх високу потужність і ефективність.

CO₂-лазерні різакі створюють вихідну потужність до 15 кВт і ефективність до 30% (найвища серед усіх газових лазерних різаків). Вони ідеально підходять для різання тонких деталей і гострих кутів, особливо в листовому металі або металі товщиною менше 10 мм. Більш потужні CO₂-лазерні різакі також можуть забезпечити хорошу якість різання на більш товстих металевих поверхнях. Приклад CO₂-лазерного верстата з ЧПК наведено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Приклад CO₂-лазерного верстата з ЧПК

Волоконний лазерний різак з ЧПУ

Волоконно-лазерні різакі — це новітня лазерна технологія, яка використовує набір діодів для створення променя, який фокусується через волоконно-оптичний кабель. Волоконні лазерні різакі дозволяють досягти швидшого та чистішого процесу різання, ніж CO₂-лазерні різакі, особливо для матеріалів товщиною менше 5 мм.

Хоча волоконні лазери сумісні з багатьма матеріалами, ви повинні звернути особливу увагу на срібло.

Срібло утримує тепло від лазера та починає деформуватися під час операцій різання, що ускладнює отримання бажаної обробленої деталі. Як

наслідок, провідні верстати зазвичай використовують кронштейн як радіатор для відведення тепла від срібної заготовки під час операцій різання волоконним лазером. Приклад волоконного лазерного верстата з ЧПК наведено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Приклад волоконного лазерного верстата з ЧПК

ЧПК Crystal Laser Cutter

Кристалічні лазерні різачки з ЧПК використовують промені, виготовлені з таких кристалів, як легований неодимом ітрій-алюмінієвий гранат (Nd:YAG) і легований неодимом ортованадат ітрію (Nd:YVO).

Кристалічні лазерні різачки зазвичай мають вищу інтенсивність (або потужність лазера), ніж CO₂-лазерні різачки, тобто ви можете використовувати їх для різання більш товстих металів. Ці лазери також мають широкий діапазон сумісності з матеріалами, включаючи метали, скло, дерево та пластик. Приклад кристалічного лазерного верстата з ЧПК наведено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Приклад кристалічного лазерного верстата з ЧПК

Переваги лазерного різання з ЧПК

Ось перелік деяких переваг процесу лазерного різання з ЧПК перед звичайними процесами обробки з ЧПК:

- лазерне різання з ЧПК створює більш складні конструкції та отвори розміром до 2 мм із високою точністю.
- лазерне різання з ЧПК забезпечує чіткіші розрізи, усуваючи потребу в додаткових операціях постобробки (або фінішної обробки).
- лазерні різачки з ЧПК усувають потребу в декількох ріжучих інструментах або спеціальних інструментах, наприклад у звичайних фрезерних верстатах з ЧПК.
- безконтактний характер процесу лазерного різання зменшує ризик викривлення матеріалу та його забруднення, що робить його ідеальним для обробки компонентів, які будуть використовуватися в медичній промисловості.

1.3. Висновки по розділу

Враховуючи вище приведену інформацію виникла ідея поєднати в одному виробничому обладнанні функції як фрезерного так і лазерного верстата. Причому аналізуючи зображення фрезерних та лазерних верстатів можна помітити їх велику схожість в конструкції елементів, що забезпечують переміщення виконавчого органу, тобто чи то фрезерного шпинделя, чи то лазерної головки. Поєднуючи функціонали двох верстатів в один дозволить проводити різноманітні фрезерні операції над заготовкою з подальшою лазерною обробкою. Важливим моментом у здійсненні обробки на такому гібридному обладнанні є те що варто закріпити заготовку лише раз та провести обробні дії над нею, тобто похибка повторного закріплення деталі (для прикладу на подальшу обробку на окремому лазерному верстаті) буде рівна нулю. Також варто відмітити, що над заготовкою можна проводити за один установ різну обробку, до прикладу фрезеруванням здійснити елемент типу не наскрізний отвір чи карман, а далі лазером здійснити гравіювання і подальшу обрізку деталі від основного тіла заготовки. Також поєднуючи лазерну обробку з фрезерною, можна до прикладу об'єднувати такі елементи як фаски чи то округлення (тобто об'ємні елементи) з лазерним гравіюванням чи то обрізкою. Таким чином можна отримувати доволі унікальні деталі, які в іншому випадку необхідно було обробляти на мінімум двох верстатах з ЧПК. Також перевагою в даній ідеї є те що по суті маючи механічну на ЧПК основу обладнання можна отримати два верстати, що є економічно доцільним і займає менше виробничої площі

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Характеристики фрезерного верстата з ЧПК для його гібридизації

В якості дослідного фрезерного верстата, на основі якого буде проходити гібридизація, прийmemo фрезерний верстат з ЧПК портального типу РП1515. На рисунку 2.1. наведено зображення даного обладнання.



Рисунок 2.1 – Фрезерний верстат з ЧПК портального типу РП1515

Приведемо його основні технічні характеристики/

Серія верстатів “РП” – спроектовані та призначені для розкрою та обробки листових матеріалів:

- **дерева і матеріалів на основі дерева** (ДСП, фанера, ДВП, МДФ)
- **усі види пластиків** (ПВХ, капролон, фторопласт, поліетилен, ABS, різні композити)

Основні технічні характеристики верстата “РП 1515” з ЧПК:

- **Робоче поле (зона обробки):** 1500 x 1500 x 170 мм
- **Матеріал станини:** сталь

- Матеріал робочого поля: ДСП плита
- Шпиндель: 2200 Вт, Водне охолодження
- Тип шпинделя: безколекторний
- Обороти шпинделя: від 6000 до 24000 об/хв
- Приводна механіка: осі X і Y – прямозуба зубчаста рейка М 1.5, вісь Z – кульково-гвинтова пара 1605
- Напрявні: осі X і Y – вали на опорі 20 мм, вісь Z – WCS 16 мм
- Тип двигунів: крокові, NEMA 34HS 4802
- Момент утримування: 450 Н*см
- Похибка обробки: 0.2 мм
- Швидкість переміщення (холостий хід): до 10 000 мм/хв
- Швидкість обробки (різання): 8 000 мм/хв
- Кріплення заготовки: механічне
- Типорозмір цанги: ER20
- Максимальний діаметр хвостовика фрези: 12мм
- Підключення до ПК: USB
- Керуюча програма та ОС: Mach3 та ОС Windows
- Формат файлів: Mach3, mm
- Електроживлення: 220 V, 50 гц
- Енергоспоживання: 1000 Вт (3000 пікове)
- Габарити: 200 x 200 x 160 см
- Вага нетто: 470 кг
- Гарантія: 12 місяців

Верстат поставляється повністю готовим до роботи. Перед відправкою (кожен) верстат проходить перевірку і налаштування, також додаються файли з налаштуваннями верстата, інструкціями, ПЗ.

Комплект поставки:

- Верстат – 1 шт.
- Блок управління – 1 шт.
- Фрези – 3 шт.

- Силовий кабель – 1 шт.
- USB кабель – 1 шт.
- Інструкція з налаштування та експлуатації та інсталятор керуючої програми Mach3

Даний верстат обраний через його можливість проводити розкрій великогабаритних листів заготовок.

2.2 Характеристики лазерної головки для гібридизації фрезерного верстата

В якості фрезерної головки, яка буде здійснювати гравіювальні та різальні операції, було обрано SCULPFUN S9. На рисунку 2.2. представлено зовнішній вигляд обраного лазерного модуля.



Рисунок 2.2 – Лазерна головка SCULPFUN S9

Приведемо опис її основних технічних характеристик та можливостей.

1. Широко сумісний дизайн: Лазерний модуль SCULPFUN S9 має розумний і широко сумісний структурний з'єднувальний пристрій, який можна добре адаптувати до різних лазерних гравірувальних верстатів, лазерних різальних машин, 3D-принтерів, фрезерних верстатів з ЧПУ тощо. Його можна встановити на різноманітні брендових машин, таких як SCULPFUN, АТОМSTACK, лазерна гравірувальна машина ORTUR або інші машини типу DIY.

2. Технологія формування лазерного променя потужністю 90 Вт: S9 використовує найновішу технологію формування лазерного променя потужністю 5,5 Вт. Ефект цієї техніки полягає в тому, щоб отримати лазерний промінь надвисокої щільності, це більше, ніж просто тонший фокус, весь промінь дуже тонкий. Він має ультратонкий лазерний фокус 0,06 мм із надзвичайно глибоким проникненням і точністю різання, він може різати деревину товщиною до 15 мм, акрил 10 мм, вирізати кераміку та нержавіючу сталь, це майже досягає ефекту CO₂-лазера потужністю 90 Вт.

3. Конструкція швидкого фіксованого фокусування: лазерний модуль S9 має найшвидший дизайн фокусування на ринку. Він поєднує в собі лінзу з фіксованим фокусом і розсувну конструкцію. Вам потрібно лише посунути лазер і затягнути гвинти, щоб завершити фокусування. Це робить використання лазера дуже простим. Використання його на різних машинах не впливає на його функцію ковзного фіксованого фокусування.

4. Кругла конструкція кришки для захисту очей: кришка лазерного фільтра фільтрує 98% ультрафіолетового світла для очей. Ви та люди, які вас оточують, можете спостерігати за лазерним гравіюванням з усіх кутів, не надягаючи захисних окулярів. У той же час це може завадити тваринам вловити лазерний промінь.

5. Загальна плата модуляції (фрагмент плати наведено на рисунку 2.3) 12В / ШІМ: вона використовує звичайну плату модуляції 12В / ШІМ, яку можна адаптувати до звичайних материнських плат GRBL або CNC.



Рисунок 2.3 – Фрагмент плати модуляції 12В / ШІМ на лазерній головці SCULPFUN S9.

Вище приведена головка була обрана з міркувань її простоти у приєднанні до електроніки фрезерного верстату з ЧПУ та простоті в налагодженні в програмному забезпеченні Mach3, яке управлятиме роботою гібридного верстата.

2.3 Характеристики ЧПК плата Bitsensor для гібридизації фрезерного верстата

Також важливо ознайомитися з основними технічними характеристиками ЧПК плати (загальний вигляд наведено на рисунку 2.4), яка керує роботою фрезерного верстата з ЧПК. Це необхідно для аналізу методу приєднання (електрична схема з необхідними входами та виводами наведено на рисунку 2.5) до неї обраної лазерної головки, яка буде керуватися та живитися від електроніки фрезерного верстату з ЧПК.

Також приведемо технічні характеристики даного електронного модуля:

- Підтримуються 4 незалежні осі переміщення
- Вихідна частота 100кГц, з мінімальним алгоритмом інтерполяції помилок та високою точністю обробки
- USB – інтерфейс, що дозволяє підключити контролер до ПК або ноутбука



Рисунок 2.4 – ЧПК плата Bitsensor для керування верстатом.

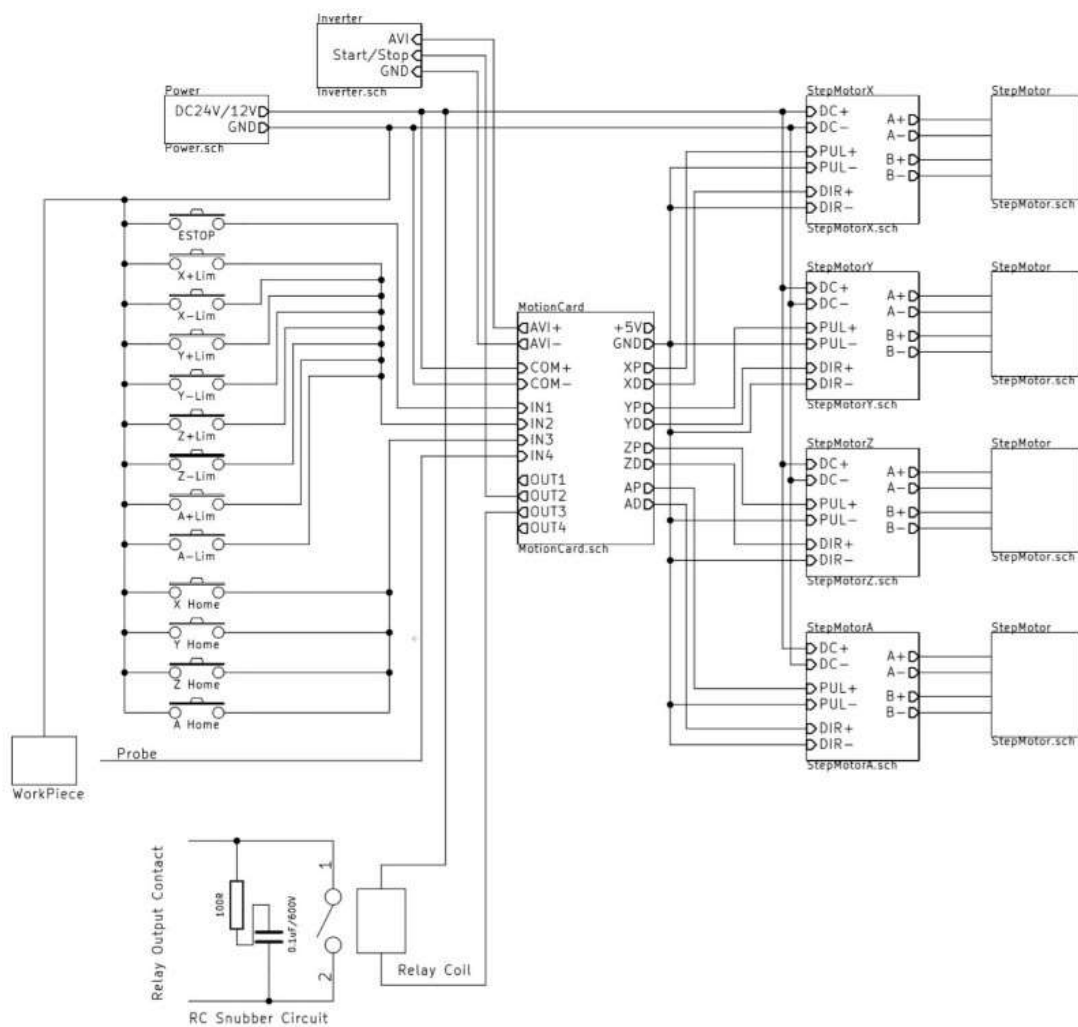


Рисунок 2.5 – ЧПК плата Bitsensor логіка та роз’єми вводу/виводу.

- Підтримка операційних систем Windows XP та 7 (версій x32 та x64)
- Управління шпинделем:
- установка частоти обертання – ШІМ
- встановлення частоти обертання – аналоговий вихід
- запуск/зупинка шпинделя – реле
- 4 цифрові опто-ізолювані входи, які можуть використовуватися для:
 - Кнопка аварійного зупинки (E-Stop)
 - Кінцеві вимикачі (Limits)
 - Датчики визначення абсолютних координат верстата (Home)
 - Датчик визначення висоти інструменту над заготівлею (Probe)
 - 12 цифрових входів
 - 4 цифрові опто-ізолювані виходи
 - Можливість підключити ротаційний енкодер (Ручний Генератор Імпульсів, MPG)

2.4 Електрична схема під'єднання лазерної головки до плати ЧПУ та налагодження роботи в програмі Mach3

Ознайомившись з характеристиками плати ЧПК, що керує фрезерним верстатом та характеристиками плати модуляції 12В / ШІМ лазерної головки можна переходити до визначення схеми їх приєднання. На рисунку 2.6 представлена електрична схема приєднання лазерної головки SCULPFUN S9 з ЧПК платою Bitsensor.

Отже на платі модуляції лазерної головки є 3 виводи. Вивід 12В треба приєднати до 12В блока живлення (тобто це максимальна напруга яка може подаватися на лазерну головку). Вивід PWM треба приєднати до виводу AVI плати Bitsensor (тобто це сигнал який йде з плати, що відповідає за потужність світлового потоку лазерної головки). Вивід GND можна приєднати до виводу АСМ плати Bitsensor який в свою чергу приєднаний до GND блока живлення (тобто коло на блоці живлення замикається і система може працювати).

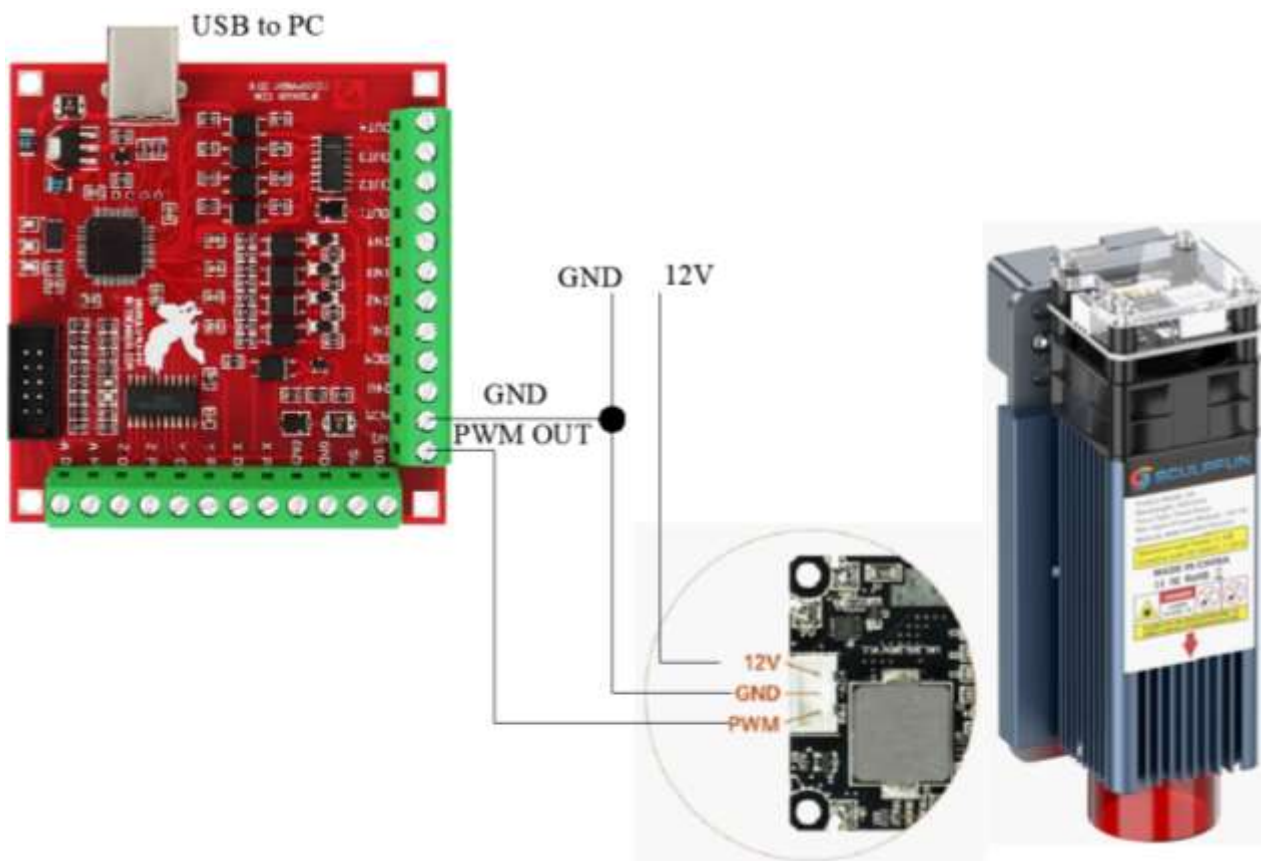


Рисунок 2.6 – Електрична схема приєднання лазерної головки SCULPFUN S9 з ЧПК платою Bitsensor.

Виконавши приєднання плати лазера до плати Bitsensor варто також здійснити певні налагодження в програмному забезпеченні Mach3 оскільки дана програма керує роботою самого верстата і повинна злагоджено працювати з новим для неї пристроєм.

Отже, в основному вікні програми (рисунок 2.7) необхідно зайти у вкладку CONFIG, а там далі у підвкладку SPINDLE PULLEYS. Тобто по суті налагодження програмного забезпечення з роботою лазерної головки полягає в налагодженні імітації роботи фрезерного шпинделя.

Відповідно у наступному вікні, що появиться (рисунок 2.8) необхідно встановити мінімальне та максимальне значення потужності лазерного променя. Тобто при 0% потужності лазерного променя «частота обертання шпинделя» дорівнює 0 об/хв., а при 100% потужності лазерного променя «частота обертання шпинделя» дорівнює 3000 об/хв. Для прикладу при 50%

потужності лазерного променя «частота обертання шпинделя» буде дорівнювати 1500 об/хв.

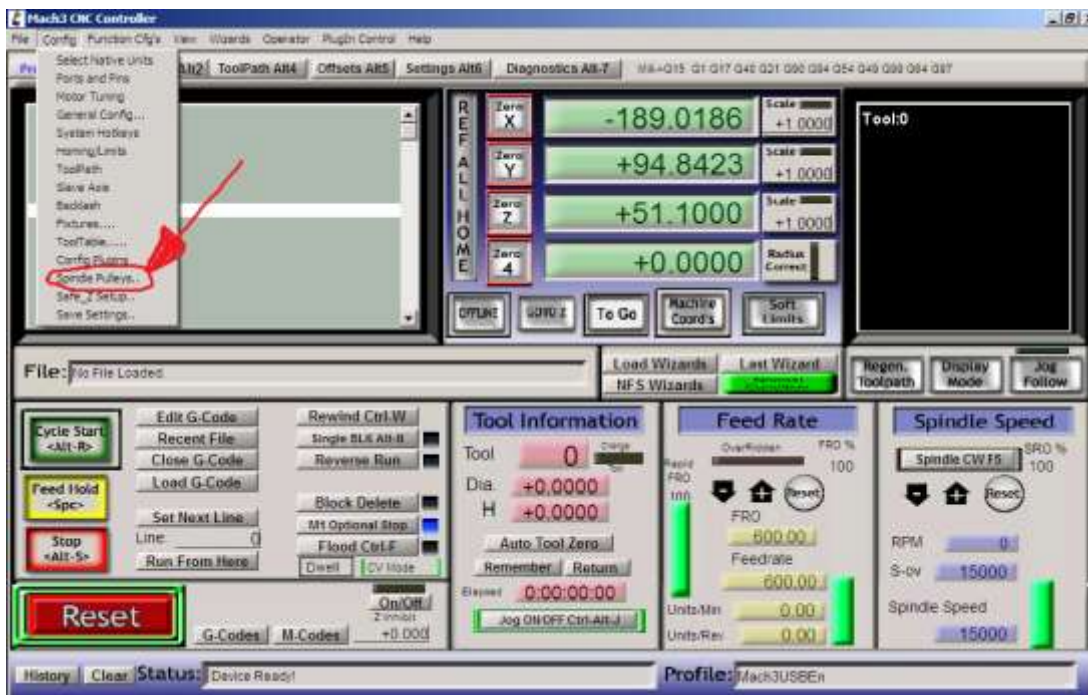


Рисунок 2.7 – Основне вікно програмного забезпечення Mach3.

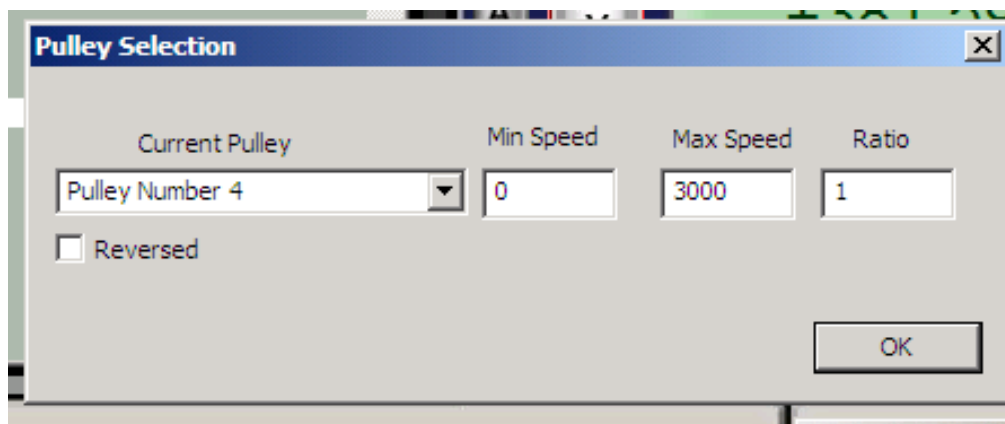


Рисунок 2.8 – Налаштування мінімального і максимального значення потужності лазерного променя.

Така градація потужності лазерного променя необхідна для виконання припустимо граверних операцій, при яких необхідно добитися сірого відтінку, який можна досягнути зменшенням потужності лазерного променя.

2.5. Висновки по розділу

В даному розділі було проведено аналіз технічних характеристик фрезерного верстата з ЧПК РП1515 з метою його гібридизації, тобто приєднання лазерної головки, що розширить його функціональні можливості. Для цього також було оцінено технічні характеристики плати ЧПК верстата Bitsensor та лазерної головки SCULPFUN S9 з його платою модуляції 12В / ШІМ з метою розуміння чи дані електронні компоненти в принципі сумісні. Порівняння можливостей плат підтвердило їх сумісність. Тому після їх приєднання в необхідні вводи виводи провідниками також було здійснено програмне налагодження роботи лазерної головки в програмному забезпеченні Mach3, що безпосередньо керує роботою фрезерного верстата з ЧПК.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Проектування кронштейну для під'єднання лазерної головки на каретку осі Z верстата

Для приєднання лазерної головки до каретки фрезерного верстата на якій розташований шпиндель необхідно спроектувати та виготовити кронштейн спеціальної форми, щоб забезпечити наступні умови:

- можливість його приєднання до каретки верстата;
- можливість на даному кронштейні прикріпити лазерну головку;
- спроектувати даний кронштейн достатньо жорстким, щоб протистояти вібраціям при роботі верстату
- спроектувати кронштейн таким чином, щоб він не заважав штатним деталям та механізмам фрезерного верстата.

Проектування проводимо в програмному забезпеченні SolidWorks.

В режимі ескіз будуємо фігуру так як показано на рисунку 3.1

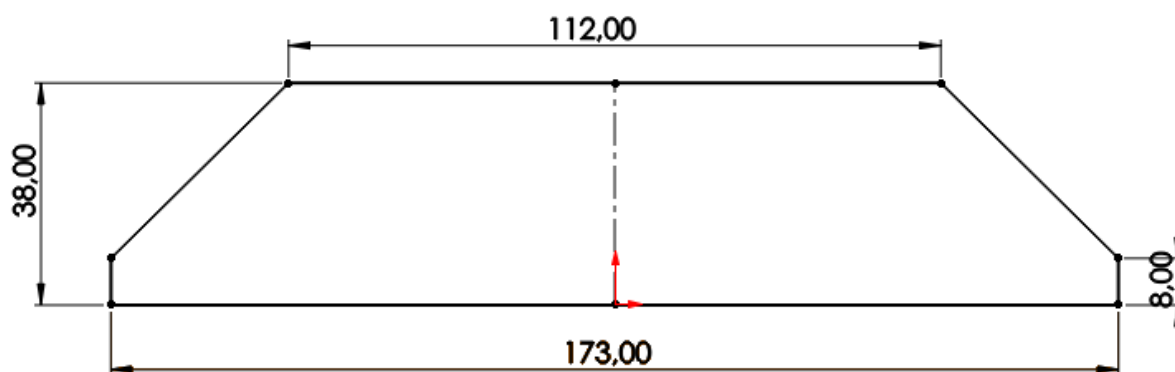


Рисунок 3.1 – Креслення основи кронштейну.

Далі за допомогою функції BOSS EXTRUDE витягуємо вище накреслений контур на довжину 1,5 мм (товщина листового металу для виготовлення кронштейну). В результаті отримаємо об'ємну фігуру представлену на рисунку 2.

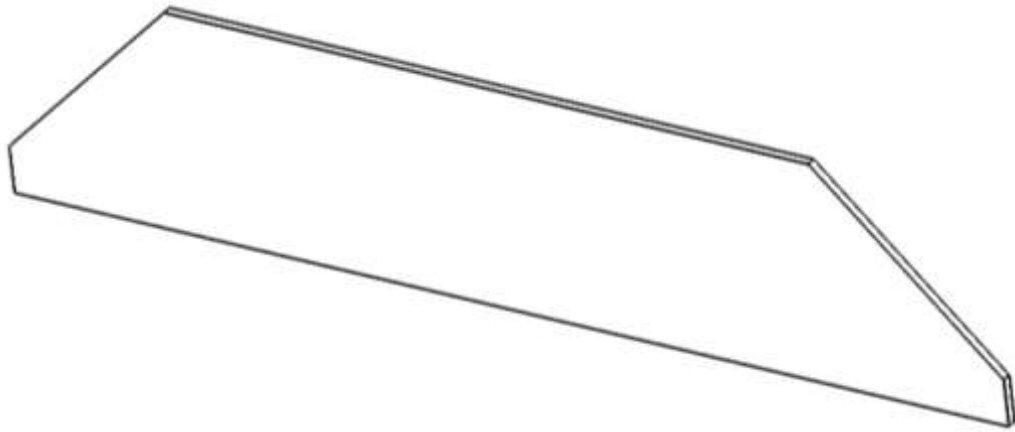


Рисунок 3.2 – Об’ємна фігура основи кронштейну.

Далі в режимі ескізу креслимо по контуру уже побудованої моделі з ліній новий контур та зміщуємо його на віддаль 1,5 мм. Закриваємо контур двома горизонтальними лініями. Результат креслення ескізу наведено на рисунку 3.3.

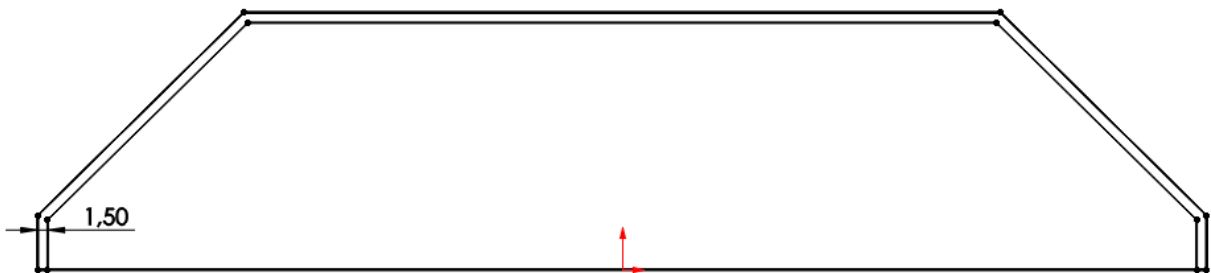


Рисунок 3.3 – Ескіз видовжених стінок.

Отримане креслення за допомогою функції BOSS EXTRUDE витягуємо на довжину 68 мм. В результаті отримаємо тривимірну модель (рис. 3.4).

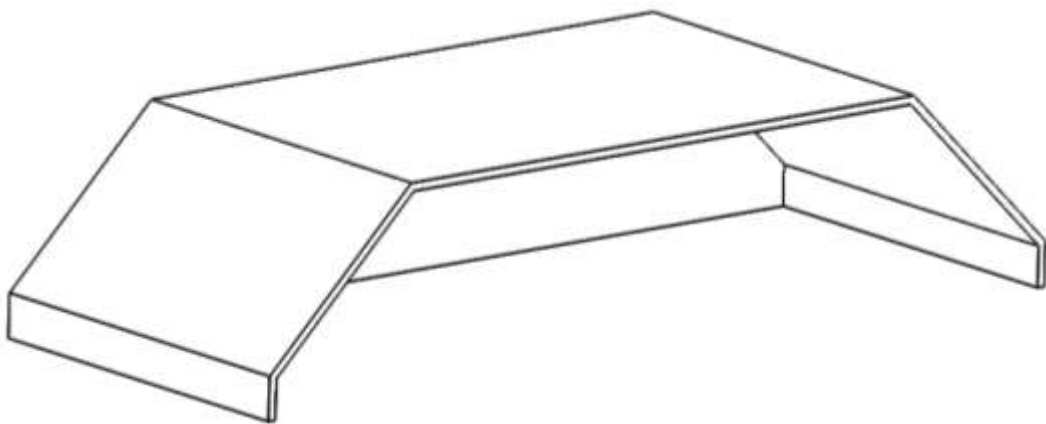


Рисунок 3.4 – 3D модель тіла кронштейну.

Далі необхідно спроектувати отвори та їх розміщення на визначених стінках кронштейну щоб закріпити на ньому лазерну головку, контактор для проводів, сам кронштейн в зборі на каретку фрезерного верстата.

В режимі ескізу будемо отвори для кріплення лазерної головки взборі з кронштейном на каретку верстата. Результат розрахунків та креслення представлено на рисунку 3.5.

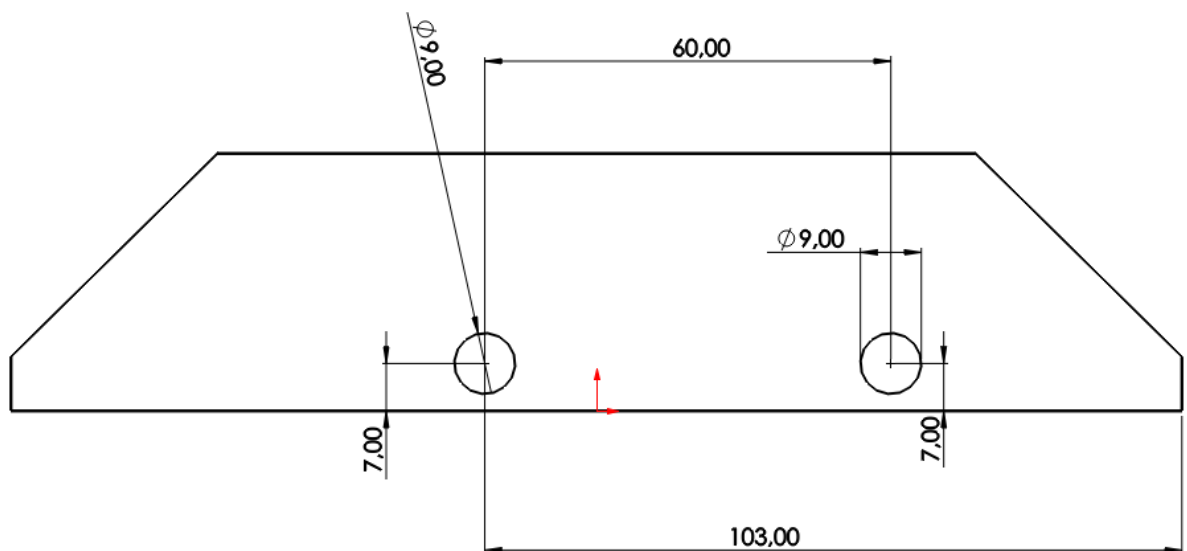


Рисунок 3.5 – Ескізне креслення отворів кріплення лазерної головки взборі з кронштейном на каретку верстата.

Застосуємо функцію CUT EXTRUDE для вирізу отворів в монолітній стінці деталі. В результаті отримаємо деталь з двома отворами (рис. 3.6).

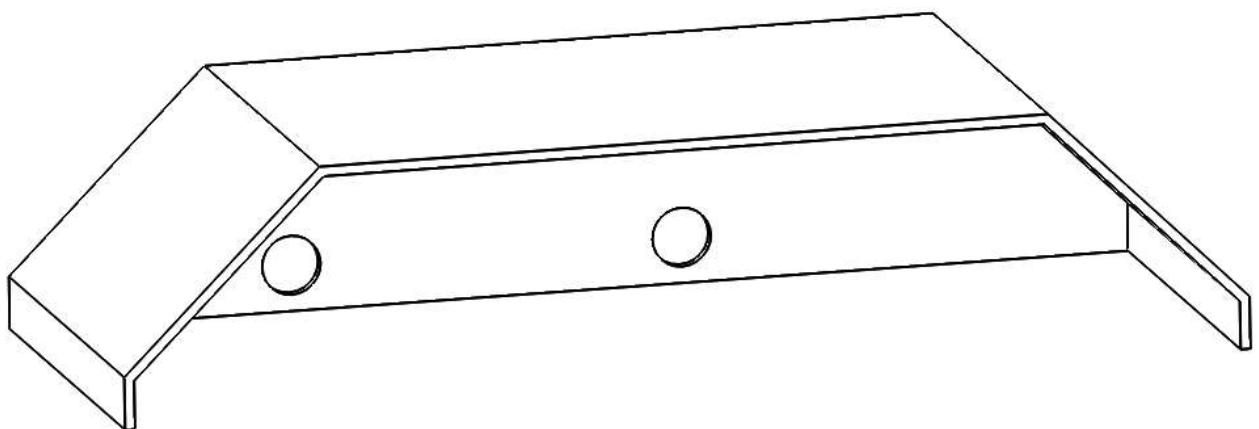


Рисунок 3.6 – Монолітна деталь кронштейн з двома отворами.

Аналогічним чином на відповідних стінках будуюмо отвори для кріплення контактора та для кріплення самої лазерної головки. Результати ескізних креслень представлено на рисунку 3.7 та на рисунку 3.8.

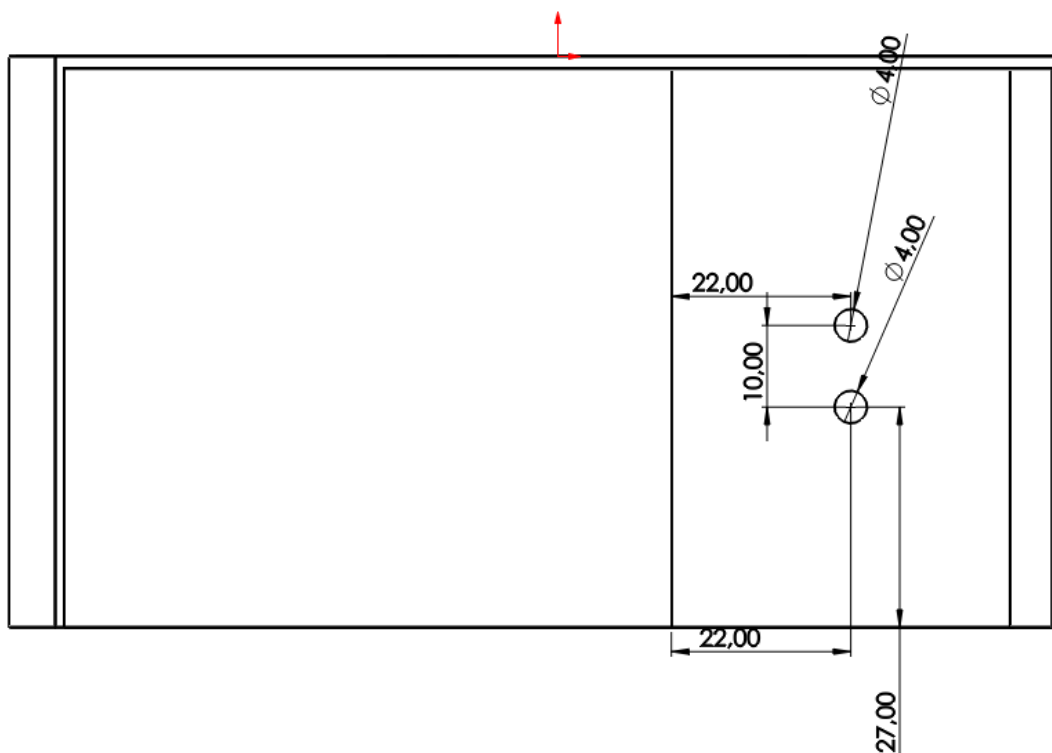


Рисунок 3.7 – Ескізне креслення отворів кріплення контактора.

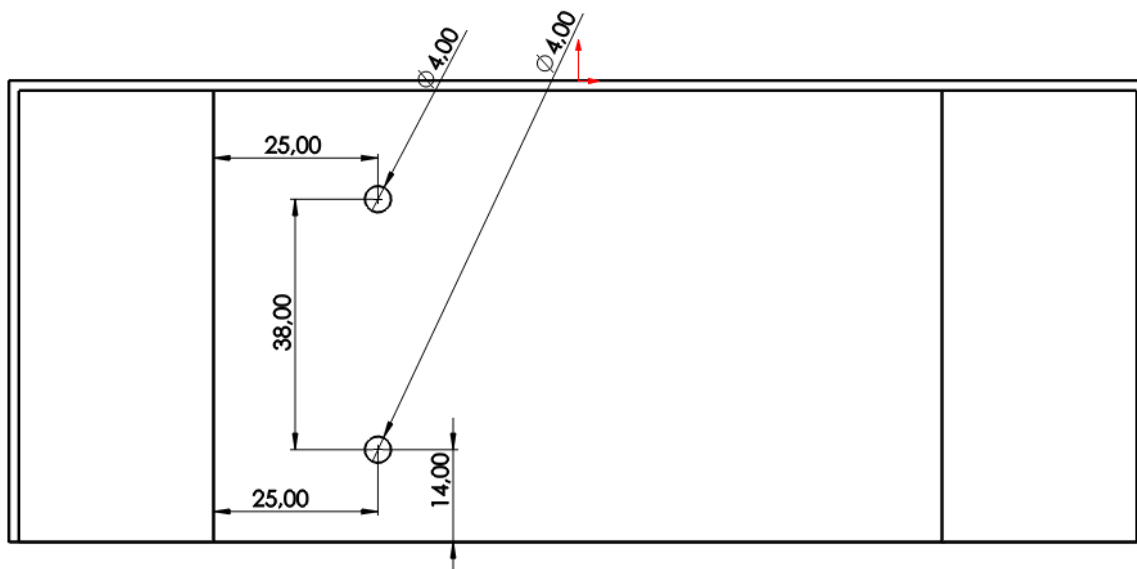


Рисунок 3.8 – Ескізне креслення отворів кріплення лазера.

В результаті проведених операцій отримаємо готову 3Д модель представлену на рисунку 3.9.

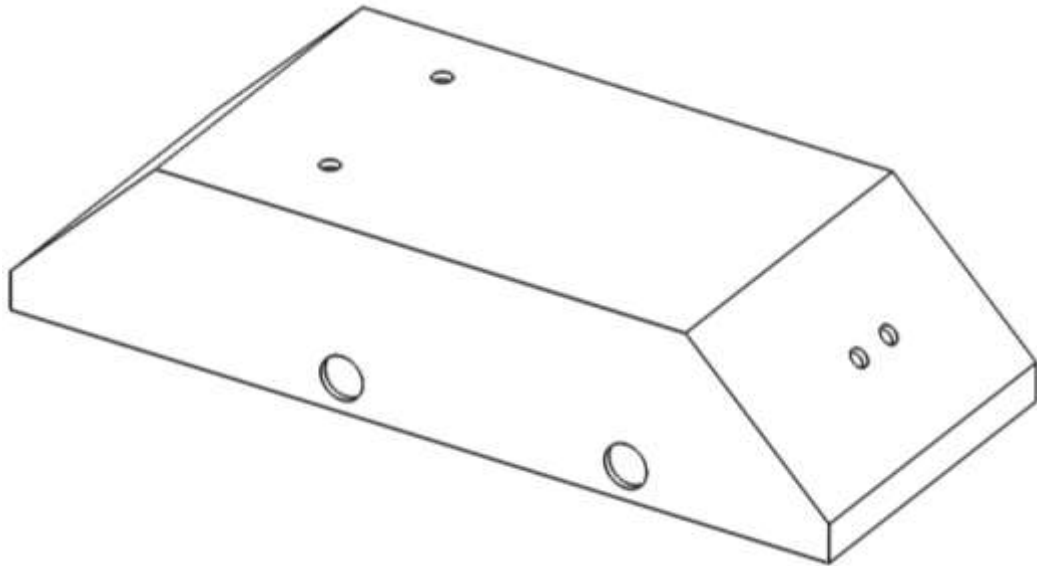


Рисунок 3.9 – 3D модель спроектованого кронштейну.

На рисунку 3.10 зображено фото виготовленого кронштейну з змонтованою на ньому лазерною головкою з контактором.



Рисунок 3.10 – Виготовлений кронштейн з змонтованою на ньому лазерною головкою з контактором.

Відповідно вище представлений модуль успішно було встановлено на фрезерний верстат з ЧПК. Результат роботи представлено на рисунку 3.11.



Рисунок 3.10 – Встановлений на фрезерний верстат з ЧПК модуль для здійснення лазерної обробки.

Провівши роботу над проектуванням кронштейну та монтуванням його на фрезерний верстат з ЧПК можна переходити до експериментальних досліджень щодо його роботи.

3.2 Проектування тестової деталі.

Для перевірки роботи фрезерного верстата з ЧПК необхідно спроектувати таку деталь де будуть поєднуватися як фрезерна так і лазерна обробка. Варто зауважити, що деталь повинна оброблятися за один установ, що унеможливить появи похибки закріплення, а отже деталь буде точно виконано.

В програмному забезпеченні SolidWorks накреслимо в режимі ескіз прямокутник розміром 177x152 мм з врахуванням габаритних розмірів заготовки. Результат креслення ескізу представлено на рисунку 3.11.

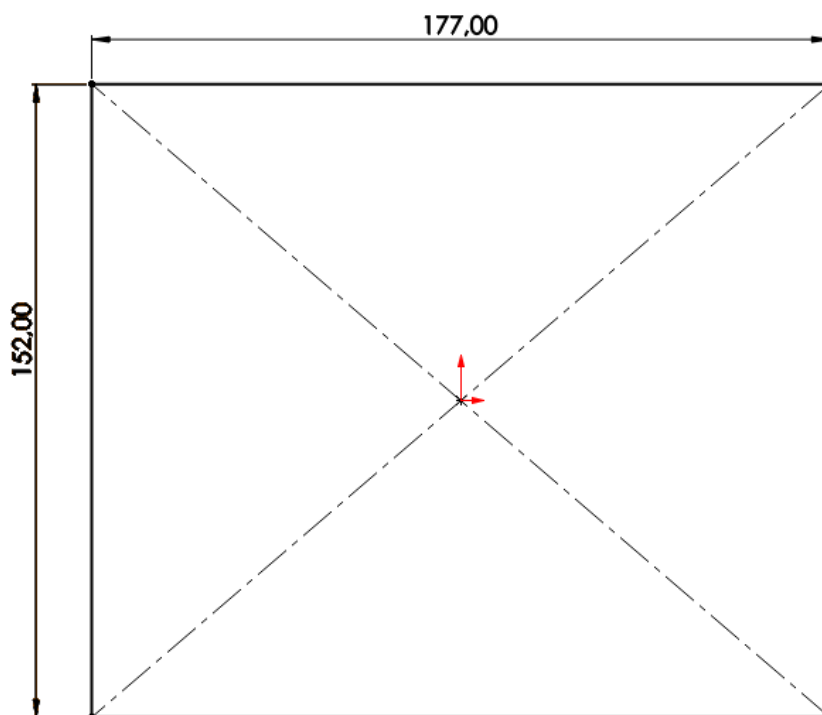


Рисунок 3.11 – Габаритні розміри тестової деталі.

Отримане креслення за допомогою функції BOSS EXTRUDE витягуємо на довжину 20 мм. В результаті отримуємо тривимірну модель (рис. 3.12).

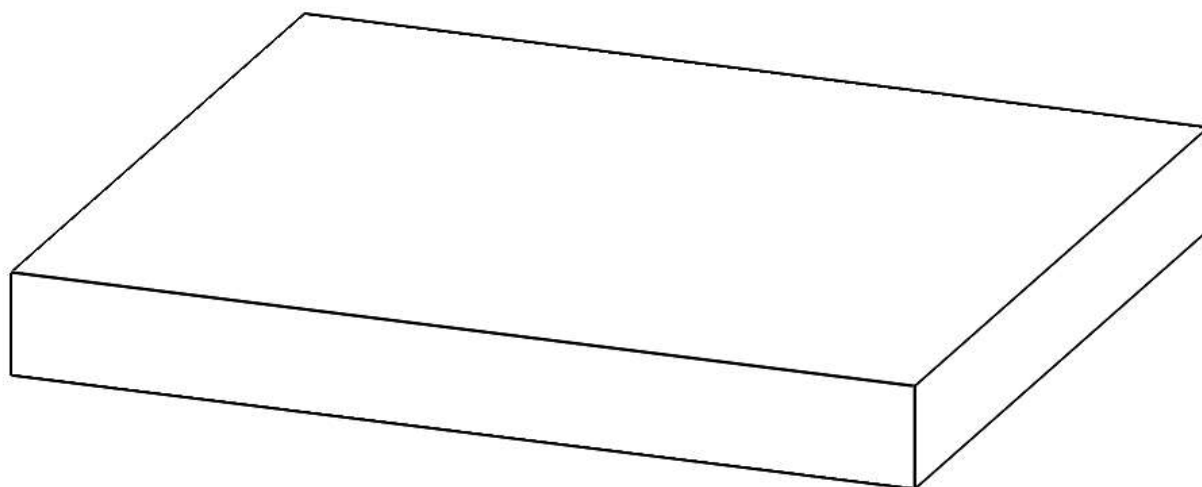


Рисунок 3.12 – Тривимірна модель заготовки тестової деталі.

Далі в режимі ескізу за допомогою функції TEXT прописуємо матрицю цифр від 0 до 9 так як показано на рисунку 3.12.

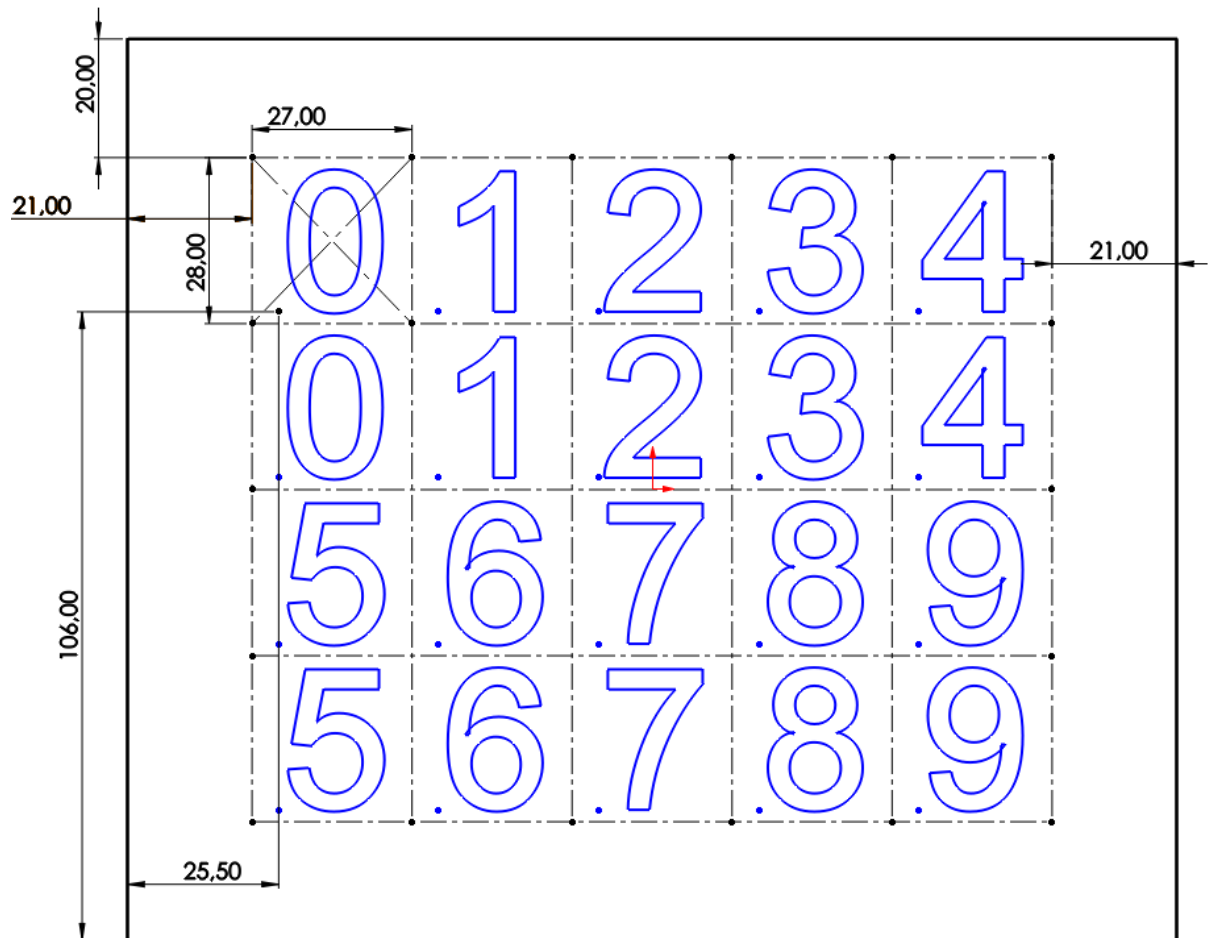


Рисунок 3.13 – Матриця з цифр в режимі ескізу.

Відповідно ідея деталі полягає в тому, щоб перший і третій ряд контурів цифр оброблявся лазерним променем, а 2 та 4 ряд цифр вифрезеровувався фрезою на визначену глибину.

Отже далі, з усіх цифр вибираємо лише ті що будуть фрезеруватися а саме контури цифр в другому та четвертому рядах. Застосуємо функцію CUT EXTRUDE та отримаємо тривимірну деталь з заглибленням цифр на глибину 4мм. Результат моделювання представлено на рисунку 3.14. та збережено у файл для подальшого оброблення в САМ програмі

А модель для лазерного оброблення залишимо у вигляді простого контуру першого та третього рядів (рис. 3.15) який збережемо у форматі dxf для подальшого оброблення в САМ програмному забезпеченні.

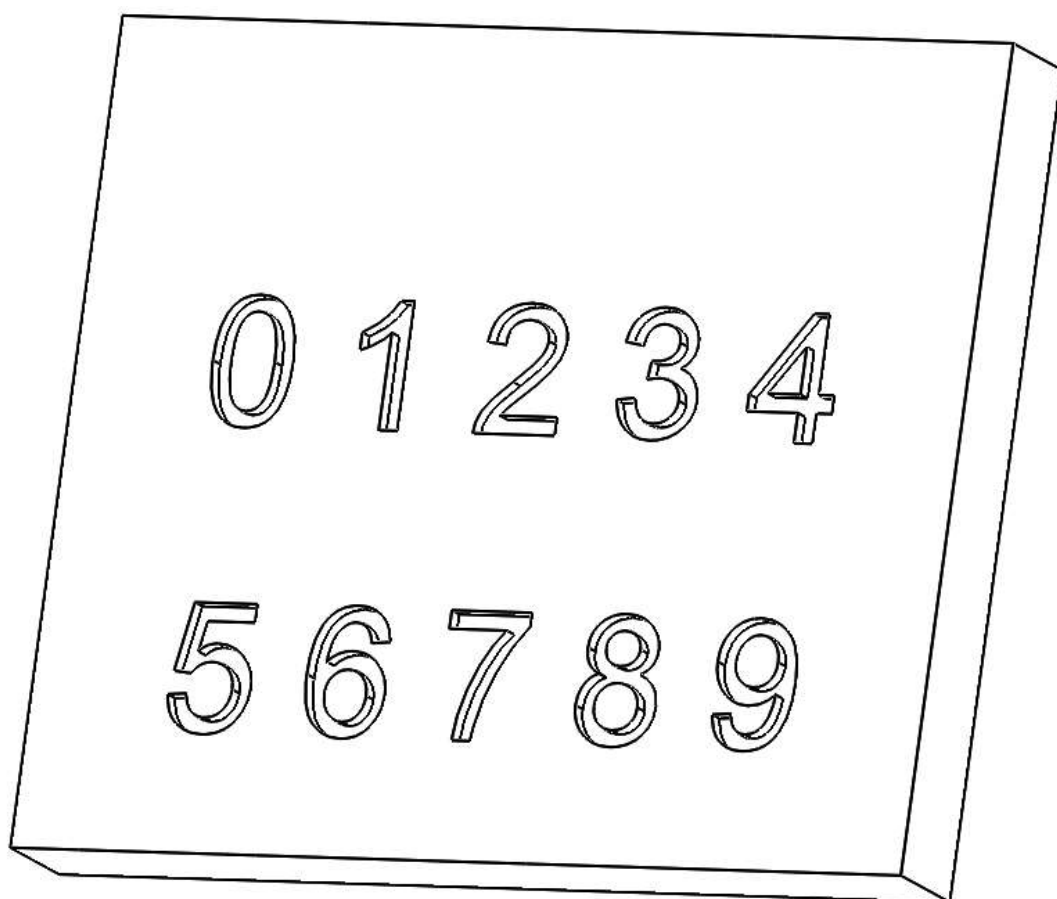


Рисунок 3.14 – 3D модель для фрезерования.

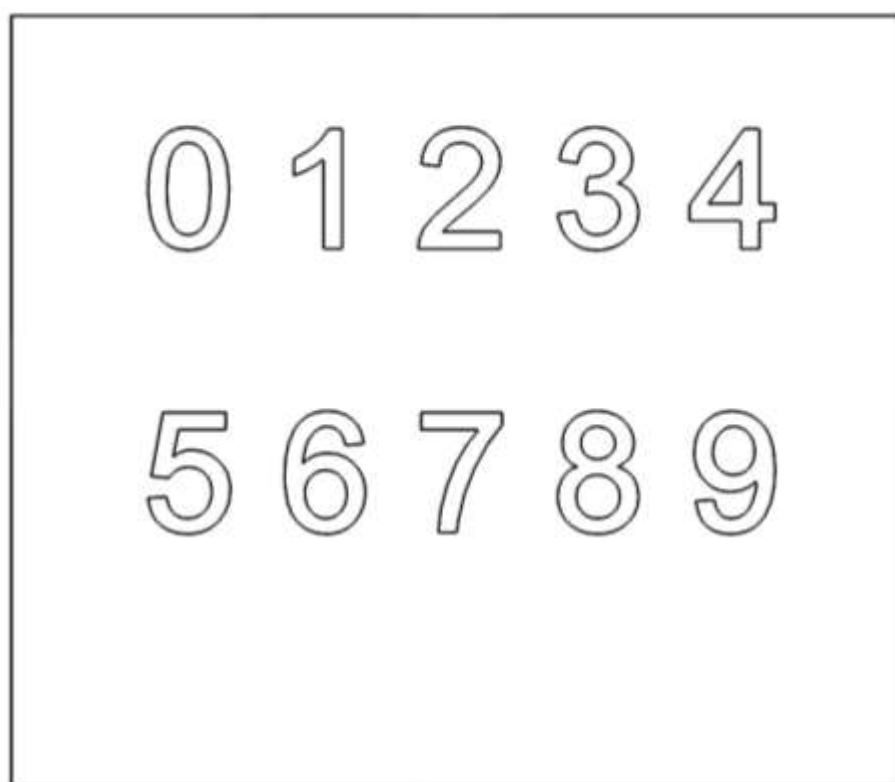


Рисунок 3.15 – Контур цифр для лазерного обрбления.

Також в додачу до обробки лазером по контуру здійснимо також гравіювання зображення (рис. 3.16).



Рисунок 3.16 – Зображення для гравіювання лазером.

Підготувавши усі необхідні три файли, а саме контур цифр для лазерної обробки по контуру, 3D модель заглиблених цифр для фрезерування та зображення можна переходити до налаштувань саме процесу обробки на гібридному фрезерному верстаті з ЧПК.

3.3 Налагодження керуючих програм в FeatureCAM та LaserGRBL

Для налагодження фрезерної обробки тестової деталі скористаємося програмним забезпеченням FeatureCAM. Отже в даній програмі відкриваємо раніше змодельовану 3D модель та приступимо на необхідних налаштувань. На рисунку 3.17 представлено налагодження типу механічного оброблення (в нашому випадку фрезерування) та вибір одиниць вимірювання (в нашому випадку міліметри). В наступному вікні програми необхідно розташувати деталь на «столі» фрезерного верстату згідно осі Z (рис. 3.18). Далі таку ж операцію необхідно провести і з осями X та Y, яка автоматично сама уже відтвориться (рис. 3.19). Після цього необхідно вибрати форму заготовки (рис. 3.20) яка буде використовуватися (в нашому випадку це паралелепіпед).

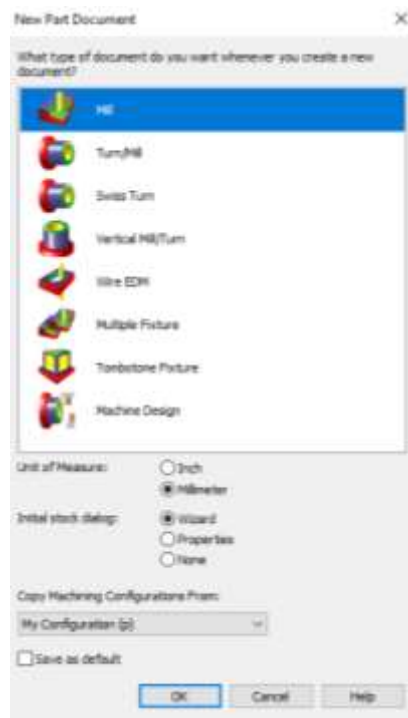


Рисунок 3.17 – Вибір типу оброблення та вимірювальних одиниць.

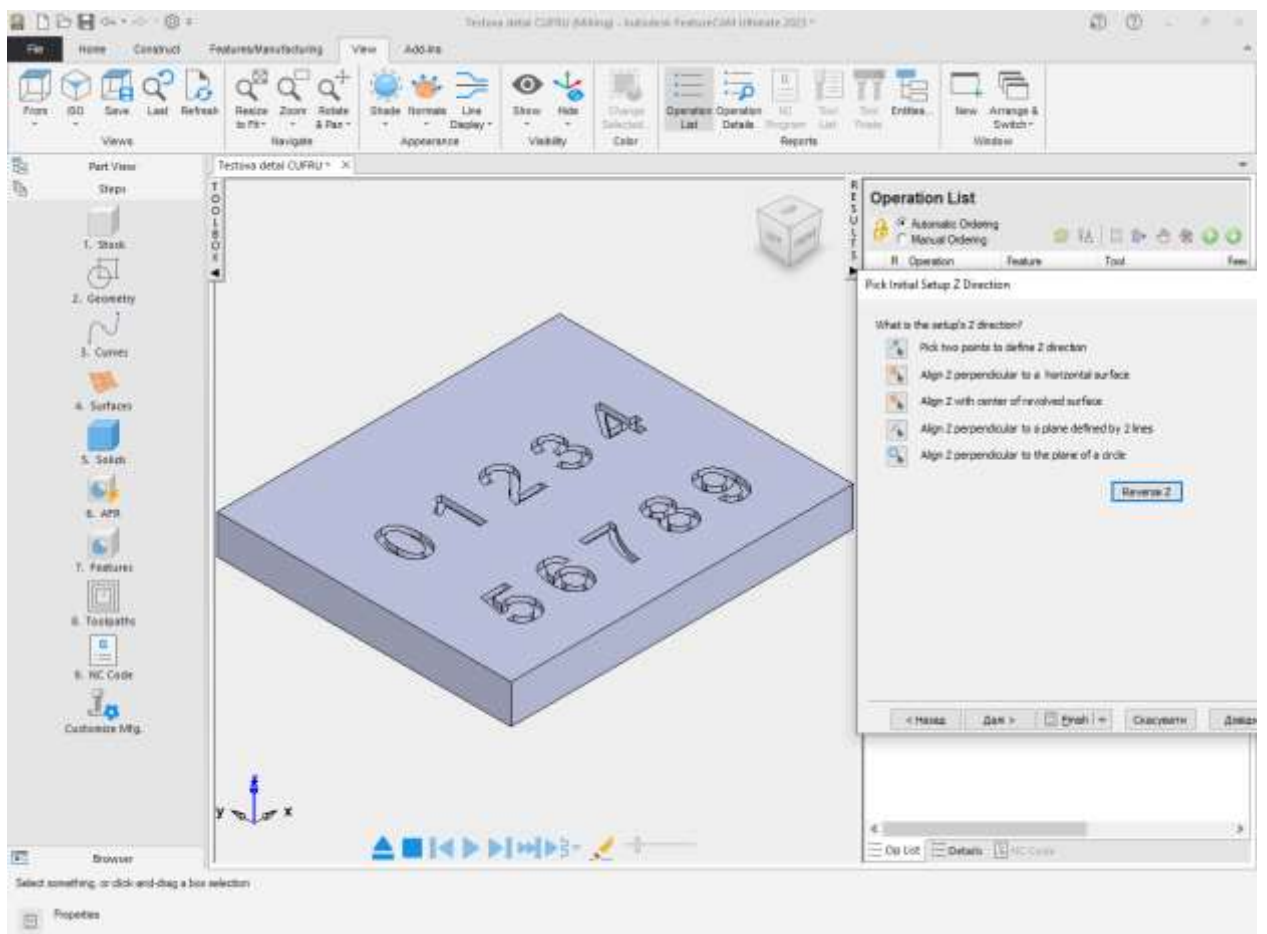


Рисунок 3.18 – Розташування деталі згідно осі Z.

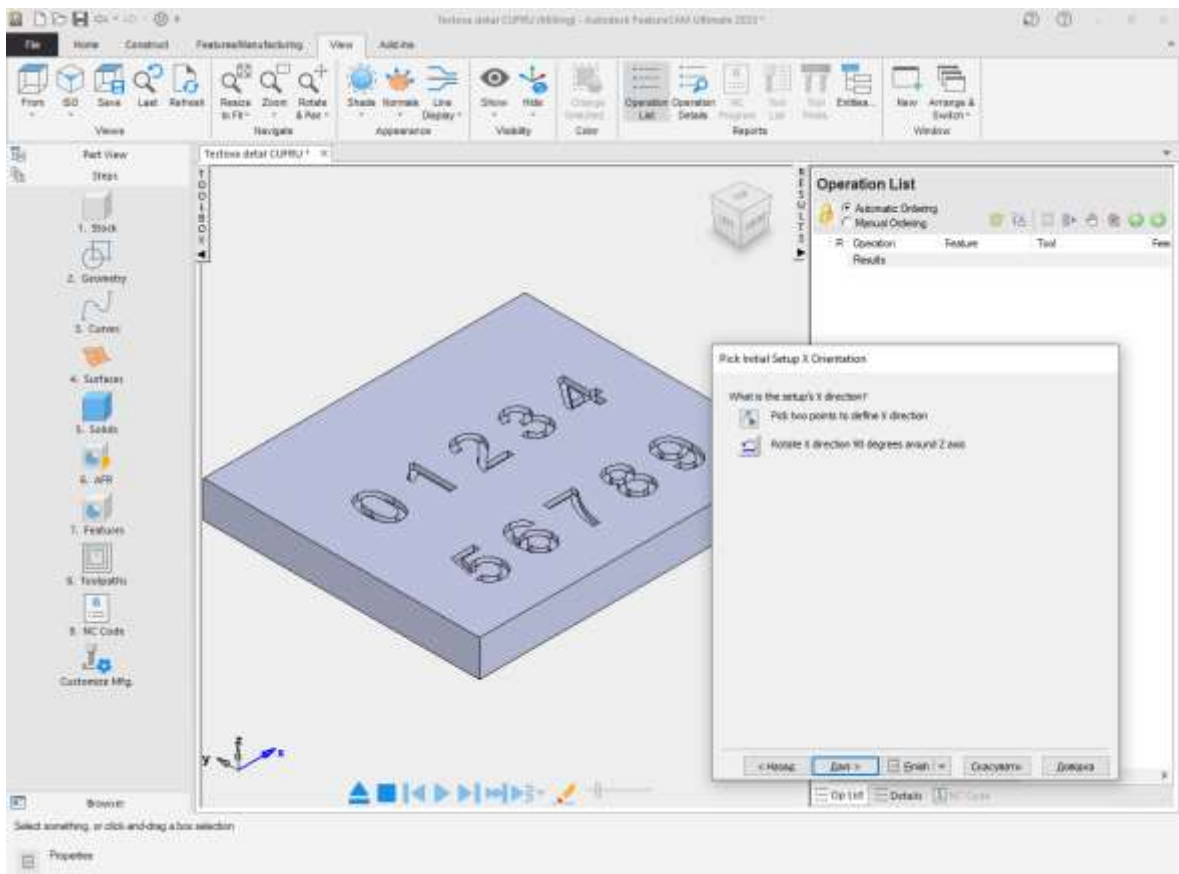


Рисунок 3.19 – Розташування деталі згідно осі X.

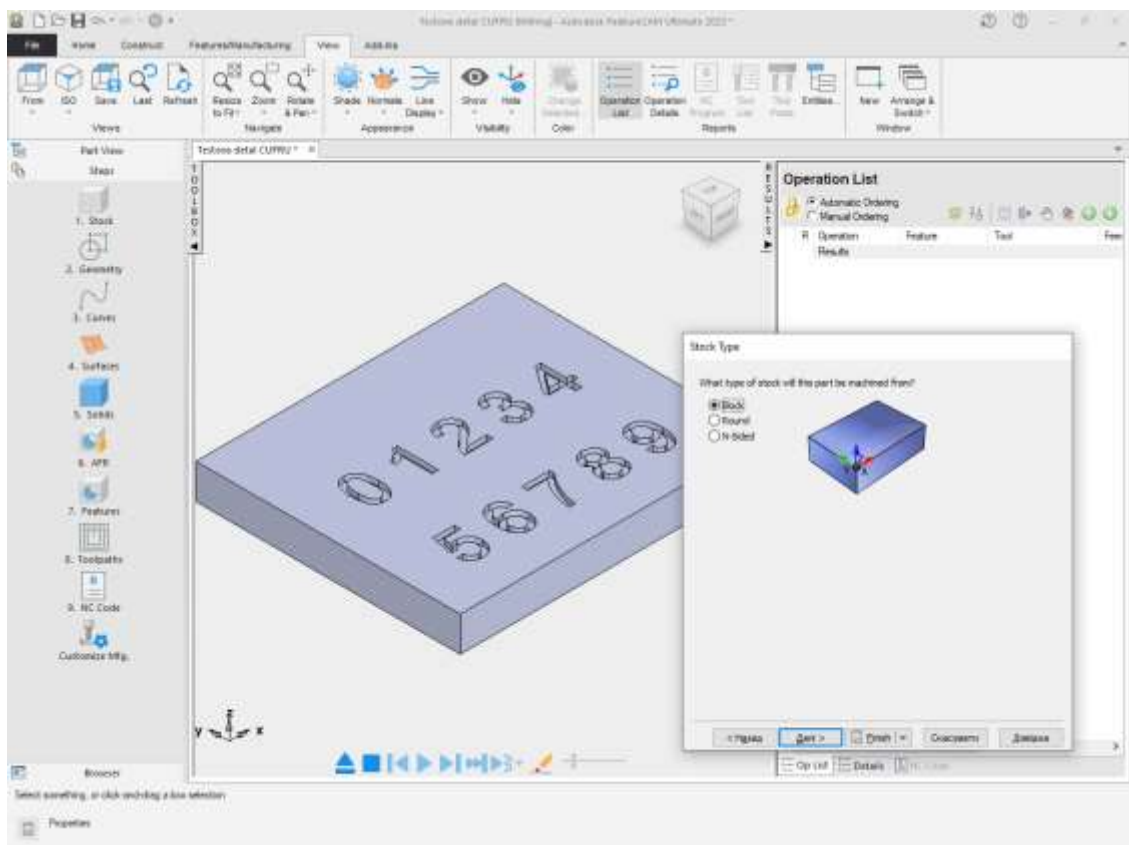


Рисунок 3.20 – Вибір форми заготовки.

Далі необхідно призначити розмір заготовки (рис. 3.21), що в нашому випадку буде габаритним розміром самої деталі, а саме 177x152x20.

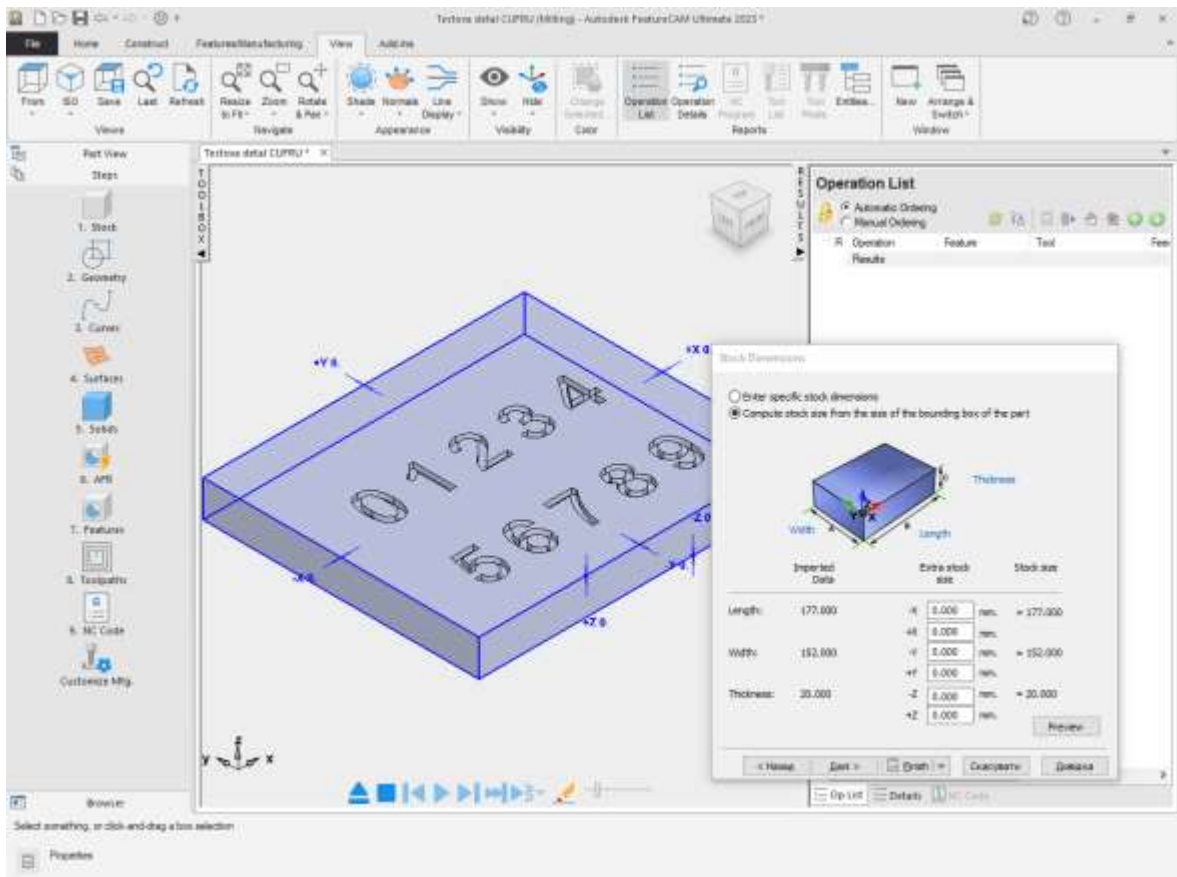


Рисунок 3.21 – Призначення розмірів заготовки.

Після цього важливим етапом є призначення нульової позиції фрези (рис. 3.22), тобто в нашому випадку буде в центрі та на поверхні заготовки.

Здійснивши попередні налагодження можна переходити до вибору поверхонь на деталі, які підлягають обробленню (рис. 3.23), що в нашому випадку будуть заглибленими плоскими поверхнями контурів цифр. Тобто це означає, що фреза повинна видалити з заготовки матеріал і досягнути вказаних поверхонь, тоді обробка буде вважатися завершеною.

Обравши необхідні поверхні необхідно вибрати стратегію обробки (рис. 3.24), тобто траєкторію руху фрези згідно якої видалиться весь необхідний матеріал, щоб досягнути бажаного результату. Обираємо стратегію РАСТРОВУ, тобто фреза буде рухатися прямолінійно вздовж осі X з кроковим зміщенням вздовж осі Y.

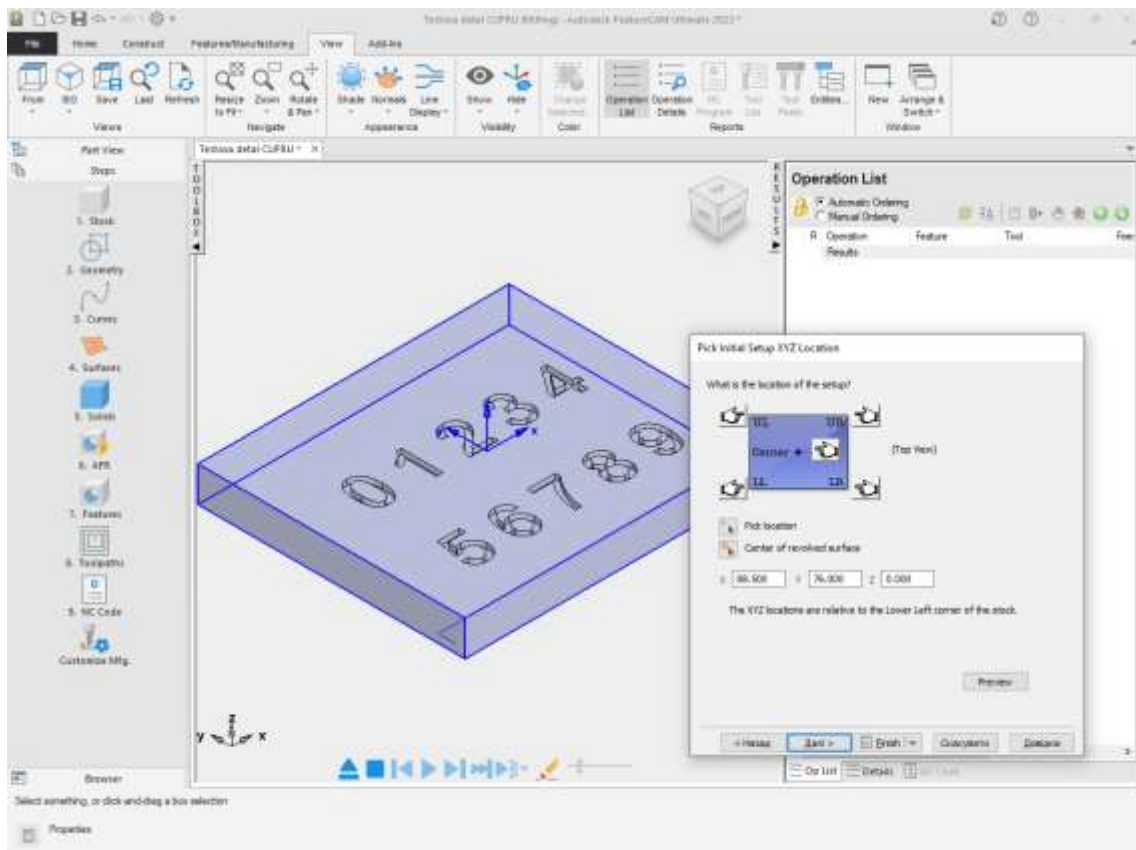


Рисунок 3.22 – Призначення нульової позиції фрези.

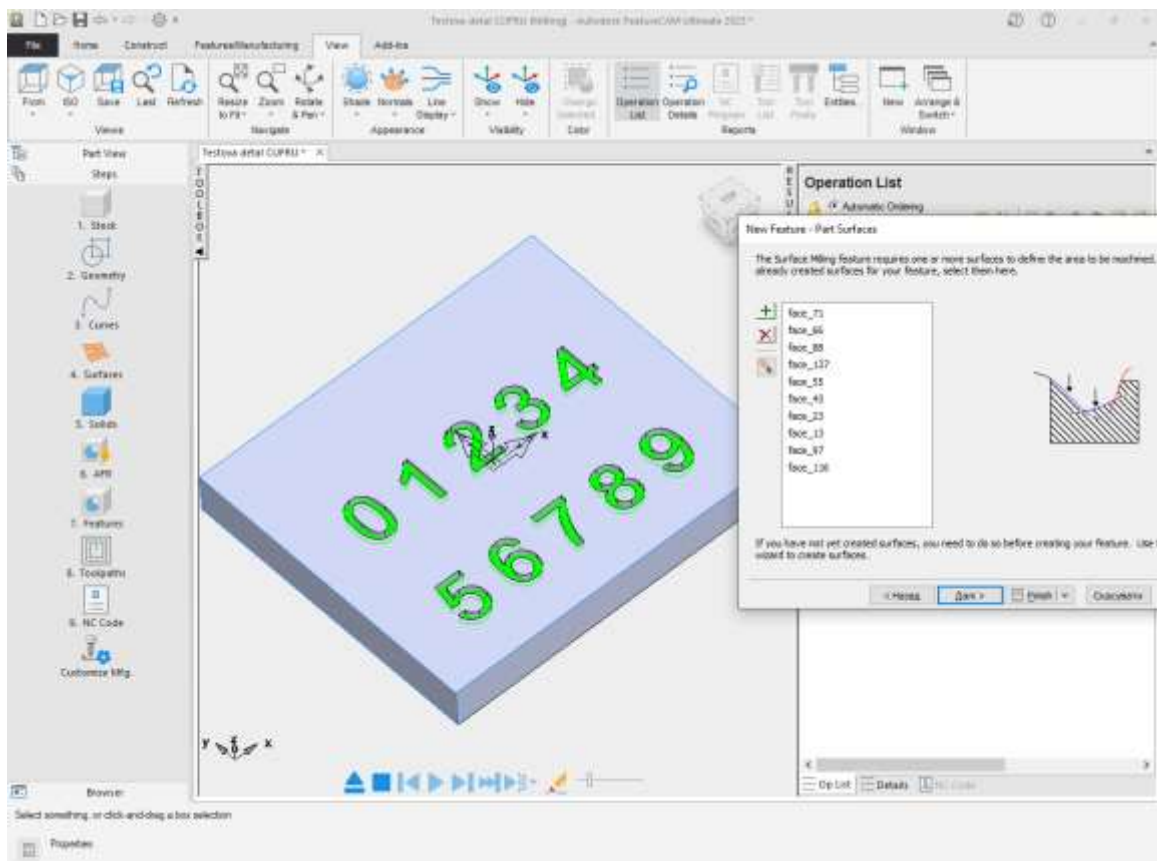


Рисунок 3.23 – Вибір поверхонь, які треба обробити.

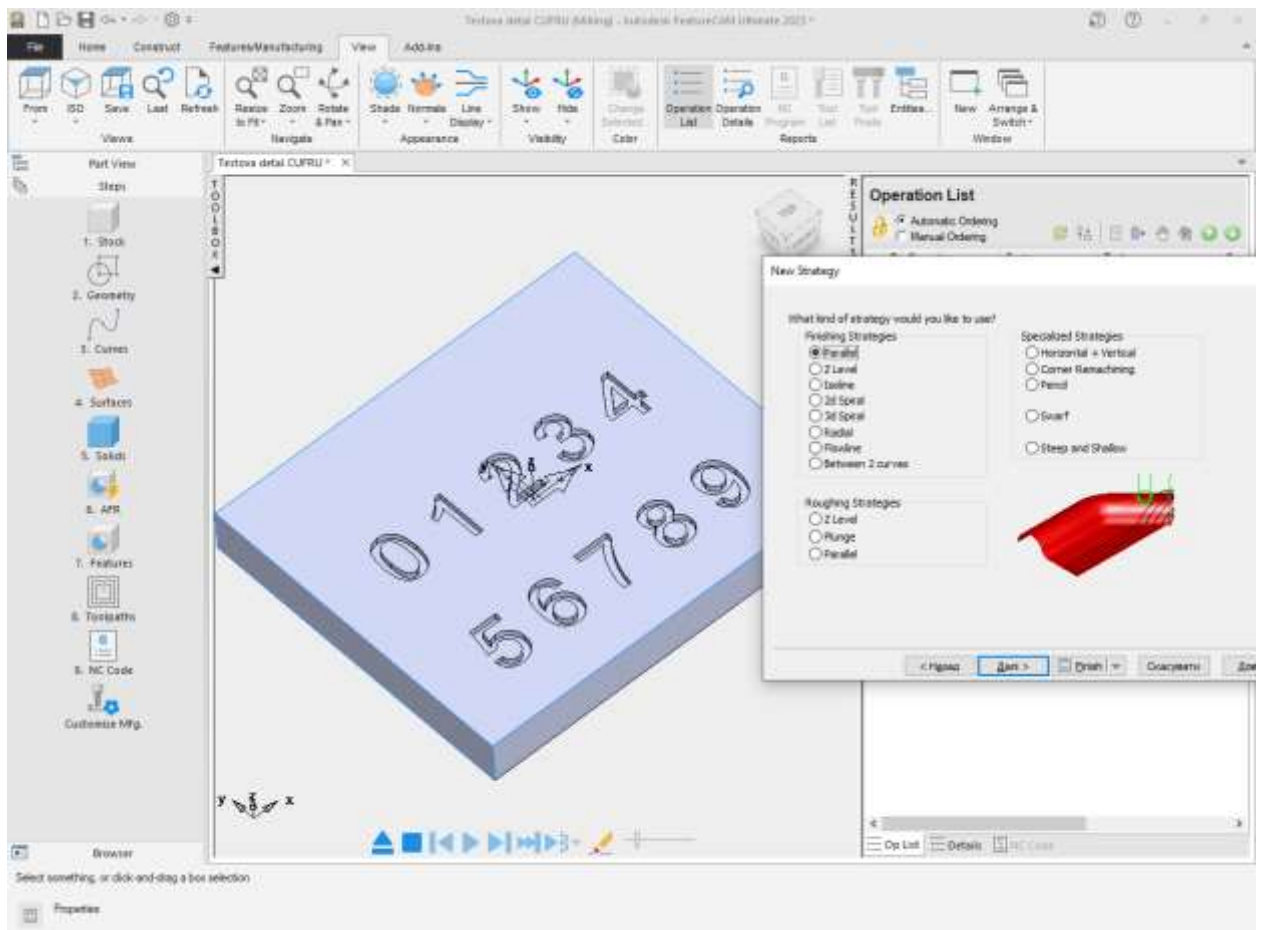


Рисунок 3.24 – Вибір стратегії обробки поверхонь.

Під час вибору фрези (рис. 3.25) оберемо конусну фрезу з сферичним кінцем діаметром 1мм, оскільки вона дасть змогу провести точну обробку.

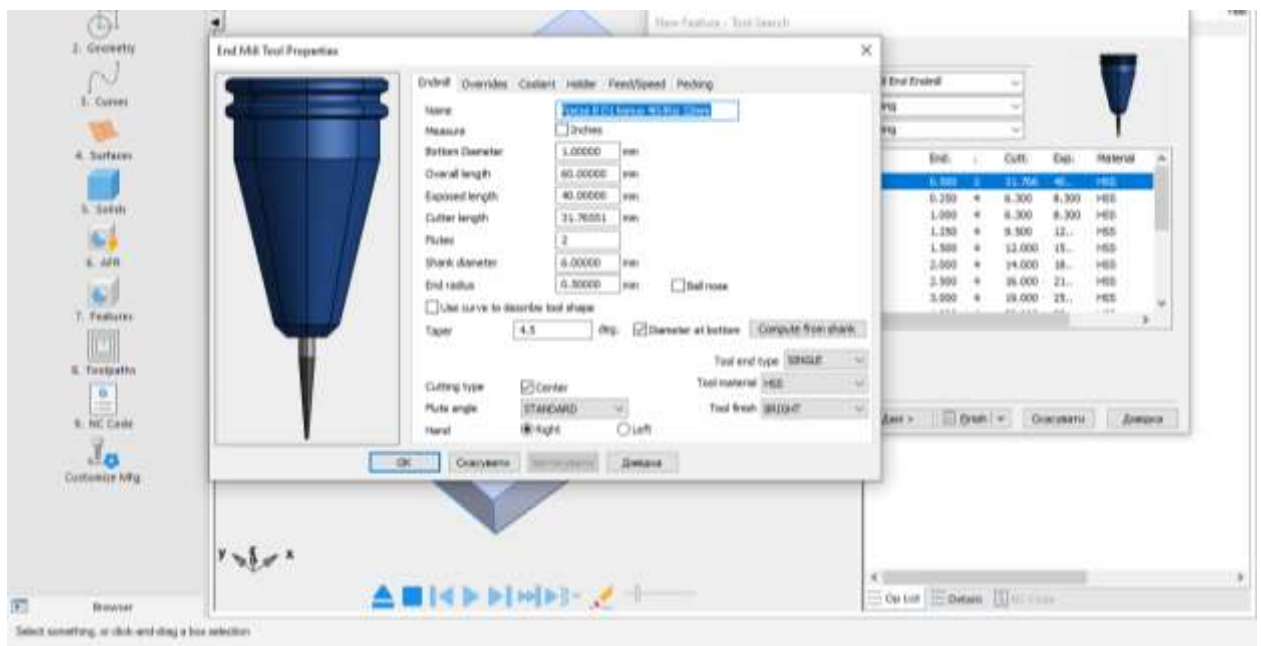


Рисунок 3.25 – Призначення інструменту для обробки.

Для успішного виконання процесу фрезерування необхідно призначити коректні режими різання (рис. 3.26), а саме для оброблення заготовки з дерева варто призначити частоту обертання шпинделя рівною 21000 об/хв. Та подачу 1000 мм/хв..

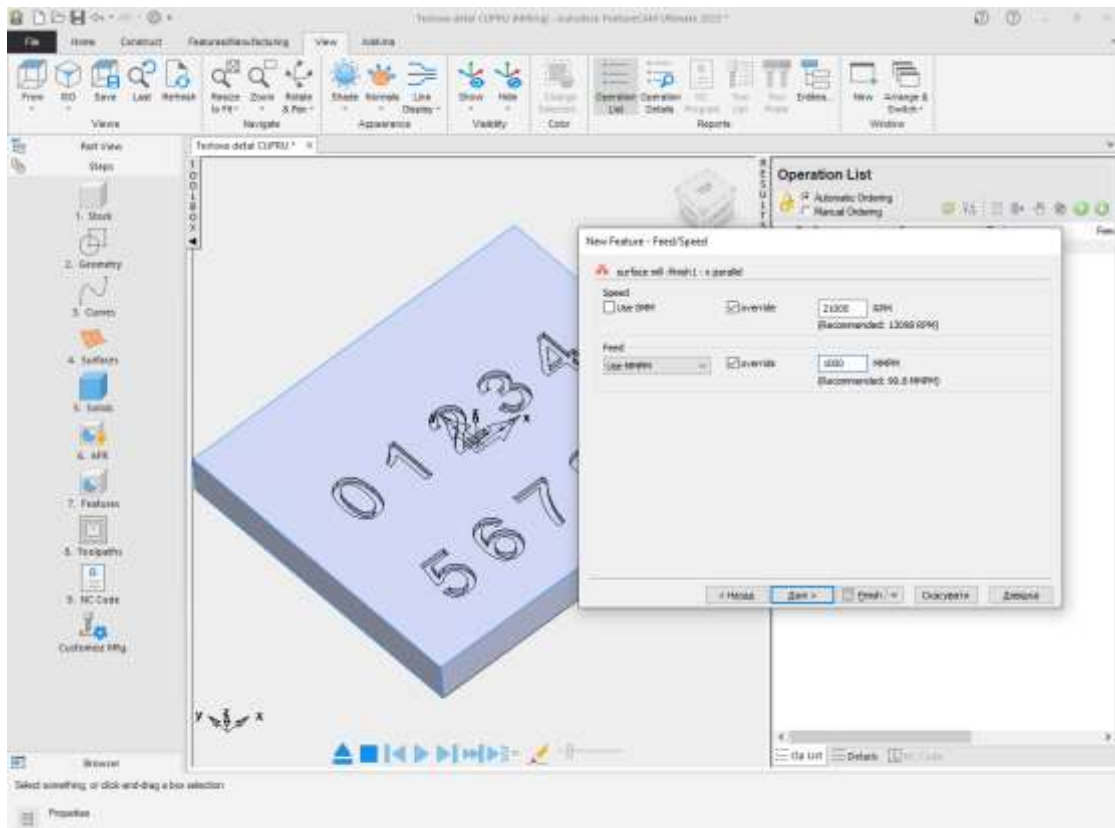


Рисунок 3.26 – Призначення режимів різання.

Здійснивши усі налаштування можна переглянути симуляцію траєкторій (рис. 3.27) згідно яких фреза буде виконувати роботу.

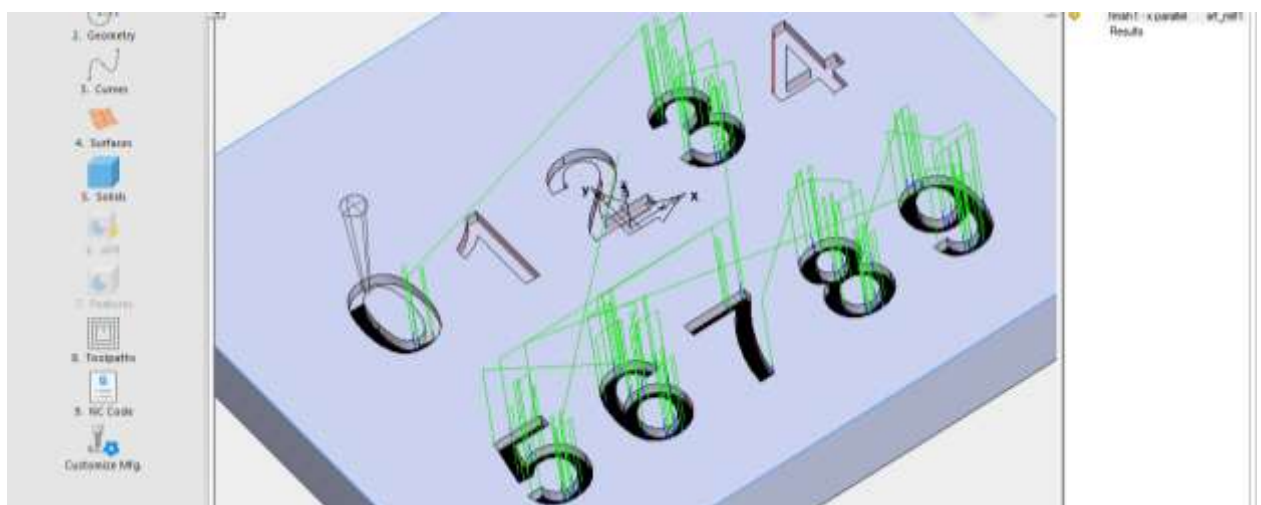


Рисунок 3.27 – Симуляція траєкторій роботи фрези.

Також важливим моментом підготовки програми для фрезерного верстата з ЧПК є перегляд очікуваного результату фрезерування. Його можна отримати переглянувши симуляцію обробки в режимі 3D анімації (рис. 3.28). тобто якщо отриманий візуальний результат задовольняє наші очікування, значить усі попередні налагодження пройшли вдалими.

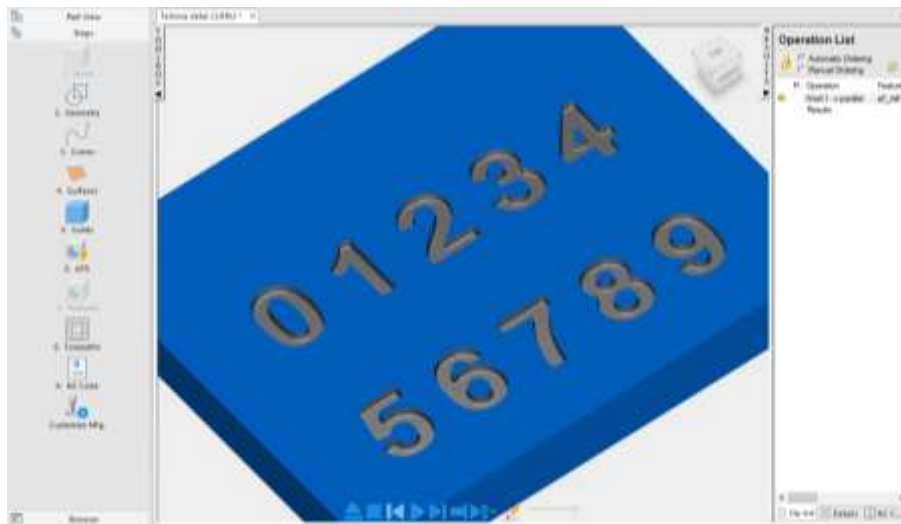


Рисунок 3.28 – 3D анімація обробки.

В результаті проведених робіт отримуємо необхідний верстату з ЧПК G-код (фрагмент в додатку А) фрагмент якого представлений на рисунку 3.29.

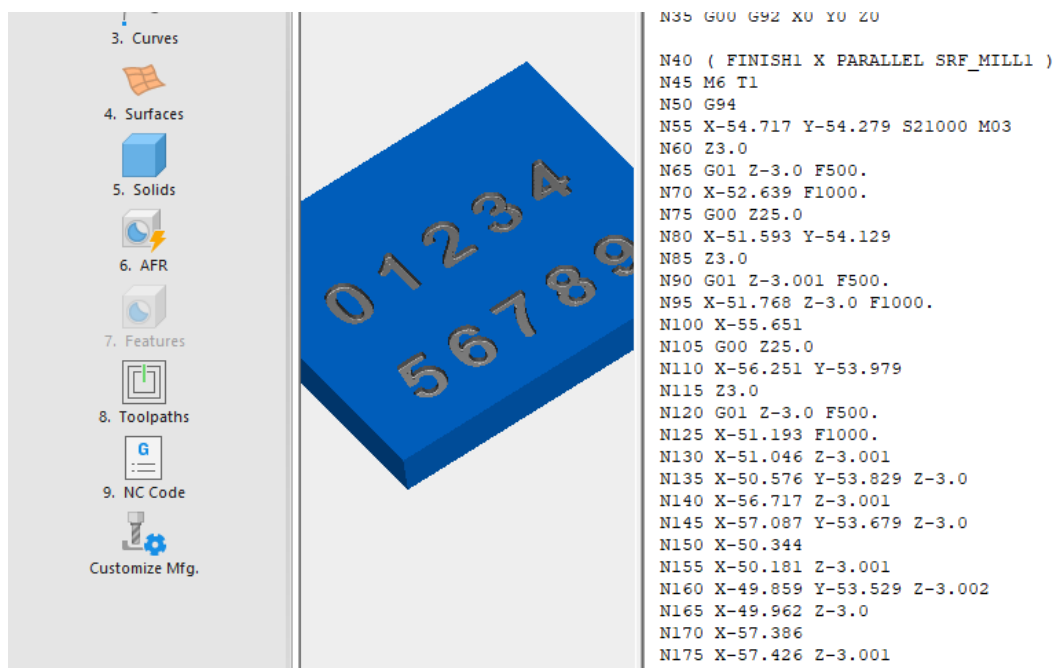


Рисунок 3.29 – Фрагмент G-коду.

Для налагодження процесу лазерного оброблення скористаємося цією ж програмою FeatureCAM проводячи майже ті ж самі налагодження, що й вище наведені.

Необхідно відкрити попередньо змодельований файл, але в форматі dxf який містить контури цифр (рис. 3.30).



Рисунок 3.30 – Контури цифр для лазерного оброблення.

Форма заготовки, її розміщення та розміри, нульова позиція «фрези» обирається такою як і попередня обробка. Стратегія руху уже обирається як канавка (рис. 3.31), відповідно обравши усі контури цифр.

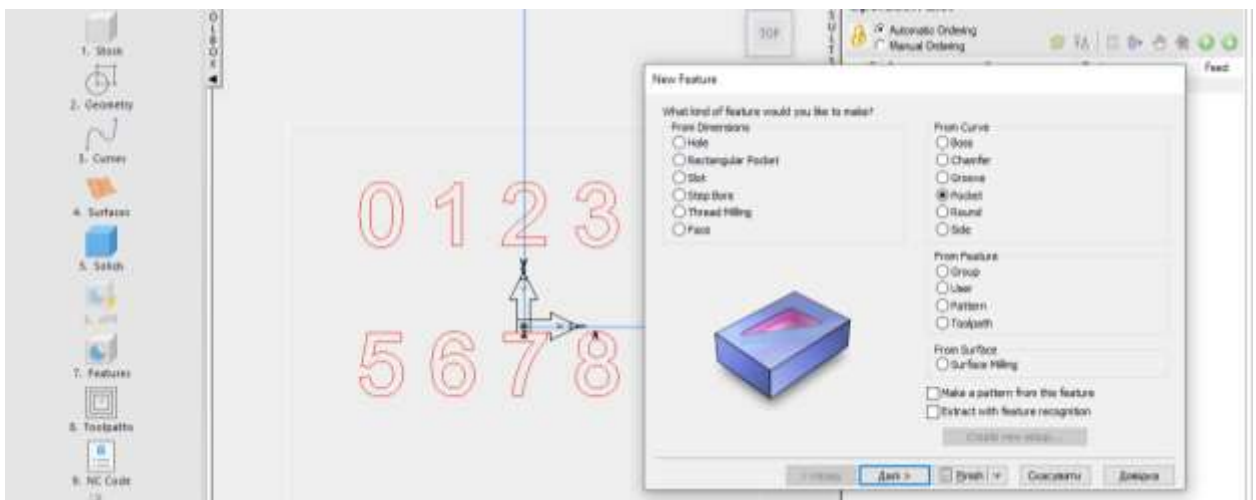


Рисунок 3.31 – Налаштування обробки типу «канавка».

Відповідно провівши такі ж налагодження як і при фрезеруванні (лише вибравши «частоту обертання шпинделя» рівною 3000 об/хв., що є

максимальною потужністю лазерного променя) варто також переглянути результат симуляції отриманого результату (рис. 3.32).

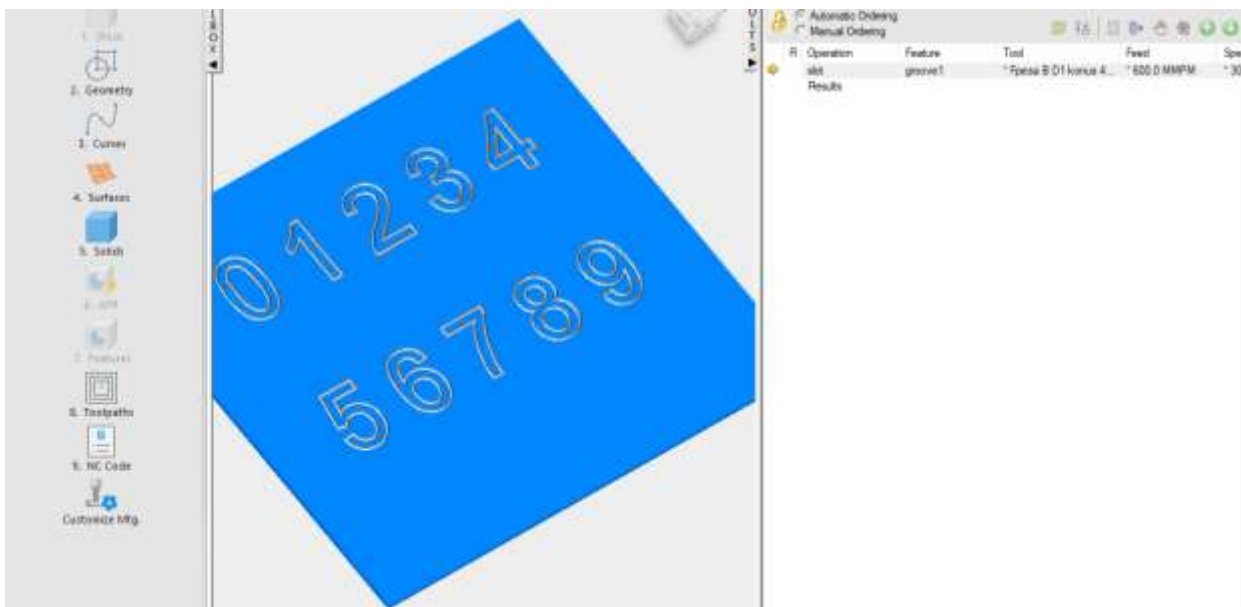


Рисунок 3.32 – Налаштування обробки типу «канавка».

Після симуляції також отримуємо G-код (фрагмент в додатку Б) який після деякого редагування можна давати в роботу лазерній головці.

Для налаштування обробки лазерним гравіюванням варто скористатися програмним забезпеченням LaserGRBL. Відповідно треба відкрити даній програмі (рис. 3.33) файл з обраного логотипу для гравіювання та провести деякі налаштування. До параметрів налаштування варто віднести такі змінні:

- траєкторія руху лазерного променя – растрова вздовж осі X;
- кількість проходів лазера на товщину 1 мм – 3 проходи;
- розмір зображення для гравіювання (рис. 3.34) – 16,3x14,9 мм;
- максимальна потужність лазерного променя (рис. 3.34) – 3000;
- швидкість переміщення лазерного променя (рис. 3.34) – 1000 мм/хв.;
- відтворення градацій сірого кольору – так;
- також проведемо гравіювання зображення без додаткового візуального оброблення.

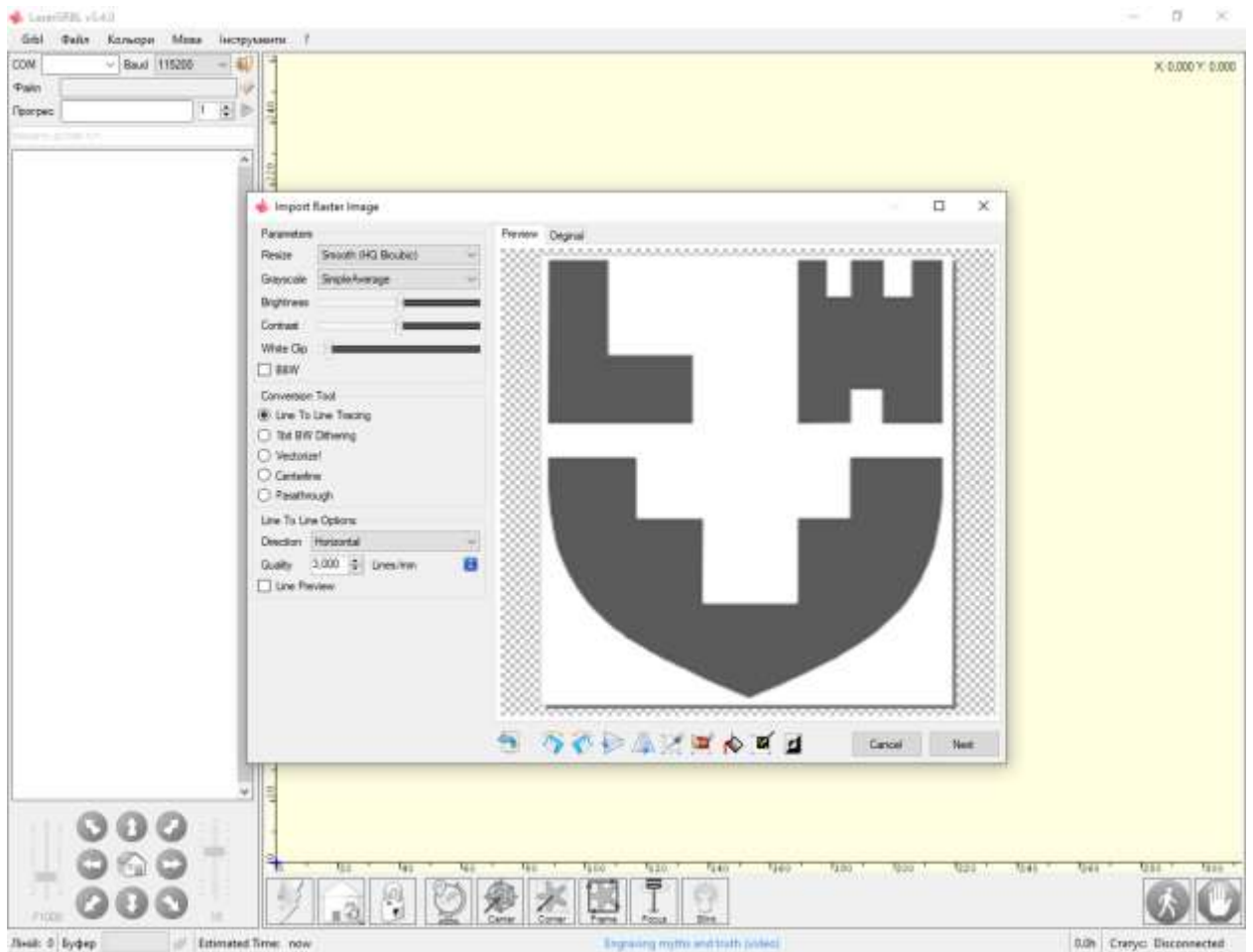


Рисунок 3.33 – Налаштування гравіювання лазером.

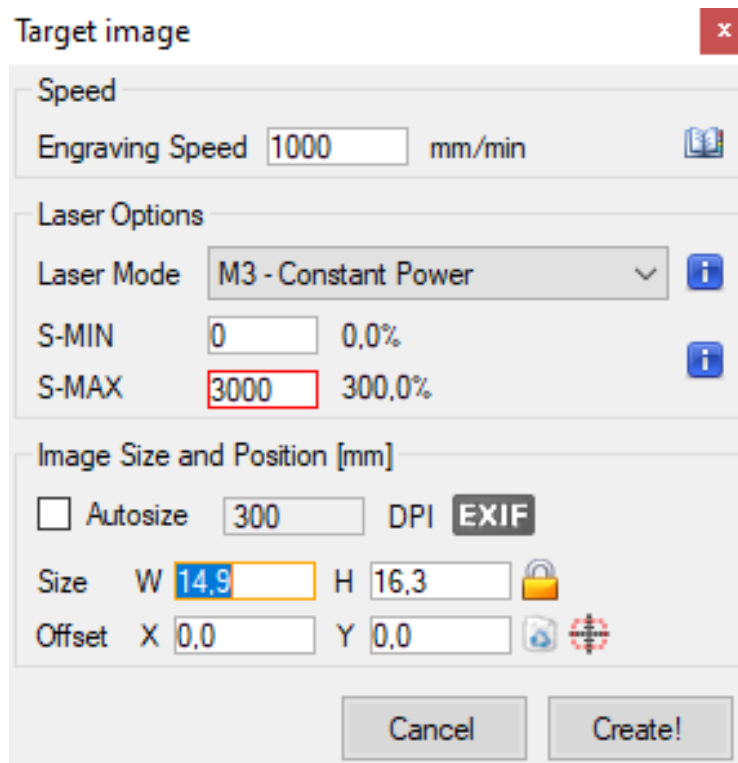


Рисунок 3.34 – Налаштування режимів лазерного гравіювання.

Здійснивши усі налагодження можна переглянути траєкторії руху лазерного променя (рис. 3.35) які й будуть формувати зображення на заготовці методом гравіювання.

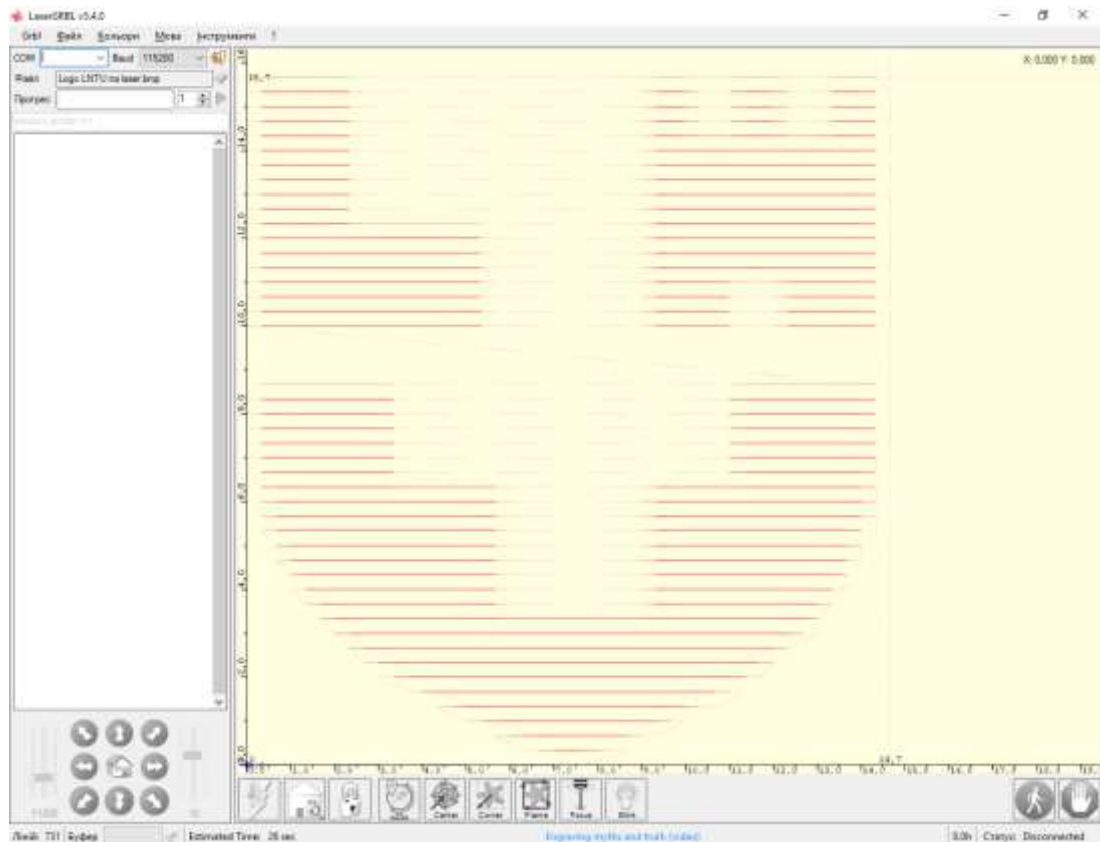


Рисунок 3.35 –Траєкторії руху лазерного променя.

В результаті роботи програмного забезпечення LaserGRBL отримаємо G-код (фрагмент в додатку В), який буде відтворюватися фрезерним верстатом з ЧПК оснащеним лазерною головкою.

3.4. Висновки по розділу

В даному розділі здійснено налагодження трьох видів обробки, а саме фрезерна, лазерне різання, лазерне гравіювання. Для цього було використане наступне програмне забезпечення, таке як FeatureCAM, LaserGRBL в результаті чого було згенеровано 3 G-коди для здійснення 3 видів обробки на фрезерному верстаті з ЧПК оснащеним лазерною головкою

4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Проведення експерименту фрезерним обробленням

На стіл фрезерного верстата за допомогою 4 шурупів закріплено заготовку (рис. 4.1) з врахуванням її розташування відносно осей X, Y, Z які попередньо було налагоджено в програмному забезпеченні FeatureCAM. Також в шпиндель верстата за допомогою цанги встановлено фрезу, згадану при налагодженні фрезерного оброблення.

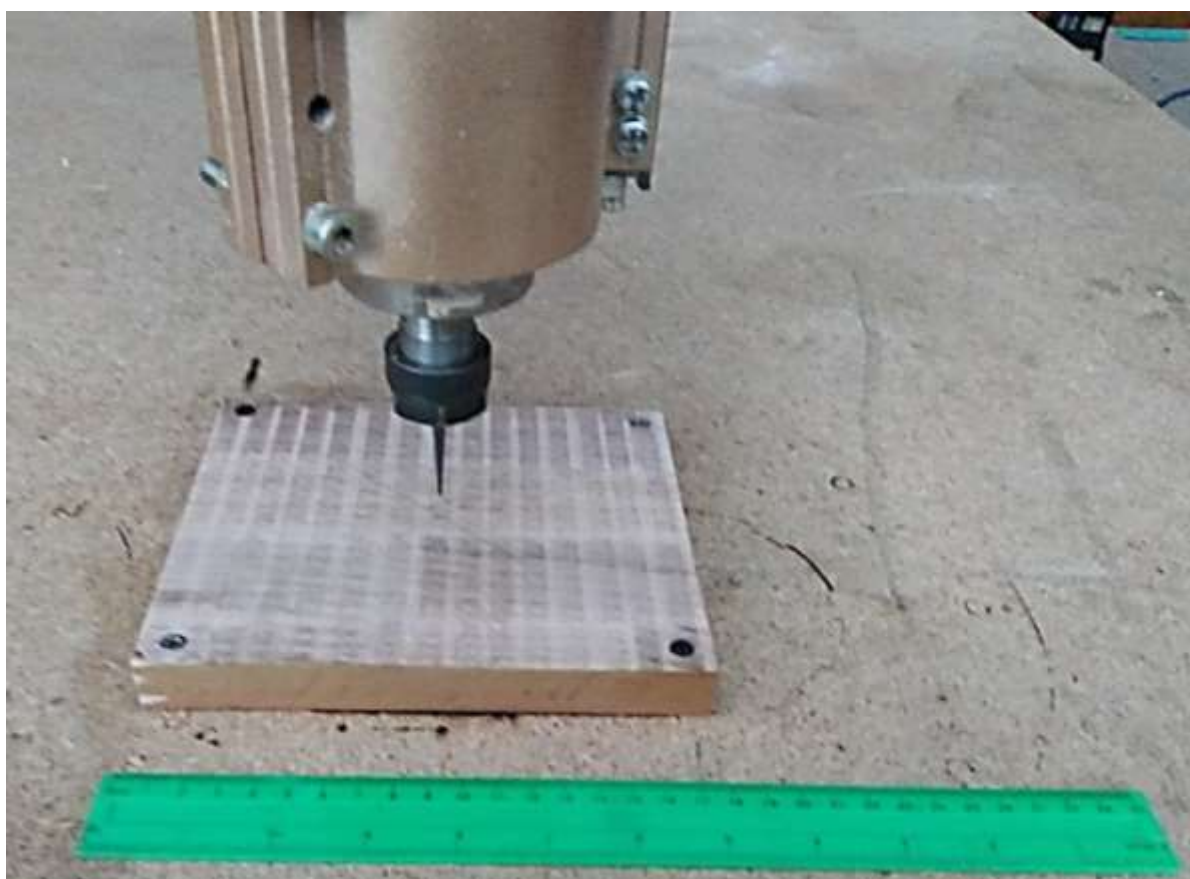


Рисунок 4.1 – Кріплення заготовки на столі фрезерного верстата з ЧПК

Далі було здійснено виставлення нульового положення фрези, а саме в центрі на поверхні заготовки. Після практичних налагоджень в програмне забезпечення Mach3 (рис. 4.2) завантажити G-код фрезерного оброблення деталі. Виконавши усі підготовчі роботи можна здійснювати сам процес обробки (рис. 4.3).

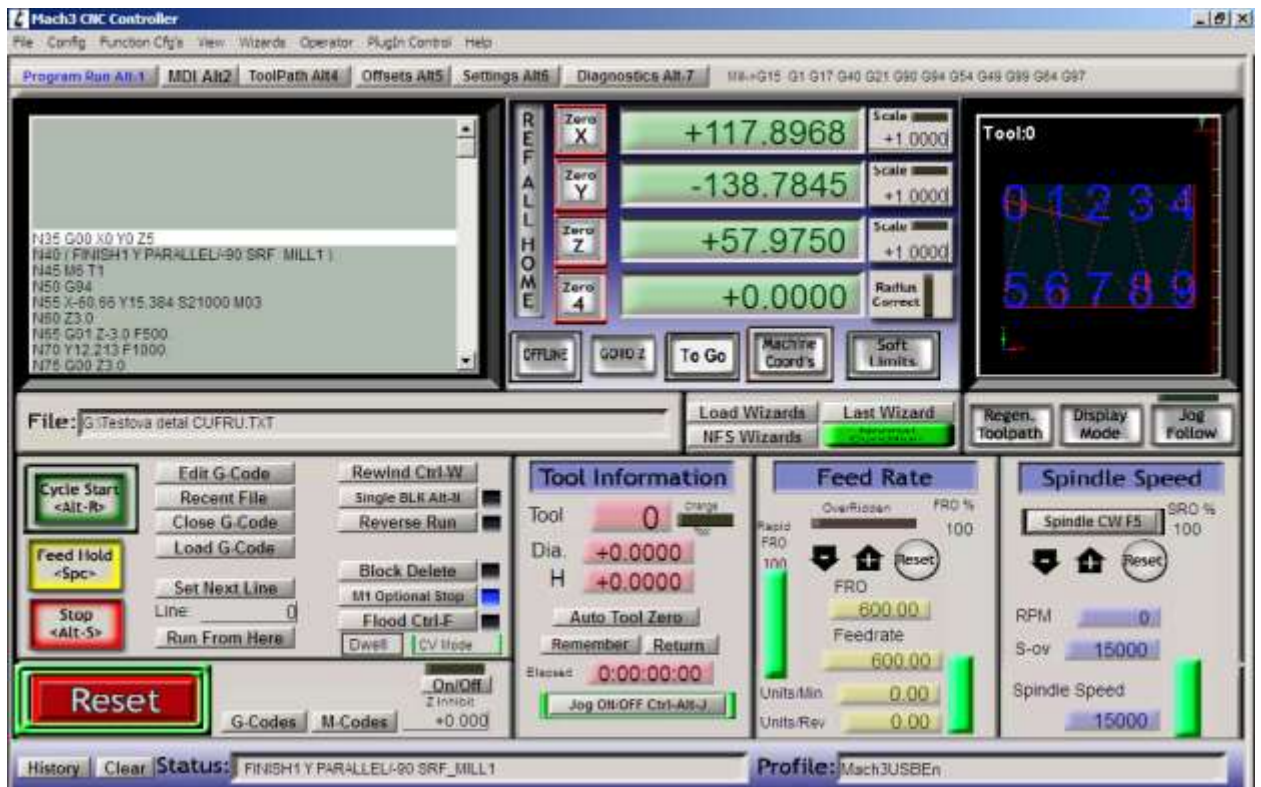


Рисунок 4.2 – Завантаження G-коду для здійснення фрезерного оброблення на верстаті з ЧПК



Рисунок 4.3 – Процес фрезерного оброблення тестової деталі

В результаті роботи отримано виготовлену тестову деталь (рис. 4.4).



Рисунок 4.3 – Результат фрезерного оброблення тестової деталі

З вище представленого рисунка видно, що виготовлена деталь повністю відповідає результату симуляції в програмному забезпеченні FeatureCAM, що очікувано.

4.2 Проведення експерименту лазерним різанням по контуру.

На столі фрезерного верстата з ЧПК оснащеним лазерною головкою уже розташована заготовка, яка попередньо обробилася фрезеруванням. Отже для здійснення експерименту лазерним різанням по контуру знову в програмне забезпечення Mach3 необхідно завантажити попередньо сформований G-код лазерного різання. Також знову необхідно виставити нульове положення лазерного променя (рис. 4.4) враховуючи і фокусну відстань відносно поверхні заготовки. Запустивши процес обробки можемо спостерігати за його протіканням (рис. 4.5).

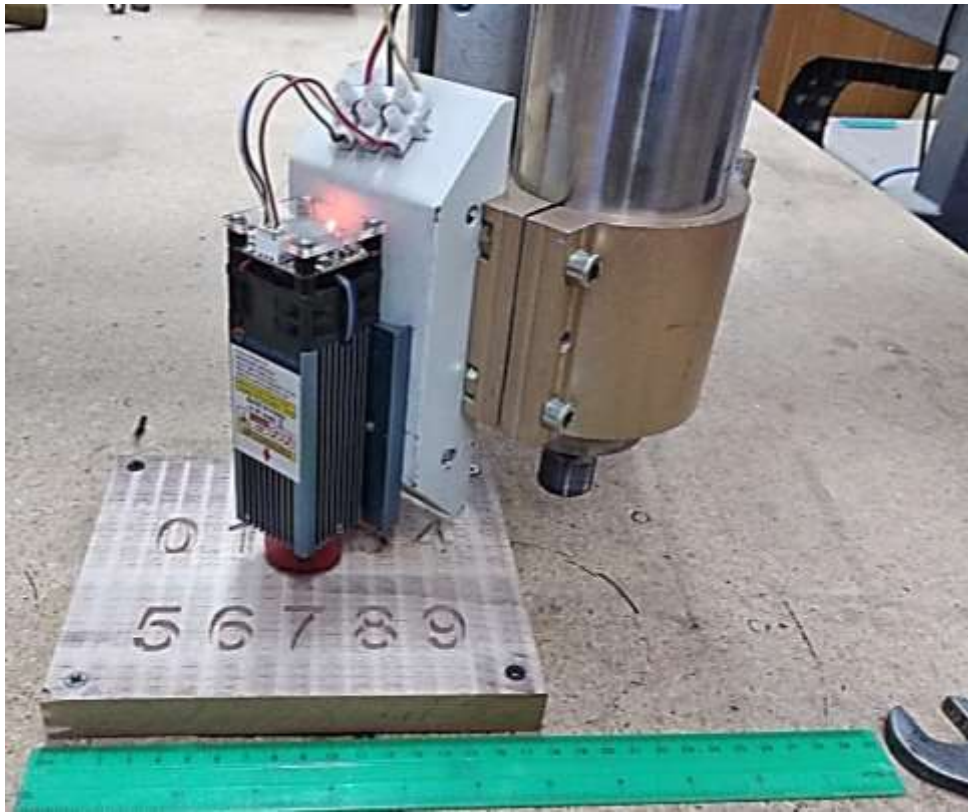


Рисунок 4.4 – Налаштування нульового положення лазерного променя

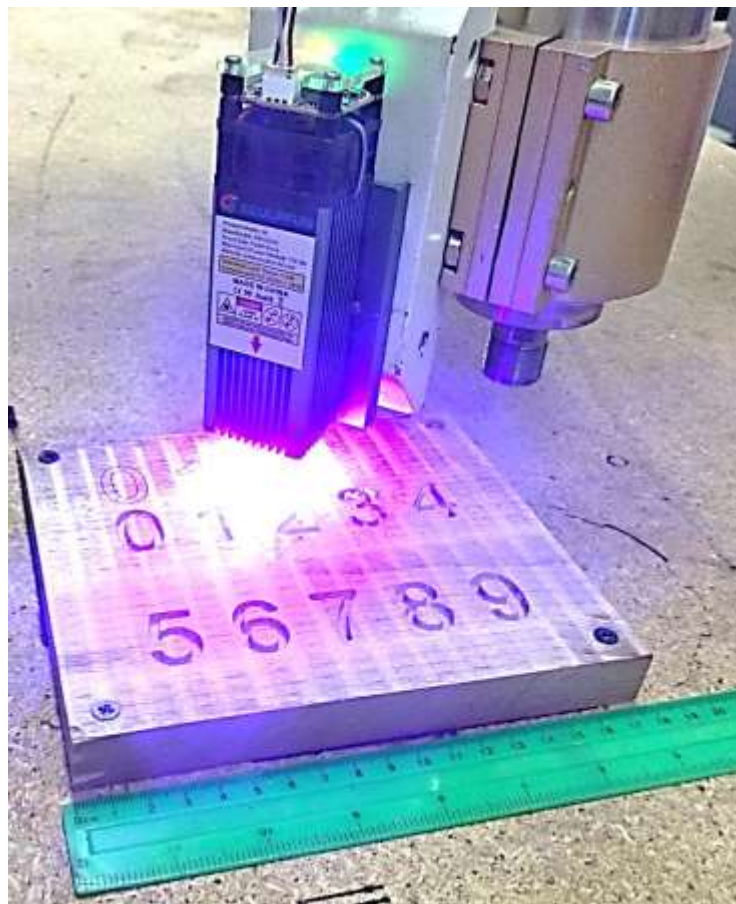


Рисунок 4.5 – Процес лазерного різання контурів цифр тестової деталі

В результаті проведеної роботи отримаємо готовий виріб після лазерного різання (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 – Результат лазерного різання контурів цифр на деталі

З вище представленого рисунка видно що виготовлена деталь така як і після проведеної симуляції в FeatureCAM.

4.3 Проведення експерименту лазерним гравіюванням.

Після попереднього оброблення деталь все ще закріплена на столі фрезерного верстата і відповідно налаштування нульового положення лазерного променя також залишаються тими що були раніше. Знову необхідно в Mach3 завантажити попередньо сформований G-код лазерного гравіювання. І запустити процес оброблення. Протікання процесу лазерного гравіювання можна побачити на рисунку 4.7.



Рисунок 4.7 – Процес лазерного гравіювання зображення на тестовій деталі

В результаті успішного протікання процесу на рисунку 4.8 можна побачити виготовлений елемент на деталі методом гравіювання лазерним променем.



Рисунок 4.8 – Результат лазерного гравіювання зображення на деталі

З вище представленого рисунка видно що виготовлений елемент на деталь виглядає так як і після проведеної симуляції в LaserGRBL.

4.4. Висновки по розділу

В даному розділі описані експериментальні випробування лазерного гравіювання та різання в парі з фрезерним обробленням на одному гібридному обладнанні. Гібридність обладнання полягає в наявності на верстаті з ЧПК як фрезерної головки так і лазерної головки. Усі експериментальні операції які здійснювалися над заготовкою попередньо були налагоджені в САМ програмних продуктах та були успішно виконані. Варто відмітити, що симуляції робіт в САМ програмах та очікувані результати виявилися правдивими та передбачуваними.

ВИСНОВОК

В першому розділі здійснено опис технічних можливостей фрезерних та лазерних верстатів з ЧПК. Відповідно аналізуючи їх можливості та функціонал виникла ідея об'єднання двох різних верстатів в один.

В другому розділі здійснено вибір обладнання, а саме фрезерного верстата з ЧПК (РП1515) та лазерної головки (SCULPFUN S9). Також проаналізовано електронні плати які працюють в парі з цим обладнанням з метою виявлення можливості їх об'єднання в одну працюючу систему. Переконавшись в їх сумісності розроблена електронна схема їх підключення. Також для коректної роботи гібридного верстата здійснено його програмне налагодження в програмному забезпеченні Mach3.

В третьому розділі було розроблено та виготовлено спеціальний кронштейн за допомогою якого лазерна головка об'єднувалася з кареткою осі Z верстата. Також в цьому розділі проведено моделювання тестової деталі для експериментальних досліджень роботи гібридного верстата. Відповідно для перевірки усіх запланованих операцій попередньо вони були запрограмовані в G-код з застосуванням програм FeatureCAM та LaserGRBL.

В четвертому розділі описано експериментальні випробування робіт верстата з ЧПК над однією деталлю за один установ. Випробовувалися операції фрезерування, лазерної різки та лазерного гравіювання. Експериментальні дослідження виявилися успішними, що може говорити про підтвердження ідеї гібридизації верстата з ЧПК.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технічна документація фрезерного верстата РП1515 з ЧПК.
2. Datasheet плати ЧПК Bitsensor.
3. Довідка програмного забезпечення SolidWorks.
4. Довідка програмного забезпечення FeatureCAM.
5. Довідка програмного забезпечення Mach3.
6. Що таке лазерне різання. [Електронний ресурс]. Режим доступу:
<https://www.china-machining.com/blog/what-is-cnc-milling>
7. Як працює фрезерування на верстатах з ЧПК. [Електронний ресурс].
Режим доступу: <https://www.iqsdirectory.com/articles/>
8. Довідка програмного забезпечення LaserGRBL.
9. Матеріали [Електронний ресурс]. Режим доступу:
https://www.youtube.com/watch?v=9pr3rpa4RIE&ab_channel=StevesFascinations
10. Матеріали [Електронний ресурс]. Режим доступу:
https://www.youtube.com/watch?v=YUS5HALyiQo&t=633s&ab_channel=DavidLeGrange