

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Проект малогабаритного фрезерувально- гравіювального верстату

Назва теми

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Шифр, назва

Освітня програма «Машини і апарати легкої промисловості»


Шифр МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група МБм-22-1


Підпис

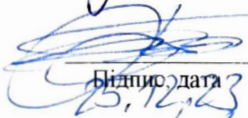
Зелінський В.В.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

проф. Скиба М.Є.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

доц. Тимашук О.Г.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

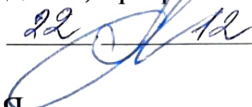
проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

22 12 2023 р.

Хмельницький 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень магістр
Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
Шифр і назва
Спеціальність 131 «Галузеве машинобудування»
Шифр і назва
Освітня програма «Машини і апарати легкої промисловості»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МАЕЕС
д.т.н., проф. Поліщук О.С.
 22.08.2023р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА Зелінський Володимир Віталійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Проект малогабаритного фрезерувально-гравіювального верстату

керівник роботи д.т.н., проф. Скиба М.Є.

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

Затверджено наказом ректора університету від 15 08 202__ р. № 30

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____
3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики фрезерувально-гравіювальних верстатів аналогів та матеріалів, що на них обробляються.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка конструкції малогабаритного фрезерно-гравіювального верстату. 3. Застосування фрезерно-гравіювального верстату для виготовлення виробів. 4. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Типи верстатів ЧПУ. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Елементи фрезерного верстату. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 3. Підключення плати Arduino Uno. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 4. Драйвер крокового двигуна. Схема електрична (A2)+Схема підключення (A2). Документ оглядовий (A1). Аркуш 5. Фрезерний верстат. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 6. Програма. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 7. Результати. Документ дослідницький (A1). Аркуш 8. Результати експерименту. Документ дослідницький (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1. Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики магістерської роботи	до 30.10.22р.	
2. Розробка конструкції малогабаритного фрезерно-гравіювального верстату	до 10.11.22р.	
3. Застосування фрезерно-гравіювального верстату для виготовлення виробів	до 20.11.22р.	
4. Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	до 12.12.22р.	

Студент


Підпис

В.В. Зелінський
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

М.Є. Скиба
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Зелінський Володимир Віталійович

2. Тема магістерської роботи Проект малогабаритного фрезерувально-гравіювального верстату

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента Ю.М.Філософа О.М.
к.т.н., доцент кафедри ТМШВ

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 98

5. Розробка фрезерно-гравіювальних верстатів є важливою та актуальною задачею сучасного виробництва, оскільки таке обладнання відіграє ключову роль у багатьох галузях промисловості. Фрезерно-гравіювальні верстати забезпечують високу точність обробки, гнучкість у виробництві складних деталей та здатність швидко адаптуватися до змінних виробничих вимог. Це робить їх незамінними для виробництва прецизійних компонентів у машинобудуванні, авіаційній промисловості, медичному обладнанні та електроніці. Сучасні технології, такі як комп'ютерне програмне управління (ЧПУ), значно розширюють можливості цих машин, забезпечуючи автоматизацію процесів та підвищення продуктивності, що робить розробку та вдосконалення фрезерно-гравіювальних верстатів дуже важливим напрямком в промисловому дизайні та виробництві. В магістерській роботі здійснюється розробка малогабаритного гравіювально-фрезерного верстата, що є актуальним як для домашнього використання, малого бізнесу, так і для навчальних потреб. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики магістерської роботи, а саме конструкцій гаражних воріт та систем автоматизації. В другому здійснюється розробка конструкції малогабаритного фрезерно-гравіювального верстату. В третьому розділі розглянуто застосування фрезерно-гравіювального верстату для виготовлення виробів.

Підпис студента 

"22" 12 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від "26" 12 2023 р.

Оцінка проекту ЕК Відмінно 5,0 / А

Рекомендації ЕК роботу рекомендуємо до
впровадження у виробництво

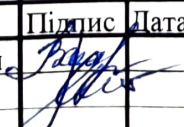
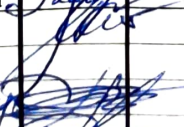

Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

"26" 12 2023 р.

ЗМІСТ

	стор
Вступ	6
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	8
1.1 Загальні положення	8
1.2 Основні аспекти	8
1.3 Механічні і фізичні та хімічні процеси при різанні деревини	10
1.4 Силова взаємодія різця з оброблюваним матеріалом при елементарному різанні	13
1.5 Основні закономірності елементарного різання	16
1.6 Класифікація процесів різання	18
1.7 Загальні відомості про сучасні методи і прийоми обробки деревини	21
1.8 Настільне фрезерне обладнання з ЧПУ	25
1.9 Висновки з розділу	32
2 Розробка конструкції малогабаритного фрезерно-гравіювального верстату	33
2.1 Розробка каркасу верстату	33
2.2 Вибір крокових двигунів	39
2.3 Підбір шпинделя	51
2.4 Розробка електричної частини фрезерного верстата	57
2.5 Вибір програмного забезпечення для керування фрезерним верстатом	69
2.6 Обробка матеріалів на фрезерні верстати з ЧПУ	75

MPMA23.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Зелінський			Проект малогабаритного фрезерувально-гравіювального верстату	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Скиба				4	98	
Н.контр.		Тимощук			ХНУ гр.МБм-22-1			
Затвер.								

2.7	Загальний вигляд розробленого верстату для виготовлення деталей методом фрезерування	79
2.8	Висновки до розділу	82
3	Застосування фрезерно-гравіювального верстату для виготовлення виробів	83
3.1	Вибір робочих інструментів	83
3.2	Процедура 3D-фрезерування деталі	90
3.3	Висновки до розділу	94
	Висновки	95
	Перелік джерел посилань	96
	Додатки	

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Розробка фрезерно-гравіювальних верстатів є важливою та актуальною задачею сучасного виробництва, оскільки таке обладнання відіграє ключову роль у багатьох галузях промисловості. Фрезерно-гравіювальні верстати забезпечують високу точність обробки, гнучкість у виробництві складних деталей та здатність швидко адаптуватися до змінних виробничих вимог. Це робить їх незамінними для виробництва прецизійних компонентів у машинобудуванні, авіаційній промисловості, медичному обладнанні та електроніці. Крім того, такі верстати знаходять широке застосування в деревообробці, рекламній індустрії, а також у створенні художніх та декоративних виробів. Сучасні технології, такі як комп'ютерне програмне управління (ЧПУ), значно розширюють можливості цих машин, забезпечуючи автоматизацію процесів та підвищення продуктивності, що робить розробку та вдосконалення фрезерно-гравіювальних верстатів дуже важливим напрямком в промисловому дизайні та виробництві. Тобто гравіювально-фрезерні верстати сьогодні є невід'ємною частиною різноманітних виробничих сфер, починаючи від ювелірної промисловості і закінчуючи виготовленням форм для лиття та інструментів. Ці складні пристрої, керовані комп'ютером, використовують мікрокрокові двигуни для переміщення шпинделя з ріжучим інструментом. Їх застосування виявилось ефективним у створенні моделей, виробництві рекламних та декоративних елементів, а також при обробці пластиків, композитів, органічного скла, дерева та інших матеріалів.

На сьогоднішньому ринку представлений широкий асортимент верстатів з ЧПУ, що підвищують ефективність і якість у сфері декоративно-прикладного мистецтва. Виробники акцентують увагу на інноваційності та надійності своїх конструкцій, особливо цінним є їх застосування для обробки складних 3D-поверхонь.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Ця магістерська робота зосереджена на розробці малогабаритного гравіювально-фрезерного верстата, що є актуальним як для домашнього використання, малого бізнесу, так і для навчальних потреб. Робота виконувалась у рамках наукових досліджень на кафедрі «Машин та апаратів, електромеханічних та енергетичних систем» ХНУ у 2022-2023 роках.

Метою дослідження є розробка і вивчення малогабаритного гравіювально-фрезерного верстата. Для досягнення цієї мети були поставлені та вирішені завдання, спрямовані на розвиток техніки фрезерування, розробку конструкції малогабаритного фрезерувального станка та його експериментальне дослідження.

Розроблений верстат може бути використаний у виробництві декоративно-прикладних виробів та у навчальному процесі на відповідній кафедрі.

Результати розробки були представлені та високо оцінені на науковій студентській конференції кафедри машин та апаратів, електромеханічних та енергетичних систем у 2023 році. На основі них було підготовлено тези у Збірник наукових праць «Технічна творчість» №7, 2023р. (додаток Б).

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Загальні положення

Перші відомості про деревообробні машини відносяться до XIII століття. Зберігся опис Віллера де Гоннекуера (1236р.) водяного лісопильного млина, який включав чотирьох ланковий механізм і працював від водяного приводу. Є відомості, що в 1565 р. на Дністрі біля м. Самбір працював тартак, також в селах Дворецька Воля, Ланівці і в м, Стрий. За підрахунками у XVI столітті в Україні працювало 20 тартаків.

Серійний випуск деревообробних машин почався на початку XIX століття. За цей час створена спеціальна галузь машинобудування по виробництву деревообробного обладнання.

В Україні деревообробне обладнання і інструмент випускали та випускають Городоцький верстатобудівний завод, Дніпропетровський верстатобудівний завод, Дніпропетровський завод важких пресів, Камянець-Подільські фірми „Механік”, „Поділля”, фірми „Удача” – Київ, „Астра” – Кіровоград.

Першу спробу теоретично обґрунтувати процес різання деревини зробив професор І.А. Тіме. Він у 1874р. опублікував працю „ Опір матеріалів і дерева різанню”. Даліше основні положення різання деревини були розвинуті професорами К.А.Зворикіним, О.О. Бріксом, А.В. Гавриленко, М.А. Дешевим і пізніше О.Е.Грубе, С.О. Воскресенським, Ф.М. Манжосом, Л.О. Бершадським і Е.Е.Івановським.

1.2 Основні аспекти

Деревина може бути оброблена хімічно та механічно. Хімічна обробка включає зміну якості речовини і включає виробництво скипидару, спирту,

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

каніфолі, штучного волокна, паперу тощо. Механічна обробка, яка змінює форму та об'єм деревини без зміни її якості, використовується для виробництва пиломатеріалів, фанери, столярних виробів та меблів. Ця технологія базується на властивостях дилимості та пластичності деревини.

Дилимість означає здатність деревини розділятися під впливом зовнішніх сил, а пластичність - збереження остаточної форми після зняття цих сил. Різання деревини може виконуватися як з утворенням стружки, так і без неї. Різання без утворення стружки включає штампування, висікання та прорізання тонких шарів, в той час як різання з утворенням стружки веде до значних деформацій та руйнування деревини.

Обробка різанням застосовується не тільки до самої деревини, але й до матеріалів на її основі, таких як пресована, пластифікована, клеєна деревина, фанера, столярні та волокнисті плити. Анізотропність деревини, обумовлена її волокнистою структурою, призводить до різних механічних властивостей у різних напрямках.

Деревина виявляє три основні напрямки властивостей: один вздовж волокон, де міцність найбільша, та два інші - радіальний і тангенціальний, що йдуть поперек волокон. Ці напрямки є взаємно перпендикулярними, через що деревину класифікують як ортогонально-анізотропний або ортотропний матеріал (рис.1.1) [22].

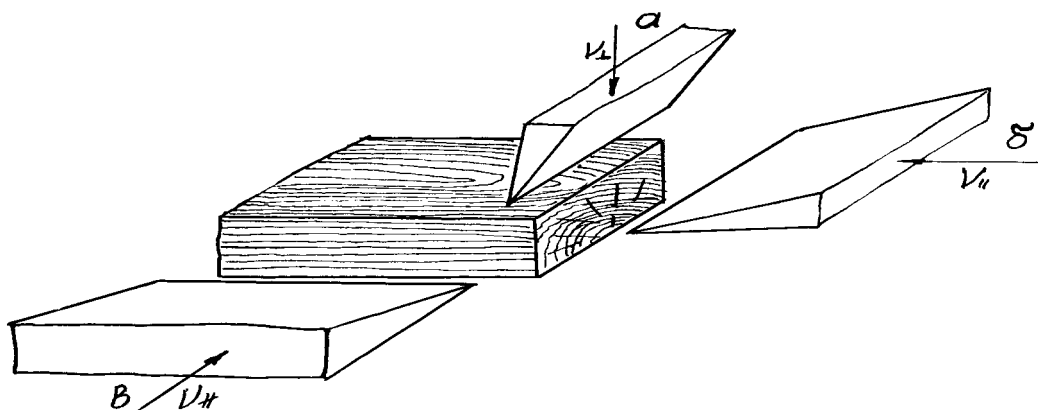


Рисунок 1.1 – Вид деревини

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1.3 Механічні і фізичні та хімічні процеси при різанні деревини

Згідно з даними сучасних досліджень, різання деревини є комплексним процесом, що охоплює механічні, фізичні та хімічні аспекти. Механічні аспекти включають деформацію матеріалу та появу внутрішніх напружень. Фізичні процеси відбуваються на поверхні контакту деревини з різцем, перетворюючи механічну енергію на теплову та електричну, що впливає на зношування інструменту. Хімічні процеси, які відбуваються на цих поверхнях, сприяють швидкій зносостійкості ріжучих поверхонь, особливо важливі для твердих сплавів та жароміцних сталей.

Процес тертя під час різання деревини відрізняється від металів, оскільки через низький модуль пружності деревини спочатку відбувається пружне зсування поверхневих шарів перед ковзанням різця. Коефіцієнт тертя ковзання у цьому випадку нижчий, ніж у стані спокою.

При різанні деревини відстань між інструментом та деревиною може бути менше 10^{-7} мм, що призводить до виникнення електричної контактної напруги між поверхнями, утворюючи своєрідний конденсатор.

Під час аналізу різання деревини використовується поняття "елементарного" різання, яке передбачає відкрите різання з прямолінійною ріжучою кромкою та прямолінійним поступальним рухом. Для цього типу різання характерні постійні параметри, такі як швидкість різання, сила різання, кути різання і т.д.

Основні види елементарного різання включають торцеве, поздовжнє та поперечне різання, кожен з яких має свої особливості стружкоутворення, засновані на працях І.А.Тіме (рис.1.2). Важливо зазначити, що в цих дослідженнях використовуються ідеально гострі різці без радіуса заокруглення та не враховуються сили тертя.

Торцеве різання (рис.1.2, а) характеризується зростанням нормальної сили та відповідних сил різання, а також відносним зсувом елементів струж-

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

гнути високої ефективності та якості обробки деревини, зменшуючи ризик зношування інструменту та підвищуючи точність виготовлення дерев'яних виробів.

Різання паралельно волокнам (зображено на рис.1.2, б) відбувається таким чином, що при просуванні різця, відносно легше відхилити деревину на певній дистанції, ніж розтрити її через стискання уздовж волокон. Подальший рух різця призводить до ламання деревини. Коли формується передня тріщина, сили різання різко знижуються, майже до нуля, після чого цикл повторюється. При товщині стружки 0,1-0,2 мм утворюється сполучена стружка, що набуває форми сильно деформованої стрічки, скрученої в тугу спіраль, де окремі сегменти важко розрізнити. Зі зростанням товщини стружки, радіус її закручування збільшується, довжина фрагментів росте, що веде до появи вирв на обробленій поверхні.

Різання перпендикулярно волокнам (ілюстровано на рис.1.2, в) зберігає певну періодичність сил різання. Використання гострого різця з малим кутом різання для обробки пропареної деревини може забезпечити отримання цільної стружки без внутрішніх тріщин. Однак, при обробці більш товстої стружки вона може утворювати стрічкоподібну форму з частковими тріщинами.

Збільшення кута різання та товщини стружки може призвести до формування сколювальної стружки, складеної з окремих частин, через слабе з'єднання волокон у поперечному напрямку. При утворенні неперервної стрічкоподібної стружки шорсткість обробленої поверхні залишається невеликою, але якість поверхні погіршується зі збільшенням товщини стружки та при переході до сколювальної стружки. В таких випадках на обробленій поверхні можуть з'явитися вирви, які збільшуються при формуванні стружки через відрив.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.4 Силова взаємодія різця з оброблюваним матеріалом при елементарному різанні

Процес різання супроводжується руйнуванням зв'язків між частинками деревини. Це відбувається завдяки дії сил в місці контакту різця з заготовкою. На заготовку (матеріал) діють нормальні σ і дотичні напруження τ (рис.1.3). При постійному значенні коефіцієнта тертя:

Процес різання характеризується розривом зв'язків між частинками деревини, що відбувається через сили, які виникають у точці контакту різця з оброблюваним матеріалом. На заготовку впливають як нормальні σ , так і дотичні напруження τ (показано на рис.1.3).

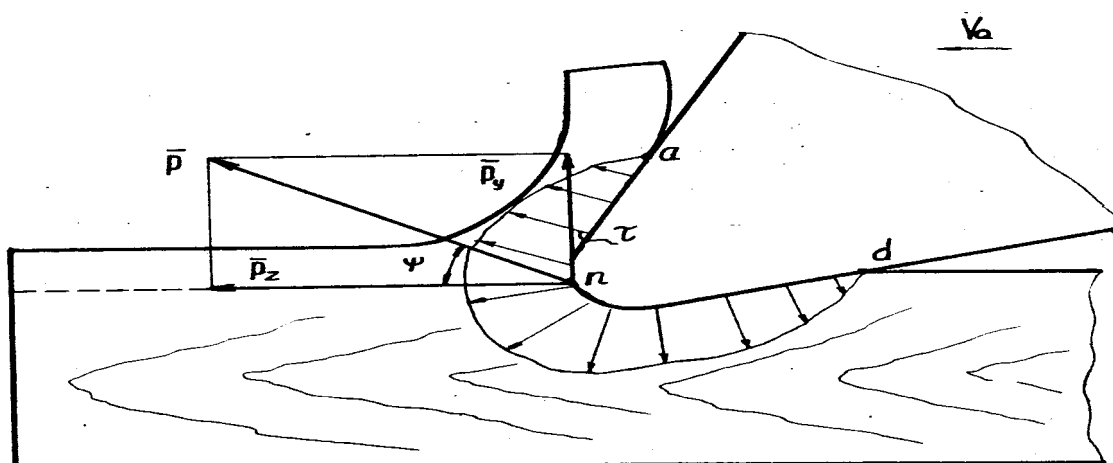


Рисунок 1.3 – Сила різання

При стабільному коефіцієнті тертя буде:

$$F \tau = f \sigma \quad (1.1)$$

Загальна величина дотичних та нормальних напружень формує силу P , яка представляє взаємодію між різцем та деревиною, що діє під певним кутом ψ . Ця сила P поділяється на дві складові: дотичну силу P_z та нормальну силу P_y .

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2} \quad (1.2)$$

Основна сила різання P_z вирівнюється з напрямком швидкості різання. При основному обертовому русі, P_y представляє радіальну силу, яка, залежно від умов роботи, може бути спрямована або в сторону стружки (як сила зтягування, позначена як "-") або в сторону заготовки (як сила відтискання, позначена як "+").

Робота різця сильно залежить від радіусу його затуплення на вершині. Згідно з експериментальними дослідженнями Академії Наук України, напруження на периметрі леза з радіусом $2r$ при різанні тонких дерев'яних пластинок досягає 40-50 кГ/мм², а в умовах інтенсивного різання може підвищуватися до 500 кГ/мм². Це свідчить про великі напруження, які виникають на лезі різця і необхідні для формування нових поверхонь. Чим менший радіус затуплення r , тим вищі напруження. Таким чином, реальний процес різання деревини є процесом створення нових поверхонь під впливом високих напружень, що генеруються різцем, а також деформації деревини з обох боків від різальної площини, супроводжуючись тертям між стружкою та оброблюваною поверхнею.

При аналізі процесів різання використовують такі поняття, пов'язані з силами різання:

- одинична сила різання,
- питома сила різання,
- питома робота різання.

Одинична сила різання P_1 (Н/мм) визначає силу різання, потрібну для зняття шару матеріалу шириною 1 мм та визначається:

$$P_1 = \frac{P}{b}, \quad (1.3)$$

По аналогії:

$$P_{z1} = \frac{P_z}{b}, \quad (1.4)$$

$$P_{y1} = \frac{P_y}{b}. \quad (1.5)$$

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Питома сила різання $R_{\text{пит}}$ (Н/мм²) визначає дотичну силу, необхідну для видалення шару стружки з перерізом 1 мм² та визначається:

$$P_{\text{пит}} = \frac{P_z}{ab}, \quad (1.6)$$

де a і b , відповідно, ширина і товщина шару, що знімається.

Питома робота різання K (Дж/см³) означає обсяг роботи, яку виконує дотична сила P_z для перетворення 1 см³ заготовки у стружку. Цей параметр розраховується відповідно до наступної формули:

$$K = \frac{P_z l}{abl}, \quad (1.7)$$

де l - довжина шару, що зрізається (шлях на протязі якого діє сила P_z);

$a \times b \times l$ - об'єм зрізаного шару.

Питома робота різання K (Дж/см³) чисельно дорівнює питомій силі різання ($R_{\text{пит}}$ /мм²), але фізично це величини різні. Питома робота різання визначається експериментально для кожного виду обробки і значення її приведені у довідниках. Конкретні особливості обробки враховуються поправочними коефіцієнтами:

$$K = K_{\text{табл}} a_{\text{попр.}}, \quad (1.8)$$

де $a_{\text{попр}}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує конкретні умови обробки;

$K_{\text{табл}}$ - табличне значення роботи різання, яке береться з відповідних довідників,

$$a_{\text{табл}} = a_{\text{п}} a_{\rho} a_{\text{v}} a_{\text{w}} a_{\text{t}} a_{\text{h}} a_{\delta} a_{\text{uz}} \quad (1.9)$$

де коефіцієнти, які враховують:

$a_{\text{п}}$ – породу дерева,

a_{ρ} - затуплення інструменту,

a_{v} - швидкість різання матеріалу,

a_{w} - вологість деревини,

a_{t} –температуру деревини, що підлягає різанню,

a_{h} – висоту пропилу,

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$\dot{\alpha}_s$ - кут різання,

a_{uz} - величину подачі на зуб.

Потрібна потужність для здійснення процесу різання:

$$N_p = K V_1 = K \left(\frac{V_s}{60} F \right), \quad (1.10)$$

де F - площа поперечного шару, який зрізається, мм^2 ,

V_s - конструктивна швидкість подачі матеріалу м/хв. ,

V_1 - об'єм матеріалу, що знімається за одну секунду, $(\text{см}^3/\text{с})$.

Ця залежність є загальною для всіх методів обробки деревини різанням. Важливо в кожній конкретній ситуації визначити площу поперечного перетину F та значення питомої роботи різання K .

1.5 Основні закономірності елементарного різання

На величину питомої роботи різання впливає безліч чинників, включаючи твердість матеріалу (породу деревини), гостроту інструменту, вологість деревини, її температуру, швидкість подачі та різання, напрямок різання відносно волокон, розташування заготовки в стовбурі дерева, а також регіон зростання деревини та тип ґрунту, на якому вона вирощена. Оскільки врахувати всі ці фактори в розрахунках практично неможливо, зазвичай обмежуються лише основними.

Питома робота різання значно залежить від породи деревини (рис.1.4). Наприклад, для сосни, яка вважається еталоном, встановлено показник питомої роботи різання $a_p=1$. Нижчі значення мають ялина ($a_p=0,95$), осика ($a_p=0,85$), липа ($a_p=0,80$), тоді як для твердих порід, як-то бук ($a_p=1,40$), дуб ($a_p=1,45$), ясен ($a_p=1,75$), вони вищі. Одним із ключових факторів є гострота інструменту, яка вимірюється радіусом заокруглення. За різного ступеня заточення ножа радіус заокруглення може варіюватися від 4-8 $\mu\text{м}$ до 40-50

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

ратура деревини: з її зростанням питома робота знижується завдяки збільшенню пластичності матеріалу, а при 0°C, коли лід у мерзлій деревині тане, вода змащує різець, що призводить до різкого зниження питомої роботи різання.

Розмір пропилу має вплив на питому роботу різання, оскільки зі збільшенням висоти пропилу зростають сили тертя між бічними поверхнями інструменту та стінками пропилу, вимагаючи додаткових зусиль для їх подолання. Водночас, збільшення кута різання спричиняє зростання зусиль, необхідних для різання, що в свою чергу призводить до збільшення питомої роботи різання. Також, підвищення подачі на зуб U_z знижує питому роботу різання, оскільки формується більш товста стружка, що зменшує потребу в роботі для її подрібнення.

1.6 Класифікація процесів різання

Всі види машинної обробки деревини можна класифікувати на три основні групи за їхнім технологічним призначенням: розподіл, зняття припуску та глибоку обробку.

Пиляння представляє собою процес закритого різання з використанням багатолезового інструменту (пилки), метою якого є розділення заготовки на окремі, недеформовані частини. Особливість цього процесу полягає в створенні пропилу. Пропил - це порожнеча або щілина, яка формується внаслідок дії різців пилки, що видаляють вузькі стружки або тирсу. Для того, щоб сформувати пропил, зуби пилки мають мати три робочі грані, відповідно до кількості поверхонь пропилу.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

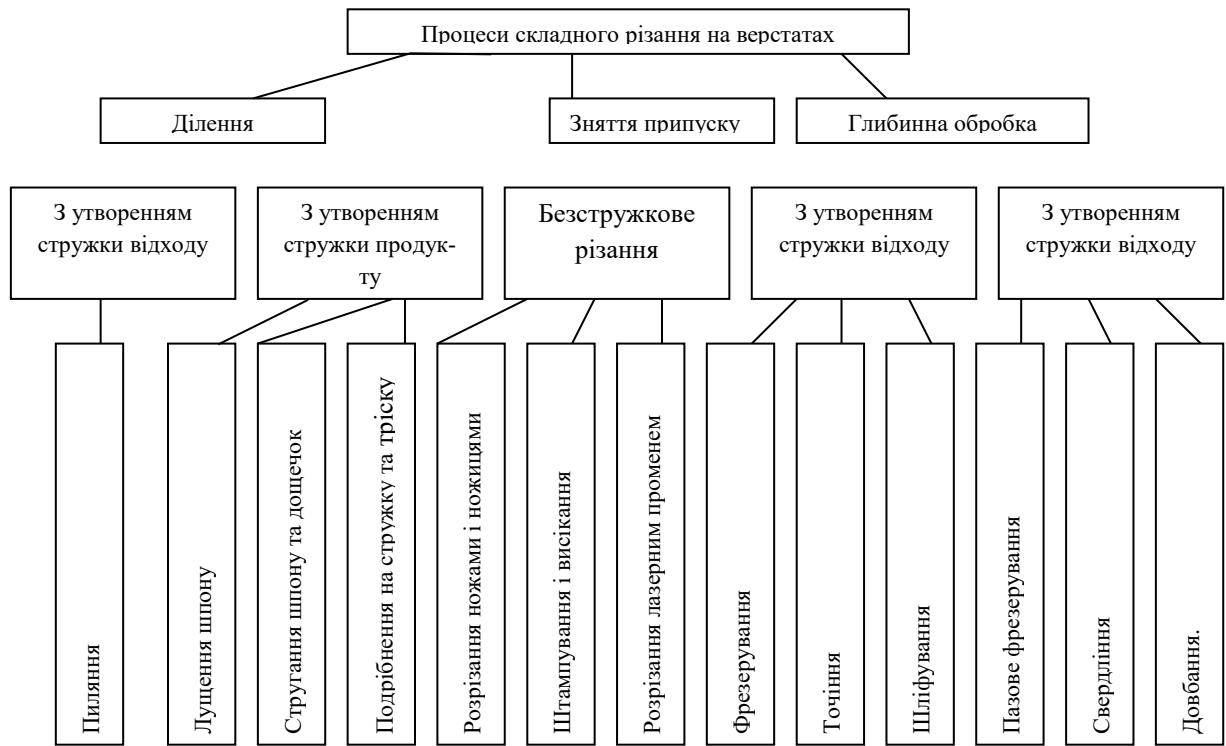


Рисунок 1.5 – Класифікація процесів різання

Процеси пиляння можуть бути класифіковані в залежності від характеру головного руху пилки, який може бути прямолінійним зворотно-поступальним, обертовим або безперервним. Щодо типу пилки, вони поділяються на смугові, стрічкові, дискові, ланцюгові, а також спеціальні, наприклад, циліндричні чи сферичні.

В залежності від орієнтації різальних поверхонь щодо волокон деревини існують різні види пиляння:

- а) поздовжнє (пропили розташовані паралельно волокнам),
- б) поперечне (площини пропилу перпендикулярні до напрямку волокон),
- в) криволінійне (поверхні пропилу криві),
- г) змішане (комбінація поздовжнього і поперечного).

Однією з характеристик пиляння є закритий тип різання. Це означає, що об'єм стружки, що видаляється, має вміщуватися в простір між зубами пилки. При такому різанні бічні кромки різця зуба забезпечують зсув і вири-

вання волокон зі стінок пропилу, що збільшує опір різанню. Також стружка, яка видаляється, значно деформується та ущільнюється у западині зуба, займаючи близько 45-50% від свого первісного об'єму. Ущільнення стружки у зубах сприяє відновленню стінок пропилу, внаслідок чого ширина пропилу у зоні западини виявляється меншою, ніж біля основної різальної кромки. Енергія, витрачена на деформацію стружки, її ущільнення та тертя під час ковзання по бічних поверхнях, збільшує питому роботу різання. Для мінімізації енергії, витраченої на тертя, пропил роблять ширшим за рахунок розведення зубів пилки.

Відповідно:

$$B_{\text{проп}} = B + 2v, \quad (1.10)$$

де B – товщина полотна пилки;

v – величина розведення зуба пилки на сторону;

$B_{\text{проп}}$ – ширина пропилу матеріалу.

Фрезерування – це процес обертового різання, де кінцева траєкторія різання формує циклоїдальну криву. Таку криву створює точка на ріжучій кромці фрези, яка виникає внаслідок комбінації обертового руху фрези та прямолінійної подачі.

Фрезерування використовується для обробки поверхонь сирових заготовок, знижуючи їх шорсткість та надаючи виробам потрібні розміри та форми у поперечному перерізі. Цей метод також використовується для створення пазів, шипів, гнізд, а також для подрібнення деревини на технологічні тріски та стружку. В залежності від форми поверхні, яку описують різці, існують такі види фрезерування:

- циліндричне (різці паралельні до осі інструменту),
- конічне (різці нахилені до осі обертання під певним кутом, формуючи конічні поверхні);
- торцеве (різці розміщені перпендикулярно до осі обертання фрези, описуючи плоскі поверхні).

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Комбінація цих основних видів дає можливість виконувати складніші фрезерування. Залежно від напрямку подачі та швидкості різання, фрезерування може бути зустрічним або попутним. Серед усіх видів фрезерування, у деревообробній промисловості найчастіше використовується зустрічне циліндричне фрезерування, яке здійснюється на різних типах обробних машин, включаючи фугувальні, рейсмусові, фрезерні та чотиристоронні стругальні верстати.

1.7 Загальні відомості про сучасні методи і прийоми обробки деревини

Сучасні інструменти та обладнання дозволяють виконувати завдання, які раніше були можливі лише вручну. Більшість сучасних машин (як показано на рис.1.6) можуть підключатися до персонального комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням або мають інтегрований комп'ютер.



а-одноопераційний верстат; б-комбінований верстат; в-універсальний верстат; г-верстат з програмним управлінням; д-обробний центр

Рисунок 1.6 – Деревообробні верстати:

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Використання комп'ютерних програм дозволяє значно підвищити якість і продуктивність роботи. Науковці, інженери та дизайнери активно працюють над удосконаленням технічного оснащення, метою якого є поліпшення умов праці та підвищення економічної ефективності. В результаті цих зусиль машини стають безпечнішими, продуктивнішими та зручнішими у використанні.

У контексті високого розвитку обладнання, покращення здійснюється не лише через конструктивні вдосконалення окремих частин машин, але й через розширення їхнього асортименту, впровадження нових принципів і кінематичних схем, оптимізацію управління виробництвом та поліпшення технологічних процесів. Економічна ефективність виробництва збільшується за рахунок вищої рентабельності нового обладнання, яке відрізняється високою надійністю та забезпечує низьку собівартість виробів високої якості. У цьому контексті якість та точність обладнання є критично важливими, де висока технологічна точність досягається через раціональне поєднання конструкційних схем, матеріалів і технологій виробництва. Важливу роль відіграють також умови експлуатації, технічне обслуговування та плановий ремонт.

Сьогоднішні вимоги до точності деревообробних верстатів визначаються, переважно, їхнім терміном служби. Верстати, що використовуються тривалий час, підпорядковуються особливо строгим стандартам точності. Продовження терміну експлуатації часто виявляється одним з найефективніших способів збільшення обсягів промислового виробництва та підвищення його ефективності.

У ході свого розвитку деревообробні машини можна класифікувати на чотири покоління. Перше покоління охоплює одноопераційні верстати з ручною або механізованою подачею заготовок. Друге покоління включає багатоопераційні машини, автомати та лінії з ручним або механізованим керуванням. Третє покоління складається з верстатів-автоматів, обробних центрів та ліній з програмним управлінням, які працюють за жорсткими програмами.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Четверте покоління могло б включати автомати, обробні центри, автоматичні лінії та роботизовані комплекси з адаптивним управлінням, здатні реагувати на зміни сировини, довкілля, технічного стану та автономно коригувати програму та режими роботи. На сьогоднішній день, переважна більшість деревообробного обладнання відноситься до другого покоління, існує також певна кількість машин третього покоління. Машини четвертого покоління поки не виробляються, але вже проводяться дослідження щодо створення штучного інтелекту для їх управління. Четверте покоління – це машини майбутнього.

Сучасний деревообробний центр представляє собою автономну робочу машину, інтегровану з обчислювальним пристроєм, який працює в режимі реального часу і перетворює інформаційні сигнали у сигнали управління. Така інтеграція дозволяє здійснювати складні рухи за допомогою керування переміщенням у просторі, що сприяє автоматизації процесу програмування.

Прикладом такого розвитку є різьблення деревини, яке традиційно вважалося ручною працею. Сучасні фрезерно-гравірувальні верстати, що здатні обробляти від однієї до чотирьох заготовок одночасно, здійснюють значну частину робіт з високою якістю (рис.1.7). На таких верстатах можуть бути закріплені кілька шпинделів з однаковими інструментами, які працюють за однією програмою. Деякі моделі також можуть виконувати фрезерування на об'ємних виробках.



Рисунок 1.7 – Фрезерно-гравірувальні верстати для різьблення дерева

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Щодо випалювання та випилювання з фанери, першим кроком у підвищенні продуктивності стали лобзикові верстати (рис.1.8, а). Вони значно прискорюють випилювання деталей з різної товщини фанери, спрощуючи сам процес: електричний двигун замінив мускульну силу, а пила встановлена перпендикулярно до листа фанери. Точність роботи залежить від майстерності оператора. Ще більш точними і продуктивними є лазерно-гравірувальні верстати, що виконують точне вирізування деталей будь-якої конфігурації та декоративне випалювання під керуванням програми.

Використання лазерних верстатів та верстатів з програмним управлінням (числовим програмним управлінням - ЧПУ) дозволяє розмістити контури заготовок таким чином, що стають мінімальними відходи виробництва. Адже, використовуючи комп'ютер, можна заздалегідь змоделювати оптимальне розташування заготовок, розробити конструкції виробів з малою кількістю деталей та з такою формою, що дозволить зекономити конструкційні матеріали. Зауважимо, що вимоги до конструкційних матеріалів зростуть, адже неможливо наперед передбачити різноманітні вади фанери або деревини.



Рисунок 1.8 - Сучасні технології випилювання та випалювання

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Таким чином, використання сучасних технологій дає можливість говорити про виробництво предметів з мінімальними відходами або про майже безвідходне виробництво. Розв'язуючи проблеми безвідходності виробництва, слід мати на увазі дві сторони єдиного процесу. Перша - це найбільш раціональне використання конструкційних матеріалів і, як наслідок, зменшення утворення відходів. Друга - розширення використання відходів, що утворюються. Ці шляхи не виключають, а взаємно доповнюють один одного. Наприклад, стружка на деревообробному підприємстві може бути перероблена в деревинні стружкові плити - ДСП.

Термін "безвідходні технології" є дещо умовним, адже повністю виключити відходи на практиці майже неможливо. Тому більш точним буде використання терміну "маловідходні технології", який передбачає створення таких технологічних систем, що їх вплив на довкілля не буде перевищувати його здатності до самовідновлення. У лісовій галузі та деревообробній промисловості це означає комплексне використання деревини для максимального отримання продукції з кожного кубічного метра сировини.

Важливо також враховувати енергетичну ефективність технологічних процесів. Кожне наступне покоління верстатів та технологічних ліній споживає менше енергії, ніж попереднє. Це вдається завдяки оптимізації загальних принципів виробництва та зростанню продуктивності роботи без збільшення обсягу використаної енергії.

1.8 Настільне фрезерне обладнання з ЧПУ

Настільні фрезерні верстати з ЧПУ представляють собою ефективну альтернативу великим промисловим верстатам. Вони відповідають великим верстатам за точністю та функціональністю обробки, але завдяки своїм компактним розмірам і меншій вазі вони можуть бути застосовані не тільки у масштабному виробництві, але й для домашнього використання.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

1.8.1 Опис настільного фрезерного обладнання з ЧПУ

Настільне фрезерне обладнання є уменшеною версією великих фрезерних верстатів з ЧПУ. Воно призначене для виконання таких же операцій, як і великі верстати, включаючи фрезерування, свердління, розточування, зенкування тощо, але обмежене обробкою менших за розміром заготовок. Настільні фрезерні верстати з ЧПУ також можуть використовуватися як гравіювальні машини, чого не можуть зробити великі промислові верстати.

Розміри настільного фрезерного обладнання з ЧПУ зазвичай не перевищують 910x880x880 мм, хоча довжина столу в деяких моделях може бути більше 1 метра. Вага цих верстатів варіюється від кількох десятків до 200 кг, а живлення забезпечується від мережі 220 В. Максимальна висота заготовки, яку можна обробити на настільних верстатах з ЧПУ, становить від 40 до 200 мм, а потужність шпинделя варіюється від 0,7 до 1,5 кВт.

Існують два основних типи настільних фрезерних верстатів. Консольні верстати мають загальний вигляд, конструкцію та принцип роботи, подібні до вертикальних великих фрезерних верстатів. Портальні верстати мають шпиндель, закріплений на поперечній балці між двома вертикальними стійками, які можуть бути нерухомими або здатними переміщуватися уздовж осі Y. Робочий стіл з закріпленою на ньому заготовкою може рухатися по осі Y або бути стаціонарним. Шпиндель може переміщуватися не лише по вертикалі (ось Z), але й по осі X - уздовж балки між стійками (рис.1.9).

Шпиндель портального настільного верстата з ЧПУ керується через комп'ютер з операційною системою Windows, підключений через USB-порт. В залежності від комплектації, верстат може управлятися за допомогою спеціального програмного забезпечення та/або DSP контролера. Програми можна завантажувати з зовнішніх носіїв пам'яті, а під час роботи верстата комп'ютер може бути від'єднаним. За допомогою програмного забезпечення можна

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

здійснювати ручне управління обробкою через DSP або створювати повністю автоматизовані програми.

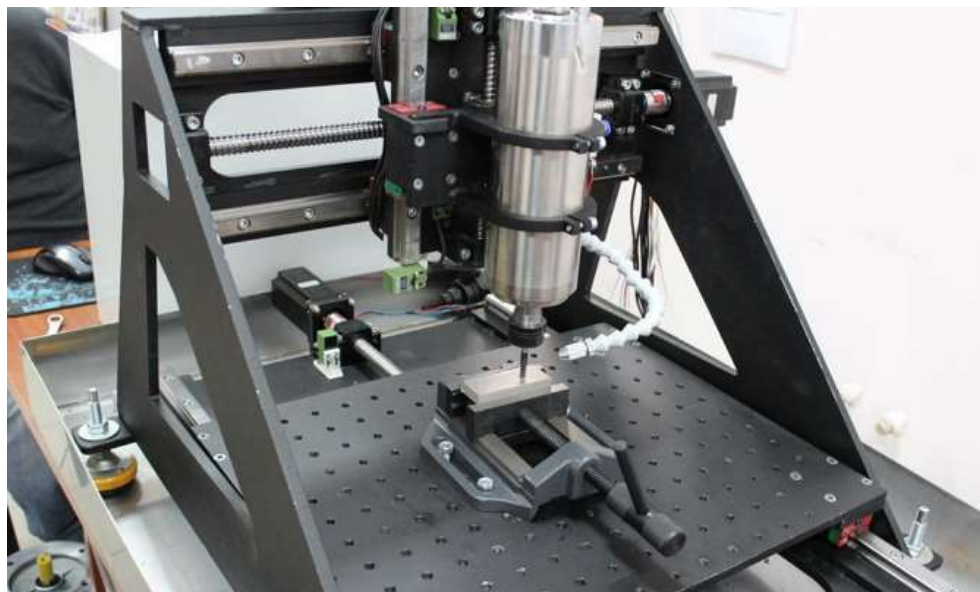


Рисунок 1.9 – Фрезерний верстат портального типу

Верстати здатні виконувати 2D, 3D, а іноді навіть 4D і 5D обробку, обробляючи матеріали від пластику і дерева до кольорових металів, каменю та сталі. Можливості конкретного верстата залежать від його призначення і моделі. Багато верстатів оснащені стружковідсосом, системою охолодження шпинделя, поворотним пристроєм для обробки конічних виробів та іншими допоміжними вузлами.

Термін CNC (англ. Computer Numerical Control) часто використовується для позначення обладнання з ЧПУ.

Такі верстати застосовуються у зуботехнічних лабораторіях, науково-дослідних та навчальних закладах, а також у високоточному виробництві, включаючи ювелірні майстерні. Вони придатні для виконання фрезерних, свердлильних, полірувальних, шліфувальних, гравіювальних робіт у домашніх умовах при виготовленні невеликих виробів. На цих верстатах можна виготовляти або обробляти деталі меблів, інтер'єру, рекламних виробів,

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

штампів, печаток, сувенірних та ювелірних виробів, радіотехнічних плат і багато іншого.

1.8.2 Переваги та особливості експлуатації

Настільні фрезерні верстати з ЧПУ використовуються не тільки домашніми майстрами і невеликими цехами, але й на великих підприємствах, які зазвичай віддають перевагу обладнанню для металообробки. Їх популярність пояснюється рядом переваг:

- простота у використанні;
- невеликі розміри та вага;
- мобільність;
- спрощена конструкція і обслуговування у порівнянні з великими верстатами;
- можливість підключення до мережі 220 В;
- доступна вартість;
- низьке споживання електроенергії;
- рівень шуму в межах допустимих норм;
- висока продуктивність порівняно з обладнанням ручного управління;
- зниження потреби в кваліфікованих фрезерувальниках;
- швидкий перехід до виготовлення нових або іншого типу деталей.

Для великих підприємств використання настільних верстатів дозволяє ефективно виготовляти дрібні деталі без залучення великих, енергоємних верстатів, які часто зайняті іншими завданнями. Крім того, не кожен великий верстат може виконати точну дрібну фрезерну обробку, на яку розрахований настільний верстат (рис.1.10).

Особливість експлуатації верстатів з ЧПУ полягає в тому, що вони доступні для використання навіть не професійними фрезерувальниками. Оператору достатньо лише правильно закріпити заготовку та запустити програму,

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

після чого верстат автоматично виконує всі необхідні операції. Проте для написання програми для ЧПУ необхідні спеціальні знання та вміння використовувати CAD/CAM системи. Для цього потрібен кваліфікований фахівець, а особа, яка придбала настільний верстат, має навчитися користуватися відповідним програмним забезпеченням для:

- розробки креслень;
- створення 3D-моделей виробів;
- написання програм для ЧПУ верстата на їх основі.

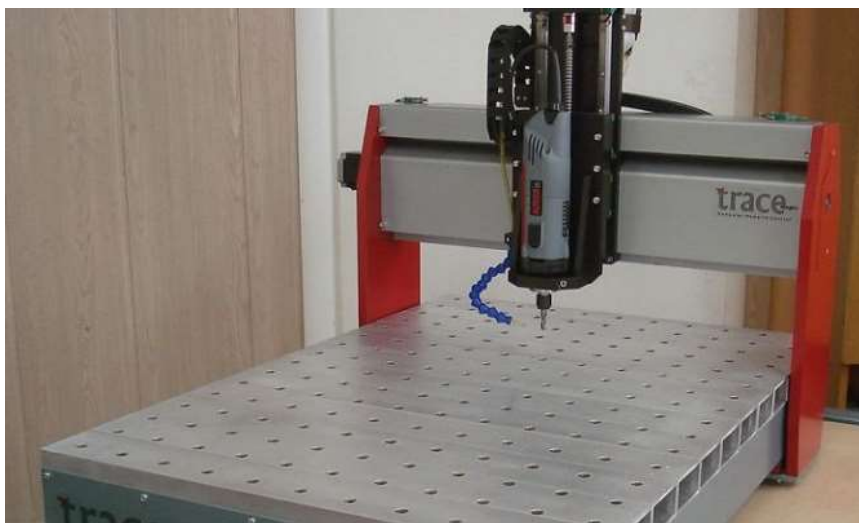


Рисунок 1.10 – Фрезерний верстат фірми Trace

Під час експлуатації обладнання з ЧПУ, крім виконання основних завдань, важливо також забезпечити контроль за правильністю його роботи.

1.8.3 Особливості гравірувальних фрезерних верстатів

Зовнішньо настільне фрезерно-гравірувальне обладнання з ЧПУ може виглядати подібно до стандартного фрезерного верстата, залежно від моделі та конструкції обох типів верстатів. Сфера застосування фрезерно-гравірувальних верстатів схожа на ту, що описана для фрезерних верстатів, які також можуть використовуватися для гравіювання. Головна відмінність

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

полягає в спеціалізації: фрезерні верстати переважно призначені для фрезерування, тоді як гравірувальні - для гравіювання.

Фрезерно-гравірувальне настільне обладнання з ЧПУ (рис.1.11).

Фрезерне обладнання може обробляти сталь, тоді як гравірувальне - не здатне це робити, обмежуючись кольоровими металами та менш твердими матеріалами. Гравірувальні верстати ідеальні для виконання дрібної, ювелірної роботи, на відміну від фрезерних верстатів. За допомогою гравірувального верстата можна отримати високоякісний виріб, який не потребує подальшої обробки. Точність обробки на фрезерному обладнанні залежить від заданого і досягнутого рівня точності.

Щоб гравірувальний верстат ефективно, безпечно та без дефектів виконував свою високоточну роботу, в його технічне оснащення обов'язково входить датчик висоти виробу. Він не тільки прискорює обробку, але й запобігає пошкодженню гравера чи мікрофрези. Також гравірувальний верстат може бути обладнаний датчиками кривизни (нахилу) виробу та вимірювання довжини та вильоту інструменту, що додатково забезпечують точність обробки та глибини різання.



Рисунок 1.11 – Фрезерний верстат RS-304

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

1.8.4 Настільні верстати з розширеними можливостями

Хоча більшість настільних верстатів з ЧПУ має обмеження щодо максимальних розмірів оброблюваних заготовок, що зумовлено конструкцією і розмірами робочої зони по осях X, Y і Z, існують винятки. Наприклад, німецькі настільні верстати BZT серії PF не мають таких обмежень (рис.1.12).



Рисунок 1.12 – Фрезерний верстат PF 750 P фірми BZT

Німецькі настільні верстати BZT серії PF.

Ці верстати з ЧПУ можуть обробляти заготовки, розміри яких перевищують стандартні параметри руху шпинделя по осях X, Y і Z. Для цього в моделях BZT-PF можна зняти робочий стіл, що дозволяє кріпити фрезерувальні вироби безпосередньо на ньому. Така можливість передбачена конструкцією і програмним забезпеченням верстатів, що дозволяє обробляти заготовки:

Значно вищі, ніж дозволяє стандартний робочий стіл. Для цього верстат встановлюють на додаткові підставки, що дозволяє підняти його над об-

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

роблюваною заготовкою, зафіксованою, наприклад, в поворотному патроні або лещатах робочого столу.

З будь-якими розмірами поверхні, оскільки знімається обмеження по довжині обробки в осях X і Y. Для цього верстат встановлюють прямо на заготовку та переміщують по ній. Перед початком роботи оброблювану поверхню програмно ділять на окремі сегменти, по яким верстат послідовно пересувається під час обробки виробу.

Не всі настільні фрезерні верстати з ЧПУ обладнані функцією виявлення та автоматичного коригування потенційних помилок під час обробки, яка допомагає уникнути дефектів виробу та підвищує продуктивність. Таку можливість забезпечують спеціалізовані сервоконтролери. Наразі ця технологія доступна лише у деяких високоточних верстатах, особливо у фрезерно-гравірувальних моделях з кроковими двигунами.

Найбільш складним і значущим аспектом конструкції саморобного верстата з ЧПУ є створення його механічної частини. Електронні компоненти для верстатів з ЧПУ є уніфікованими і можуть бути використані у будь-якому типі верстатів.

Типи верстатів з ЧПУ приведені на листі [МРМА23.00.00.000ДО]).

1.9 Висновки з розділу

У цьому розділі було здійснено аналіз та обговорено різноманітні технологічні та технічні підходи, які стосуються теми магістерської роботи. Описано ключові аспекти механічних та фізичних процесів, що відбуваються під час різання деревини, включаючи основні принципи елементарного різання та систематизацію процесів різання. Також наведено огляд існуючого обладнання для фрезерування та класифікацію різних типів верстатів.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МАЛОГАБАРИТНОГО ФРЕЗЕРНО-ГРАВІЮВАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ

2.1 Розробка каркасу верстату

При розробці саморобного фрезерного верстата з ЧПУ (CNC Router) важливо звернути увагу на наступні аспекти.

1. Вибір матеріалу, з яким планується працювати, що впливає на жорсткість та тип конструкції фрезерного верстата.

ЧПУ верстати, виготовлені з фанери, придатні для обробки дерева та пластиків, включно з композитними матеріалами.

Верстати з алюмінію здатні обробляти кольорові метали, забезпечуючи вищу швидкість обробки дерев'яних виробів.

Для обробки сталі необхідні масивні верстати з чавунною станиною, які також ефективні для обробки кольорових металів.

2. Визначення розмірів заготовок і робочої зони верстата, що впливає на вимоги до механіки верстата.

Важливо уважно вивчити механіку верстата, оскільки від неї залежать його можливості, і її заміна без значної переробки конструкції є неможливою.

Механіка фрезерних верстатів з фанери та алюмінію зазвичай схожа, але зі зростанням розміру робочої зони знадобляться більш жорсткі та дорогі напрямні для лінійного переміщення.

Розробляючи верстати для виготовлення високих деталей або деталей з великими перепадами висот, слід звернути увагу не лише на великий хід по осі Z, але й на можливість використання довгих фрез для обробки деталей з крутими схилами, якщо висота деталі перевищує робочу довжину фрези (рис.2.1).

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

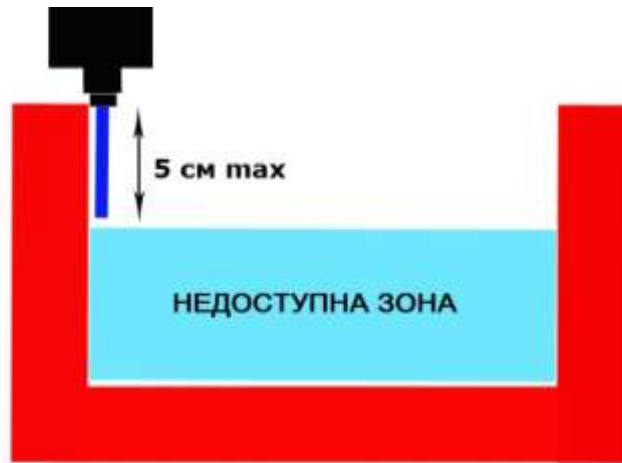


Рисунок 2.1 – Висота деталі

При проектуванні конструкції фрезерного верстата з ЧПУ (CNC Router) важливо спочатку визначитись з типом конструкції верстата. Існують два основних типи конструкцій CNC верстатів.

1. Конструкція з рухомим столом.

Переваги: простота виконання, висока жорсткість завдяки нерухомому порталу, закріпленому до основи верстата.

Недоліки: великі габаритні розміри, обмеження на обробку важких деталей через рухомий стіл, який несе деталь. Підходить для обробки легких матеріалів, як-от дерева та пластиків.

2. Конструкція з рухомим порталом.

Переваги: жорсткий стіл, здатний витримувати велику вагу заготовки, можливість обробки заготовок необмеженої довжини, можливість виконання верстата без столу (наприклад, для встановлення поворотної осі).

Недоліки: менша жорсткість конструкції, потреба у використанні більш жорстких і дорогих напрямних, оскільки портал висить на напрямних, а не закріплений на жорсткій станині, як у конструкції з рухомим столом.

Механіка розроблюваного верстата з ЧПУ включатиме такі компоненти:

- напрямні;
- тримачі напрямних;

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

- лінійні підшипники або втулки ковзання;
- опорні підшипники для кріплення ходових гвинтів;
- ходові гвинти;
- муфта з'єднання вала ходового гвинта з валом крокових двигунів;
- ходова гайка та інше.

Ці елементи представлені на рис.2.2.



Рисунок 2.2 – Елементи для виготовлення фрезерного верстату

Алюмінієвий верстатний профіль використовується в конструкціях фрезерних верстатів та виробничих ліній. Ці профілі є частиною системи конструкційних профілів, використовуваних для створення каркасних конструкцій. Якраз із такого профілю виготовлена рама.

Матеріал: Алюмінієвий профіль, покритий анодним шаром для захисту від корозії та естетичного зовнішнього вигляду.

Сплав: Алюмінієві профілі зазвичай виготовляються зі сплаву АД31 Т1, відповідно до ГОСТ 4784-97 та технічних норм ДСТУ Б В.2.6.-3-95 (ГОСТ 22233-93).

Характеристики зазначеного верстатного профілю:

- тип: Алюмінієвий верстатний профіль 20x20 мм;
- артикул: СТ20x20;

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

- довжина ламелі: 6 метрів;
- сплав: АД31 Т5;
- вага на метр погонний: 0,44 кг.

Геометричні розміри алюмінієвого верстатного профілю детально представлені на рисунку 2.3.

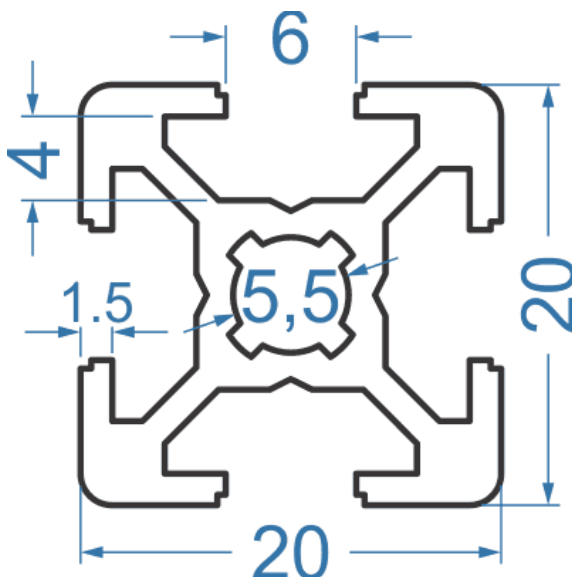


Рисунок 2.3 – Геометричні розміри алюмінієвого верстатного профілю

Поперечний переріз даного профілю для рами приведено на рис.2.4.



Рисунок 2.4 – Профіль для рами

Елементи рами показані на рис.2.5.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36



Рисунок 2.5 – Елементи рами

Профілі рами поєднуються силуміновими куточками і гвинтами М4 зі спеціальними гайками «в профіль» (рис.2.6).



Рисунок 2.6 – З'єднувальні елементи

Робочий стіл верстата виконаний з алюмінієвого профілю, модель СТ80х20.

Основні характеристики цього несучого, конструкційного профілю (див. рис.2.7) включають:

- тип: алюмінієвий верстатний профіль з розмірами 80х20 мм;
- артикул: СТ80х20;
- довжина однієї секції (ламелі): 6 метрів;
- матеріал: виготовлений зі сплаву АД31 Т5;
- вага на метр погонний: 1,44 кг.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Детальні геометричні параметри алюмінієвого верстатного профілю представлені на рисунку 2.7.

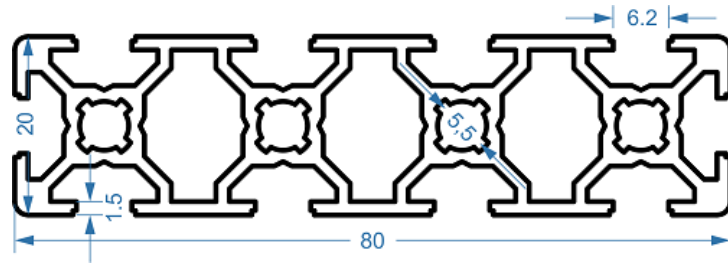


Рисунок 2.7 - Геометричні розміри алюмінієвого верстатного профілю

Етапи зборки стола та його приводу показано на рис.2.8.



Рисунок 2.8 – Збирання стола

Зборку механізму шпинделя представлено на рис.2.9.

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38



Рисунок 2.9 – Зборка механізму шпинделя

2.2 Вибір крокових двигунів

Крокові двигуни належать до категорії безколекторних електродвигунів постійного струму, відомих своєю високою надійністю та довговічністю, що робить їх ідеальним вибором для використання у вимогливих промислових середовищах. На відміну від традиційних двигунів постійного струму, крокові двигуни вимагають складнішої системи управління, яка забезпечує правильну комутацію обмоток під час роботи. Хоча крокові двигуни можуть бути більш вартісними в порівнянні з колекторними двигунами, вони незамінні у ситуаціях, де потрібна висока точність позиціонування. Проте, для застосувань, де така точність не є ключовою, колекторні двигуни залишаються більш вигідним вибором, особливо з урахуванням останніх тенденцій у використанні контролерів для управління ними, які за своєю складністю можуть конкурувати з контролерами крокових двигунів.

Ключова перевага крокових двигунів полягає у їх здатності до точного позиціонування та регулювання швидкості без потреби у датчиках зворотного зв'язку. Це важливо, оскільки вартість таких датчиків може значно пере-

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

вищувати ціну самого двигуна. Проте, це перевага крокових двигунів застосовується переважно у системах з низьким прискоренням і стабільним навантаженням. Системи з включеним зворотним зв'язком здатні ефективно працювати в умовах високих прискорень і змінних навантажень. Якщо навантаження на кроковий двигун перевищує його можливості, відбувається втрата інформації про положення ротора, що може вимагати реініціалізації системи за допомогою, наприклад, кінцевих вимикачів чи інших датчиків, чого не відбувається у системах з зворотним зв'язком.

У процесі розробки конкретних систем часто доводиться обирати між використанням сервомоторів та крокових двигунів. Крокові двигуни є більш економічним варіантом для завдань, що потребують високої точності позиціонування і контролю швидкості, при цьому не перевищуючи певних меж моменту та швидкості. Для збільшення моменту можна використовувати понижуючі редуктори, але їх застосування до крокових двигунів має обмеження.

На відміну від колекторних двигунів, де момент підвищується разом із збільшенням швидкості, крокові двигуни демонструють більший момент на низьких швидкостях. Однак, їхня максимальна швидкість суттєво нижча, ніж у колекторних двигунів, що обмежує максимальне передавальне число і збільшення моменту через редуктор. Готові крокові двигуни з редукторами, хоча і існують, зустрічаються рідко. Ще одним чинником, що обмежує використання редуктора, є його люфт. Часто неможливість розробки редуктора веде до надмірного застосування крокових двигунів, де вони можуть бути не виправдані. З іншого боку, колекторний двигун володіє вищою питомою потужністю, низькою вартістю, простішою схемою управління, і в поєднанні з одноступінчастим черв'ячним редуктором може забезпечити аналогічний діапазон швидкостей, але із значно більшим моментом. Такі приводи часто використовуються у військовій техніці, що свідчить про їх надійність. Колекторні двигуни також широко поширені у побутовій техніці, автомобілях та

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

промислового обладнання. Однак, у деяких випадках, де потрібні унікальні функції, крокові двигуни залишаються незамінними.

Крокові двигуни бувають трьох типів:

- двигуни зі змінним магнітним опором;
- двигуни з постійними магнітами;
- гібридні двигуни.

Щоб визначити тип двигуна, можна звернути увагу на відчуття опору при обертанні вала невідключеного двигуна з постійними магнітами або гібридного двигуна, який обертається з відчуттям "щелчків". У двигунів зі змінним магнітним опором вал обертається без опору. Гібридні двигуни є розвитком двигунів з постійними магнітами і мають аналогічну систему управління.

Також тип двигуна можна визначити за конфігурацією обмоток. У двигунів зі змінним магнітним опором зазвичай є три або чотири обмотки з одним спільним виводом, тоді як у двигунів з постійними магнітами – дві незалежні обмотки, часто з виводами від середини. У кроковому двигуні крутний момент створюється взаємодією магнітних потоків статора і ротора, орієнтованих відповідним чином один до одного (рис.2.10).



Рисунок 2.10 – Кроковий двигун

Статор крокового двигуна складається з матеріалу з високою магнітною проникністю та має декілька магнітних полюсів. Полюси - це специфічні області у магнітному тілі, де магнітне поле максимально сконцентроване. І статор, і ротор крокового двигуна мають свої полюси. Для зниження втрат від вихрових струмів, магнітопроводи збираються з окремих пластин, подібно до конструкції сердечника трансформатора. Обертальний момент двигуна пропорційний інтенсивності магнітного поля, яке, в свою чергу, залежить від сили струму в обмотці та кількості її витків, тобто від характеристик обмоток. Коли обмотка крокового двигуна підключена до струму, ротор займає певне положення і залишається в ньому до тих пір, поки зовнішній прикладений момент не перевищить деяке значення, яке називається моментом утримання. Після цього ротор повертається і намагається зайняти одне з стабільних положень рівноваги (2.11).

Крокові двигуни поділяються на біполярні та уніполярні в залежності від конструкції обмоток. Біполярний двигун має одну обмотку на кожну фазу, яка для зміни напрямку магнітного поля повинна бути переполюсована за допомогою драйвера. Для цього типу двигуна потрібен мостовий драйвер або напівмостовий з двохполярним живленням. Біполярний двигун має дві обмотки та чотири виводи. Уніполярний двигун також має одну обмотку на кожну фазу, але з середини обмотки зроблений відвід. Це дозволяє змінювати напрямки магнітного поля, створюваного обмоткою, шляхом простого перемикання половин обмотки, істотно спрощуючи драйвер. Уніполярний двигун потребує лише чотири прості ключі в драйвері, використовуючи інший спосіб зміни напрямку магнітного поля.

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

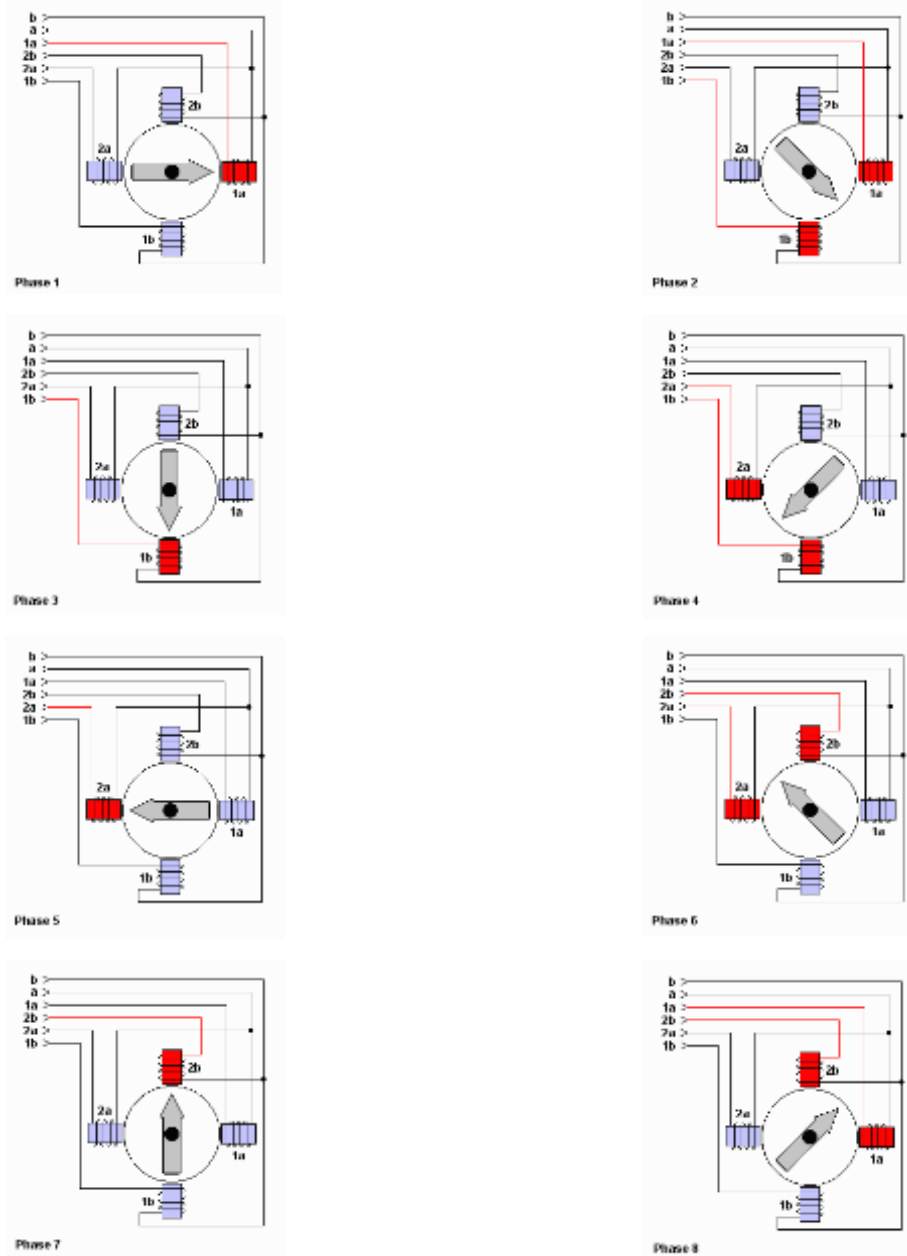


Рисунок 2.11 - Дія крокового двигуна (половина уніполярного кроку)

Крокові двигуни, які мають внутрішнє об'єднання середніх виводів обмоток, можуть мати п'ять або шість виводів. Існують також уніполярні двигуни з чотирма окремими обмотками, що помилково називаються чотирифазними, і мають вісім виводів. Залежно від способу підключення, такі двигуни можна використовувати як уніполярні або біполярні. Уніполярний двигун з двома обмотками та відводами також може працювати в біполярному режи-

мі, якщо відводи залишити вільними. Важливо правильно обирати струм обмоток, щоб не перевищувати максимальну допустиму потужність двигуна. Порівнюючи біполярні та уніполярні двигуни, біполярні мають вищу питому потужність та забезпечують більший момент за однакових розмірів.

Що стосується 6-вивідних крокових двигунів, існують два способи підключення до класичного біполярного драйвера: уніполярне та біполярне.

Уніполярне підключення ефективне для обертання двигуна на середніх і високих швидкостях, де використовується центральне відведення, і електричні характеристики двигуна відповідають каталожним даним.

Біполярне підключення краще для низьких швидкостей. В цьому випадку електричні характеристики також відповідають каталожним, але струм, що подається на обмотки, потрібно знизити в $\sqrt{2}$ рази. Наприклад, для двигуна з номінальним струмом 2 А при послідовному підключенні обмоток необхідний струм буде 1,4 А. Це пояснюється зростанням опору об'єднаної обмотки вдвічі ($2R$), що потребує зменшення струму для уникнення перегріву.

Потужність, що споживається при уніполярному включенні:

$$P_{\text{сп}} = I_{\text{уніполяр}}^2 R. \quad (2.1)$$

При послідовному включенні обмоток потужність, що споживається стає:

$$P_{\text{сп}} = 2I_{\text{біполяр}}^2 R \quad (2.2)$$

Потужність, що споживається не залежить від типу підключення, тому:

$$I_{\text{уніполяр}}^2 R = 2I_{\text{біполяр}}^2 R, \quad (2.3)$$

Звідки

$$I_{\text{біполяр}} = I_{\text{уніполяр}} / \sqrt{2}, \quad (2.4)$$

тобто

$$I_{\text{біполяр}} = 0,707 I_{\text{уніполяр}}. \quad (2.5)$$

Крутний момент крокового двигуна є функцією магнітного поля, яке утворюється обмотками статора. Цей момент зростає пропорційно кількості витків в обмотці, але зменшується, коли зменшується струм, що проходить

через обмотки. У ситуації, коли струм у обмотці зменшується в $\sqrt{2}$ рази, а кількість витків подвоюється (у результаті послідовного з'єднання обмоток), крутний момент фактично збільшується в $\sqrt{2}$ рази. Таким чином, незважаючи на зменшення струму, загальний крутний момент двигуна збільшується завдяки подвоєнню кількості витків у обмотці.

Тоді:

$$T_{\text{біполяр.}} = 1,4T_{\text{уніполяр.}} \quad (2.6)$$

Для під'єднання восьмививідного крокового двигуна (з чотирма обмотками) до класичного біполярного драйвера існують три можливі варіанти підключення: уніполярне, послідовне або паралельне. Якщо основна задача - обертання двигуна на середніх швидкостях (з діапазону робочих швидкостей), то оптимальним варіантом буде використання лише двох з чотирьох обмоток. Цей метод найбільш ефективний для низькошвидкісних операцій двигуна.

При послідовному підключенні обмоток, необхідно зменшити струм, що подається на обмотки, в $\sqrt{2}$ рази. Наприклад, якщо номінальний робочий струм двигуна становить 2 А, то при послідовному підключенні обмоток потрібний струм знижується до 1,4 А, що менше на 1,4 рази. Це впливає з того, що номінальний робочий струм, вказаний у каталозі, розрахований для однієї обмотки з опором R (як зазначено у каталозі). При послідовному підключенні опір комбінованої обмотки подвоюється (2R).

Потужність при уніполярному включенні визначається:

$$P = I_{\text{уніполяр.}}^2 R \quad (2.7)$$

При послідовному включенні обмоток потужність, що споживається стає:

$$P = 2I_{\text{послід.}}^2 R \quad (2.8)$$

Потужність не залежить від типу підключення, тому:

$$I_{\text{уніполяр.}}^2 R = 2I_{\text{послед.}}^2 R, \quad (2.9)$$

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Звідки випливає що:

$$I_{\text{послід.}} = I_{\text{уніполяр.}}/\sqrt{2}, \quad (2.10)$$

відповідно:

$$I_{\text{послід.}} = 0,707I_{\text{уніполяр.}} \quad (2.11)$$

Крутний момент крокового двигуна безпосередньо залежить від сили магнітного поля, яке створюється обмотками статора. Тому він збільшується пропорційно зі зростанням кількості витків обмотки, але зменшується, коли струм через обмотки знижується. В цьому випадку, оскільки струм через обмотки знизився в $\sqrt{2}$ рази, але кількість витків обмотки подвоїлася, крутний момент двигуна фактично збільшується в $\sqrt{2}$ рази.

Відповідно:

$$T_{\text{послід.}} = 1,4T_{\text{уніполяр.}} \quad (2.12)$$

Паралельне підключення обмоток крокового двигуна є оптимальним для роботи на високих швидкостях. Для цього методу підключення, струм, який подається на обмотки двигуна, слід збільшити в $\sqrt{2}$ рази. Наприклад, якщо стандартний робочий струм двигуна становить 2 А, то для паралельного підключення обмоток потрібен струм 2,8 А, що більше на 40%. Це впливає з того, що номінальний робочий струм, зазначений у специфікаціях, базується на опорі однієї обмотки (R), як вказано у каталозі. При паралельному підключенні обмоток, їхній сумарний опір скорочується наполовину ($0,5R$), що вимагає збільшення струму для забезпечення однакової потужності.

Потужність при уніполярному включенні визначається:

$$P = I_{\text{уніполяр.}}^2 R. \quad (2.13)$$

При паралельному включенні обмоток споживана потужність стає рівною:

$$P = 0,5I_{\text{біполяр.}}^2 R. \quad (2.14)$$

Потужність не залежить від типу підключення, тому визначається із залежності:

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{уніполяр.}}^2 R = 0,5 I_{\text{біполяр.}}^2 R. \quad (2.15)$$

Звідки:

$$I_{\text{біполяр.}} = I_{\text{уніполяр.}} / \sqrt{2}. \quad (2.16)$$

Тобто:

$$I_{\text{біполяр.}} = 1,4 I_{\text{уніполяр.}}. \quad (2.17)$$

Оскільки обертовий момент крокового двигуна є пропорційним інтенсивності магнітного поля, яке генерують обмотки статора, цей момент збільшується зі зростанням кількості витків обмотки та зменшується при зниженні сили струму, що проходить через обмотки. Однак, коли струм збільшується в $\sqrt{2}$ рази, а кількість витків обмотки подвоюється, то це призводить до збільшення обертового моменту також у $\sqrt{2}$ рази, що зображено на рисунку 2.13.

Відповідно:

$$T_{\text{біполяр.}} = 1,4 T_{\text{уніполяр.}} \quad (2.18)$$



Рисунок 2.13 - Графік залежності швидкості від крутного моменту крокового двигуна

Під час вибору крокового двигуна одним з ключових параметрів, які слід враховувати, є його швидкісні характеристики, тобто залежність момен-

ту на валу від швидкості його обертання. Для аналізу цієї характеристики важливими є значення опору і індуктивності обмоток обраного двигуна. Вище співвідношення R/L означає, що струм в обмотках наростає швидше, дозволяючи двигуну досягати вищої швидкості обертання без суттєвого зниження моменту. Це пов'язано з тим, що еквівалентна схема двигуна включає в себе індуктивність і опір, які з'єднані послідовно. ЕРС самоіндукції в цій ланцюзі перешкоджає швидким змінам струму, уповільнюючи його зростання та спадання. Це означає, що струм, а також момент двигуна, не зростають миттєво, а збільшуються поступово. Зі збільшенням швидкості обертання також зростає швидкість комутації обмоток і скорочується час, на який подається напруга на обмотку. При досягненні критичної швидкості струм у обмотці ще не встигає досягти номінального рівня до моменту, коли напруга знімається, що веде до зниження крутного моменту і двигун починає пропускати кроки.

Для фрезерного станка було обрано крокові двигуни із здатністю утримувати навантаження до 4 кг. Основні характеристики обраного крокового двигуна NEMA17HS4401 включають:

- кут кроку: 1,8 градуса на крок;
- максимальний момент утримання: 40 Н*см;
- номінальний струм: 1,7 А;
- опір на фазу: 1,5 Ом;
- індуктивність на фазу: 2,8 мГн;
- висота двигуна: 40 мм;
- діаметр валу: 5 мм.

Зовнішній вигляд крокового двигуна NEMA17HS4401 детально зображено на рисунку 2.14.

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.14 - Загальний вигляд крокового двигуна NEMA17HS4401

Габаритне креслення даного двигуна представлено на рис.2.15.

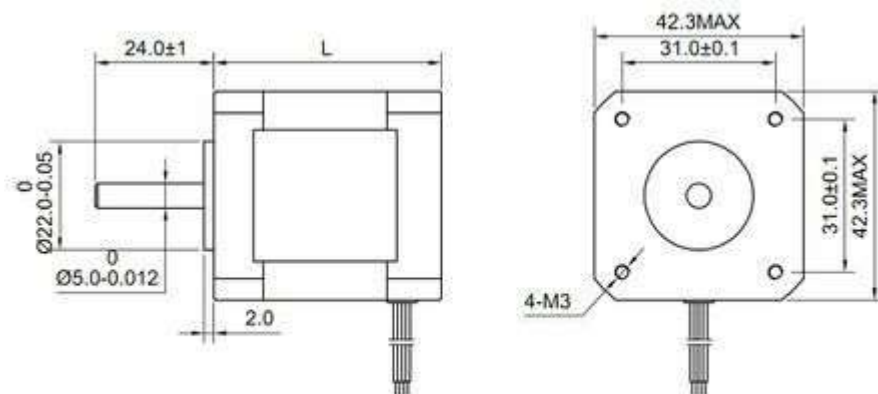


Рисунок 2.15 - Габаритне креслення крокового двигуна
NEMA17HS4401

Електрична схема підключення обмоток наведена на рис.2.16.

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

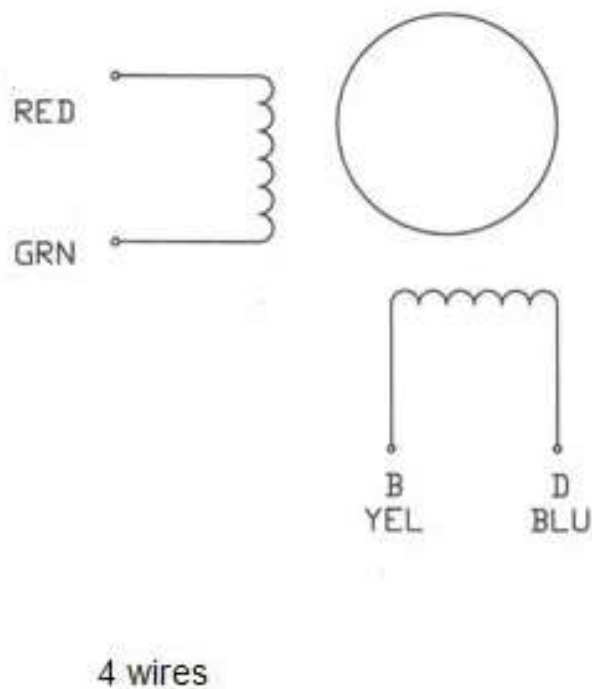


Рисунок 2.16 - Електрична схема підключення обмоток

Для забезпечення трьох координатного переміщення робочого органу і столу вибрано три крокових двигуна NEMA17HS4401 (рис.2.17) (лист [МРМА23.00.00.000ДІЗ]).



Рисунок 2.17 – Вибрані електричні двигуни

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

2.3 Підбір шпинделя

2.3.1 Шпинделі для фрезерних верстатів з ЧПУ

Шпиндель в машинобудуванні це двигун з цангою для фіксації та обертання інструментів, таких як свердла, ножі чи гравери. Шпинделі бувають двох видів: промислові та аматорські. Промислові шпинделі спроектовані для високого бокового навантаження і мають ефективну систему охолодження. Вони не потребують додаткового обслуговування протягом терміну експлуатації і часто оснащені цанговим затиском, що дозволяє використовувати стандартні інструменти. Шпинделі для аматорського використання можуть бути звичайною дриллю або побутовим фрезером, але вони менш ефективні для бокових навантажень і не такі довговічні.

Важливо обрати правильний тип цанги для шпинделя. Часто використовуються типи ER11 або ER16, які підходять для інструментів з діаметром хвостовика 2,5-3,2 мм. Великі цанги, як ER25, підходять для більших діаметрів хвостовика, але можуть перевантажити верстат і зменшити його ефективність.

Використання звичайної дрилі в якості шпинделя може призвести до швидкого зношування підшипників та втрати точності. Крім того, дріль може перегрітися і вийти з ладу під час тривалої роботи, що може призвести до поломки інструменту та верстата.

Потужність шпинделя є ключовим параметром при виборі, де більша потужність зазвичай означає кращу продуктивність. Для дрібних свердлильних та гравірувальних робіт достатньо використовувати шпиндель потужністю від 150 до 600 ват, а для фрезерування металів чи товстої деревини - 1000-1400 ват. Універсальні шпинделі, здатні вичавлювати максимум з інструментів і систем подачі, матимуть потужність понад 2000 ват.

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Важливо розуміти різницю між силовим та швидкісним фрезеруванням. Силове фрезерування, використовуване в професійних верстатах, забезпечує максимальну продуктивність без перегріву інструменту. Це досягається завдяки оптимальному вибору швидкості подачі, заглиблення та обертання. Швидкісне фрезерування використовується, коли верстат не може розвинути достатнє зусилля подачі. Тут шпиндель розганяється до максимуму, і матеріал обробляється повільними рухами.

Трифазні шпинделі потребують спеціального підключення через перетворювач частоти, який дозволяє контролювати частоту обертання та інші параметри. Водяна система охолодження є ефективнішою за повітряну, але вимагає додаткового обладнання.

Шпиндель для ЧПУ - це асинхронний двигун з мінімальною кількістю рухомих частин, де основний знос зазнають підшипники. Управління шпинделем здійснюється за допомогою спеціального блоку управління, який контролює обороти, напрям обертання, крутний момент та інші параметри. Вибір шпинделя залежить від вимог до максимальної потужності, діаметра фрез, геометричних характеристик, електричних параметрів, максимальних оборотів та способу охолодження.

Шпиндель визначається як двигун, на якому встановлюється патрон (цанга) для тримання та обертання різних робочих інструментів, таких як свердла, ножі, гравери. Шпинделі бувають двох типів: промислові та аматорські. Промислові шпинделі спеціально спроектовані для витримування високих бічних навантажень та зазвичай мають комплексну систему охолодження. На відміну від них, аматорські шпинделі мають менш високоякісні підшипники.

Промислові шпинделі, як правило, не потребують додаткового мастила чи чищення протягом їхнього терміну служби. Вони забезпечені цанговим затиском для стандартних хвостовиків. Зазвичай використовуються типи цанг ER11 або ER16, які підходять для хвостовиків діаметром 2,5 - 3,0 - 3,2

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

мм. Використання цанг більшого розміру, наприклад ER25 для хвостовиків 6 мм, може бути недоцільним для стандартних верстатів, оскільки вони не розраховані на велике навантаження і можуть бути пошкоджені при обробці великих об'ємів матеріалу. Таким чином, необхідно вибирати обладнання, збалансоване за параметрами, що відповідають специфікаціям верстата, що розробляється. Зупинимося на цанзі ER-13.

Використання звичайної дрилі на верстаті допустимо, але із часом виникають проблеми, пов'язані зі зносом підшипників, що призводить до збільшення коливань патрона. Такі коливання негативно впливають на точність роботи інструменту. Особливо це стає помітним під час деталізованої роботи, коли верстат виконує численні дрібні кроки, працюючи тривалий час без перерв. У результаті дріль може перегрітися, вийти з ладу або спрацювати її тепловий захист, призводячи до зупинки. Програмне забезпечення верстата не контролює стан дрилі, тому при її зупинці продовжує рух інструменту, що може призвести до пошкодження.

Що стосується вибору потужності шпинделя, то краще віддавати перевагу варіантам з більшою потужністю. Для виконання легких робіт, таких як свердління та гравірування, достатньо шпинделя з потужністю від 150 до 600 Вт. Для більш складних завдань, як-от фрезерування металів чи товстих шарів дерева, потрібен шпиндель з потужністю від 1000 до 1400 Вт. Для універсального застосування, що забезпечує ефективність із різними фрезами та системами подачі, рекомендовано використовувати шпиндель потужністю понад 2000 Вт (2 кВт).

Варто підкреслити, що існує два основних види фрезерування - силове та швидкісне. Важливо розуміти, що можна або швидко обертати фрезу за умови повільної подачі, або повільно обертати фрезу зі швидкою подачею. Професійні верстати переважно використовують силове фрезерування як найшвидший метод обробки, де встановлюються специфічні режими різання для кожної фрези, що оптимізує швидкість подачі, глибину заглиблення та

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

швидкість обертання, максимізуючи ефективність інструмента без ризику його перегріву чи пошкодження.

У ситуаціях, коли верстат не забезпечує необхідний тиск подачі, оптимальним рішенням є прискорення шпинделя до максимуму із повільним переміщенням по заготовці, що характеризується як швидкісне фрезерування. При виборі шпинделя, слід вирішити між швидкісним варіантом та потужним, який забезпечує максимальний крутний момент на інструменті. Високоякісні спеціалізовані шпинделі досягають швидкості понад 20 тисяч обертів на хвилину та забезпечують силу більше 2000 Вт на фрезу. Ефективність фрезерування досягається при швидкостях обертання від 8 до 15 тисяч обертів на хвилину, хоча надмірно високі швидкості можуть бути не завжди оптимальними, особливо при обробці деревини, де може виникнути ризик перегріву.

Стосовно трифазних шпинделів, вони мають три лінії живлення, одну нейтральну та одну заземлюючу лінію і не підключаються безпосередньо до домашньої (однофазної) мережі. Для їх підключення потрібен перетворювач частоти (ПЧ), який трансформує змінний струм у трифазний із змінною частотою і фазою. ПЧ оснащений численними корисними функціями. Наприклад, здатність змінювати частоту від 1 до 400 Гц дозволяє контролювати швидкість обертання шпинделя. ПЧ також може синхронізуватися з програмним забезпеченням верстата, автоматично налаштовуючи обороти шпинделя відповідно до заданих параметрів. Векторне керування двигуном, що входить до складу дорогих ПЧ, оптимізує крутний момент, використовуючи фазове зсування струму для точного визначення швидкості обертання шпинделя. Додатково ПЧ дозволяє налаштовувати швидкість прискорення та уповільнення оборотів шпинделя, позитивно впливаючи на його ресурс. Захист від перевищення струму та можливість сигналізації про готовність шпинделя додатково підвищують безпеку та надійність використання шпинделя.

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Система охолодження шпинделя буває повітряна або водяна. Повітряна система подібна до тієї, що використовується у звичайних дрелях, де вентилятор розміщений на валу шпинделя. Основний недолік цієї системи полягає в тому, що вона функціонує як пилозбірник, засмоктуючи в шпиндель усі відходи обробки, і її ефективність залежить від швидкості обертання валу, що при низьких швидкостях може спричинити перегрів і вихід з ладу шпинделя. Водяне охолодження не має цих недоліків і є дуже ефективним, але вимагає додаткового налаштування системи гідравліки. Можна використовувати стандартні харчові шланги з діаметром 8 мм зовні та 6 мм всередині. У простих станках можливе використання системи водяного охолодження процесора від Termaltake, що включає насос, радіатор та вентилятор, хоча це варіант вважається дорогим. Як альтернатива, можна використовувати бензиновий насос від автомобіля, який є надійнішим і менш вартісним. Важливо враховувати, що бензонасоси бувають середнього та низького тиску. Насоси впорскувальних машин з середнім тиском забезпечують близько 3 атмосфер, але для наших потреб це занадто багато. Насоси карбюраторних автомобілів з тиском 0,1-0,3 атмосфери є хорошим рішенням. Є також насоси для акваріумів, але вони є менш надійним варіантом порівняно з бензонасосами. Запуск шпинделя без циркуляції води може призвести до його перегріву та виходу з ладу.

Шпиндель для ЧПУ представляє собою асинхронний двигун із мінімальною кількістю частин: ротор і статор, з'єднані за допомогою високошвидкісних підшипників [15]. Єдиним зношуваним компонентом у шпинделях для фрезерних верстатів є підшипники, які не підлягають обслуговуванню та мають бути замінені у разі зносу. Контроль шпинделя фрезерного верстата з ЧПУ виконується за допомогою спеціально призначеного блоку управління (інвертора), який дозволяє керувати оборотами, режимами розгону і гальмування, напрямком обертання, крутним моментом та іншими електричними параметрами. Робочий інструмент фіксується у шпинделі за допомогою цан-

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

ги. Шпинделі для верстатів ЧПУ відрізняються за максимальною потужністю, діаметром використовуваних фрез, геометричними характеристиками (довжиною, діаметром), електричними параметрами (струм, напруга, частота), максимальними оборотами, способом відведення тепла (повітряне та водяне охолодження) та зносостійкістю підшипника. Для розроблюваного станка було обрано шпиндель китайського виробництва, який зображений на рис.2.18. Загальний вигляд даного шпинделя наведено на рис.2.18 (лист [МРМА23.00.00.000ДІЗ]).



Рисунок 2.18 - Шпиндель китайського виробництва

Технічні параметри шпинделя Johnson DC771(2)XLLC, виробництва Китаю, включають:

- робоча напруга 24 В постійного струму;
- робочий струм 0,32 А;
- потужність 150 Вт;
- діапазон швидкостей обертання на холостому ході від 10000 до 15000 обертів за хвилину;
- маса 400 грам.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

2.4 Розробка електричної частини фрезерного верстата

2.4.1 Ключові елементи електричної системи фрезерного верстата

Для контролю крокових двигунів та фрезерувального процесу були обрані наступні компоненти:

- мікроконтролер Arduino UNO;
- розширювальний модуль CNC Shield v3.0;
- драйвери A4988;
- реле-модуль.

Загальний вигляд управляючої плати фрезерного верстата відображено на рис.2.19.



Рисунок 2.19 - Загальний вигляд плати управління фрезерним верстатом

2.4.2 Плата розширення CNC Shield v3.0 для Arduino UNO

Дана плата існує для того, щоб на її основі можна створити CNC машини (ЧПУ верстати) (рис.2.20):

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Таблиця 2.1 – Драйвер A4988 конфігурація крокового двигуна

MS0	MS1	MS2	Microstep Resolution
Low	Low	Low	Full step
High	Low	Low	Half step
Low	High	Low	Quarter step
High	High	Low	Eighth step
High	High	High	Sixteenth step

CNC Shield має чотири слота для під'єднання чотирьох драйверів електродвигунів. Слоти, позначені жовтим кольором, відповідають за вісі X, Y, Z, червоний слот за вісь A (рис.2.22).

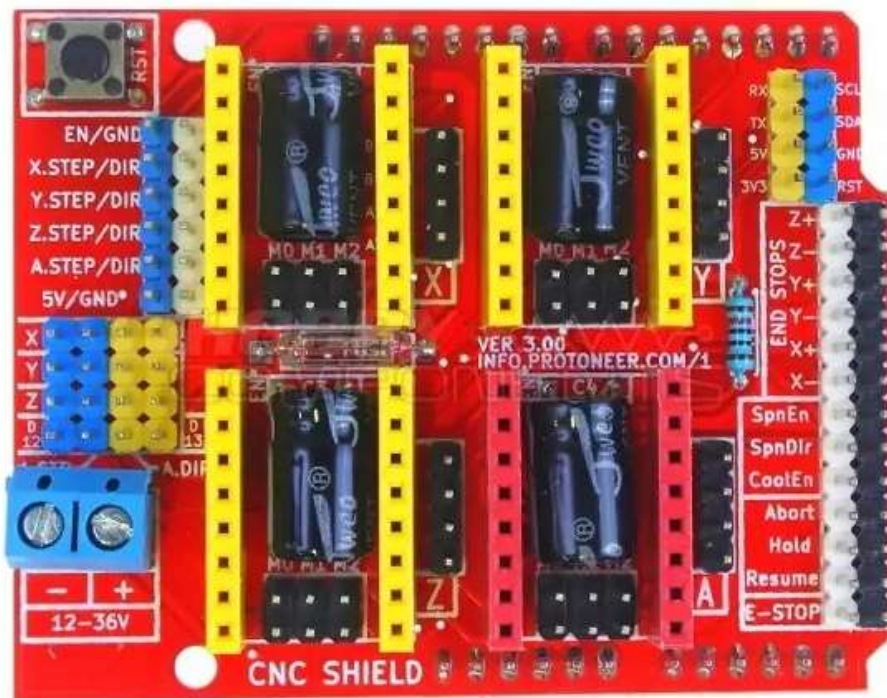


Рисунок 2.22 – Монтажна плата розширення CNC Shield v3.0

Вісь A має можливість повторювати рух однієї з основних осей X, Y або Z за рахунок додаткового двигуна та драйвера. Це означає, що сигнал

входить однаковий, але двигуни і драйвери, відповідно до вісей, працюють окремо, проте рухаються синхронно.

В платі RAMPS реалізація відрізняється, наприклад, для осі Z використовується один драйвер, але два набори контактів. Таким чином, хоча драйвер один, він керує двома двигунами.

Вісь A можна також використовувати для двигуна екструдера у 3D-принтерах.

Щоб налаштувати дублювання осей X, Y, Z на платі, необхідно використати контакти, позначені як X, Y, Z, D12, D13, і закоротити їх за допомогою перемичок, які входять у комплект поставки (див. рис.2.23).

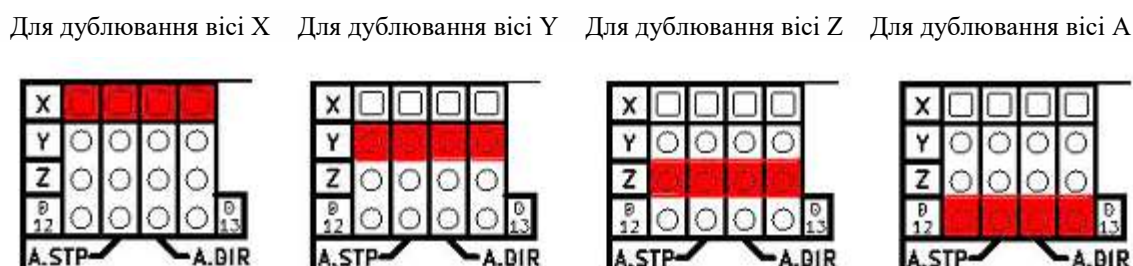


Рисунок 2.23 – Схеми підключення на монтажній платі розширення

Змінити напрямок обертання двигуна можна шляхом перестановки контактів двигуна або зміни параметрів у прошивці.

Контакти B- і B+ необхідно поміняти місцями.

На платі CNC Shield передбачені контакти для підключення наступних елементів (див. рис.2.24):

- аварійної кнопки зупинки (E-STOP);
- кнопки призупинення процесу (Hold);
- кнопки продовження роботи (Resume);
- кнопки скидання до вихідного положення (Abort);
- включення шпинделя (SpnEn);
- управління напрямком обертання шпинделя (SpnDir);

- активації системи охолодження (CoolEn);
- кінцевих вимикачів для осей (X + X- Y + Y- Z + Z-).

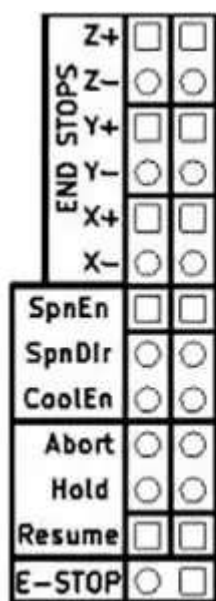


Рисунок 2.24 – Контакти для підключення

Розглянемо, як працює ця система.

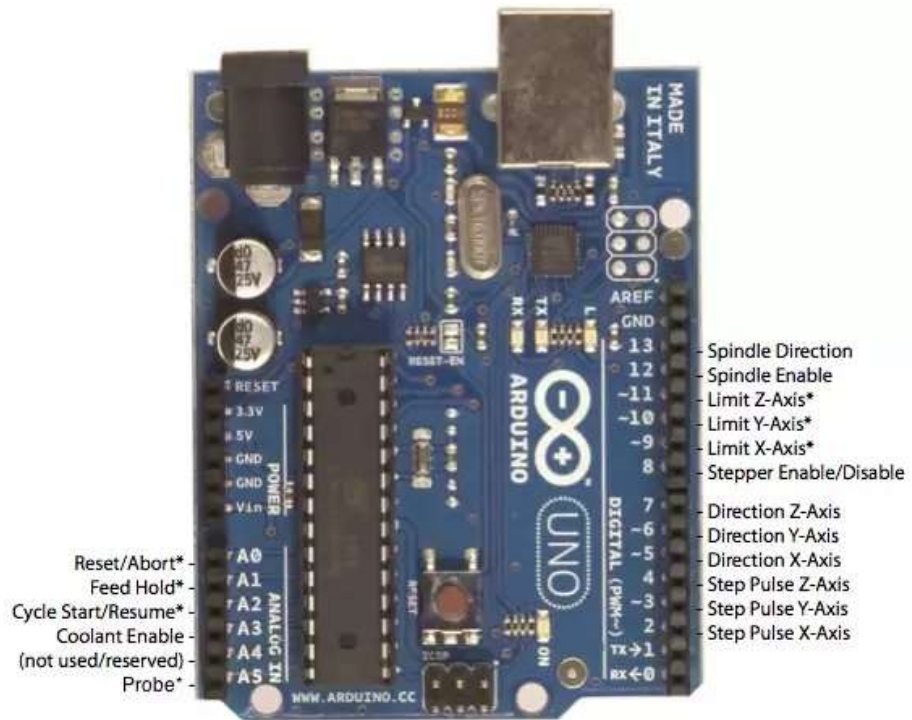
Програмування Arduino виконується за допомогою завантаження готової прошивки GRBL, яка не вимагає додаткових змін. Усі налаштування виконуються через консоль управління програмного забезпечення (Universal-G-Code-Sender).

Прошивка GRBL в мікроконтролері взаємодіє з комп'ютером через G-коди.

Програма управління (Universal-G-Code-Sender) передає через USB порт комп'ютера на COM порт Arduino рядки GCODE, наприклад, G91 G1 X10 Y10 F3000, в результаті чого крокові двигуни починають обертатися.

2.4.3 Опис Arduino UNO

На рисунках 2.25 – 2.26 представлені схеми підключення Arduino UNO (див. лист [MPMA23.00.00.000ДІ4]).



* - Indicates input pins. Held high with internal pull-up resistors.

Рисунок 2.27 - Підключення портів Arduino UNO

2.4.4 Вибір драйвера крокових двигунів

Для управління кроковими двигунами обрано біполярний драйвер крокового двигуна, створений на основі мікросхеми A4988 від фірми Allegro (див. рис.2.28).



Рисунок 2.28 – Загальний вигляд крокового двигуна

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Цей драйвер забезпечує регулювання струму, захист від надлишкового струму та перегріву, а також п'ять різних налаштувань для мікрокрокування (до 1/16 кроку). Він ефективно працює при напрузі 8 - 35 В на двигуні, дозволяючи пропускати струм до 1 А через кожну фазу без зовнішнього охолодження або до 2 А з активним охолодженням.

Електрична схема драйвера крокового двигуна зображена на рис.23.29. (лист [MPMA23.00.00.000E2]).

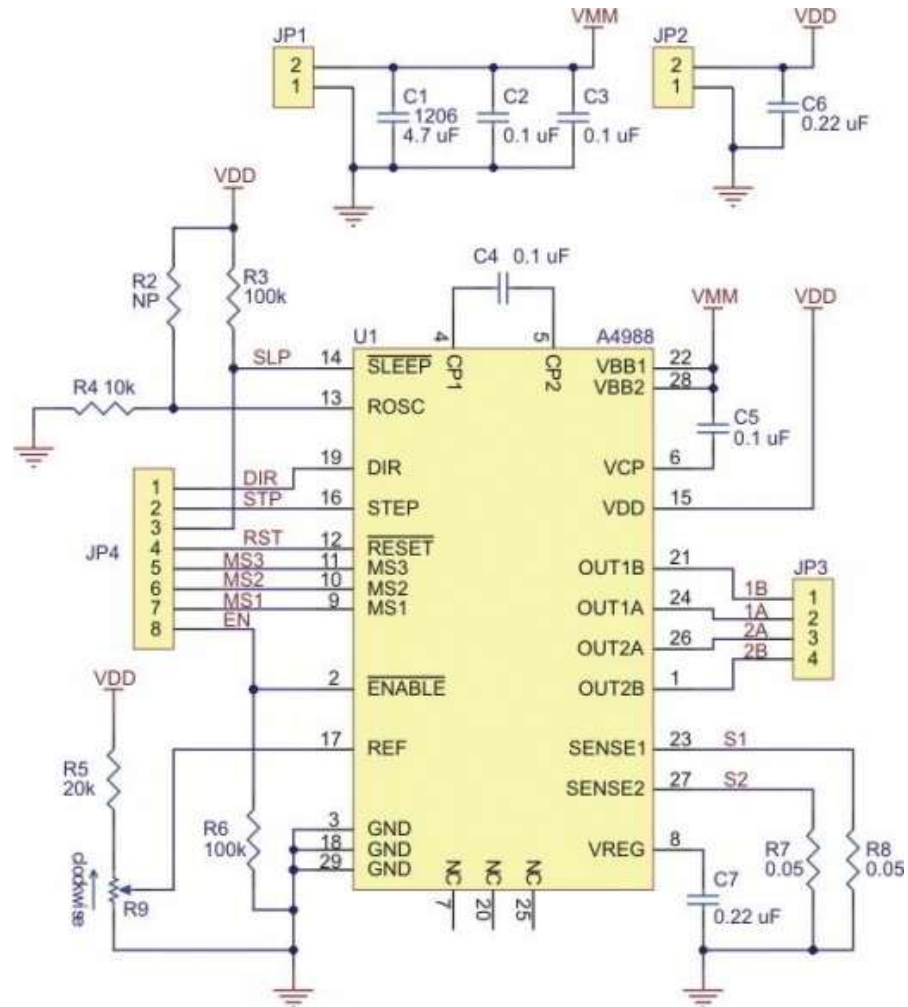


Рисунок 2.29 - Електрична схема драйвера крокового двигуна

Схема підключення драйвера крокового двигуна зображена на рис.2.30 (лист [MPMA23.00.00.000ДІ5]).

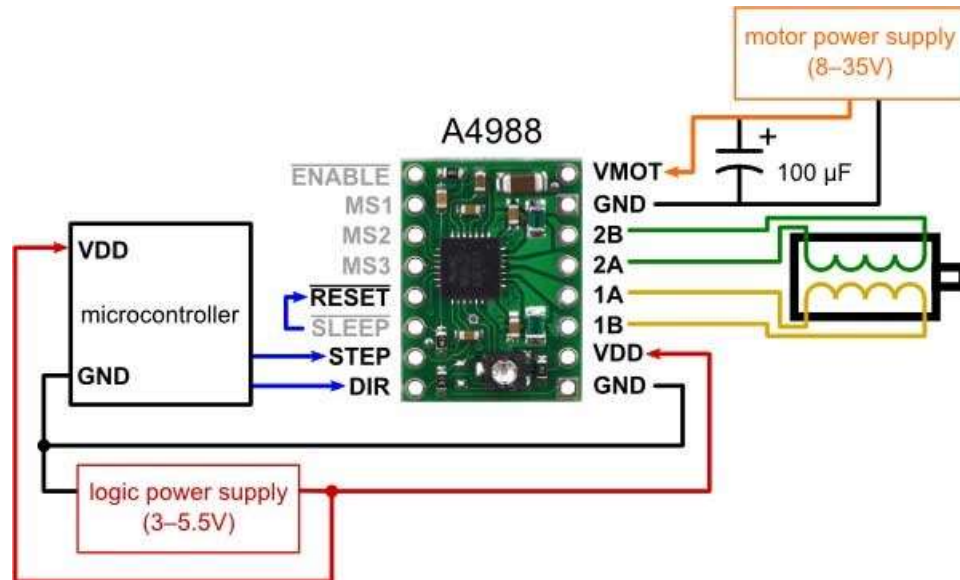


Рисунок 2.30 – Схема підключення драйвера крокового двигуна

2.4.5 Вибір модуля реле для керування живленням шпинделя

Для управління електроживленням шпинделя використовуємо однока-
нальний 5В модуль реле (рис. 2.31).

Цей модуль потребує струму 5-20 мА для активації, що дозволяє конт-
ролювати його безпосередньо з виходів мікроконтролера Arduino. Активація
модуля відбувається при подачі логічного "0", а деактивація - при логічному
"1". На платі є два світлодіоди: червоний індикуює наявність напруги живлен-
ня, а зелений - активацію реле.

Робоча напруга модуля становить 5 В.

Максимальне навантаження складає АС 250В/10А та DC 30В/10А.



Рисунок 2.31 – Загальний вигляд модуля реле

Електрична схема та друкована плата даного модуля реле зображена на рис.2.32 – 2.33.

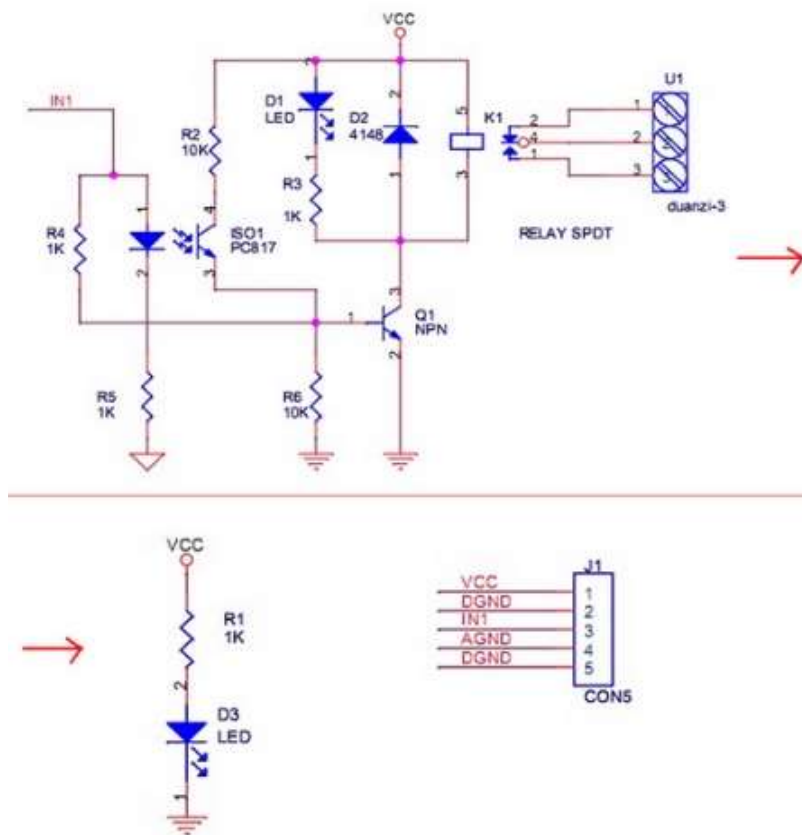


Рисунок 2.32 – Електрична схема

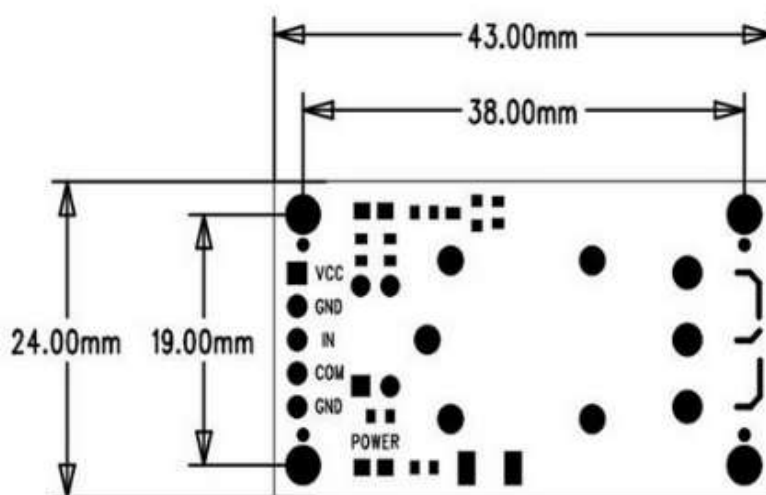


Рисунок 2.33 – Друкована плата

Схема підключення шпинделя зображена на рис.2.34.

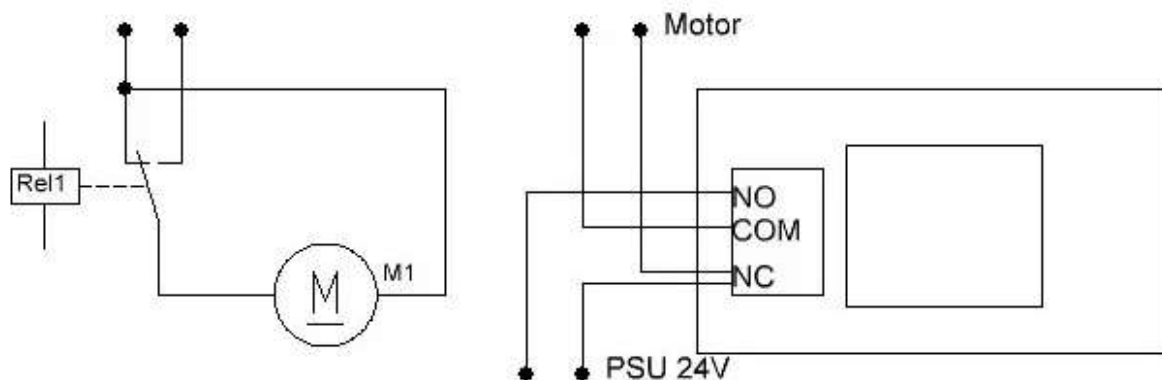


Рисунок 2.34 – Схема підключення шпинделя

2.4.6 Вибір блоку живлення

Для забезпечення електроживленням шпинделя обрано блок живлення від Erpson із такими параметрами:

- вихідна напруга: DC 24 В;
- максимальний струм: 4 А.

Для подачі живлення кроковим двигунам використано блок живлення від Раса, який має наступні характеристики:

- вихідна напруга: DC 12 В;
- максимальний струм: 3 А.

Загальний зовнішній вигляд цих блоків живлення показано на рис. 2.35.



Рисунок 2.35 – Загальний вигляд блоків живлення

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

2.5 Вибір програмного забезпечення для керування фрезерним верста- ТОМ

Для завантаження прошивки у мікроконтролер використовуємо спеці-
альне програмне забезпечення. Використовуємо програму Xloader, налашто-
вуємо параметри, як показано на скріншоті, враховуючи, що номер порту по-
трібно вибрати відповідно до того, як він ідентифікований у вашій системі.
Для цього можна перевірити в диспетчері пристроїв під розділом COM і LPT
порти. Завантажуємо файл прошивки grbl9.hex

Скріншот програми для прошивки мікроконтролера наведено на рис.
2.36.



Рисунок 2.36 - Скріншот програми прошивки мікроконтролера

Для керування верстатом потрібна спеціалізована програма. Процес ке-
рування поділяється на етапи: спочатку створюється креслення або проект,
потім цей проект перетворюється в G-код, який є набором команд для верс-
тата, вказуючи на переміщення осей та відстані переміщення шпинделя.

Одна з таких програм - Grbl Controller, яка використовується для безпосереднього керування верстатом. В цій програмі необхідно задати специфічні параметри, що відповідають характеристикам обладнання. Для цього використовується спеціальне поле введення, куди можна вписати або скопіювати необхідні дані, після чого підтвердити введення за допомогою клавіші Enter. Кожен параметр вводиться окремо.

Під час підключення програми до верстата, можна переглянути список доступних параметрів, які зберігаються у пам'яті контролера Arduino і використовуються різними програмами.

На рисунку 2.37 наведено скріншот програми Grbl Controller.

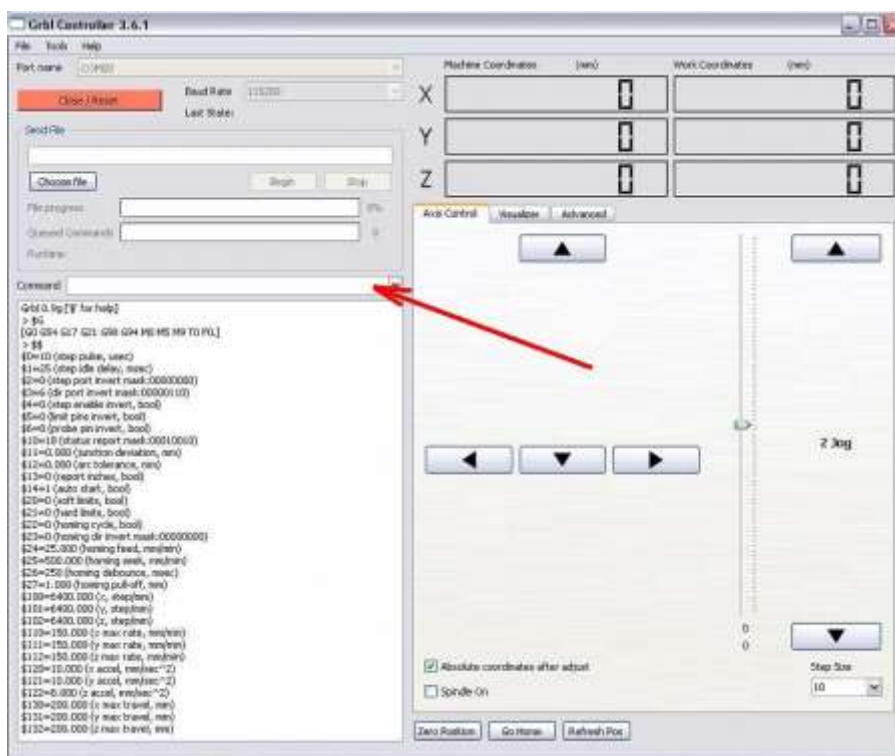


Рисунок 2.37 – Скріншот програми Grbl Controller 3.6.1

Можна застосувати інше програмне забезпечення де це все можна задати в більш зрозумілому вигляді (рис.2.38). В меню налаштувань є всі необхідні параметри.

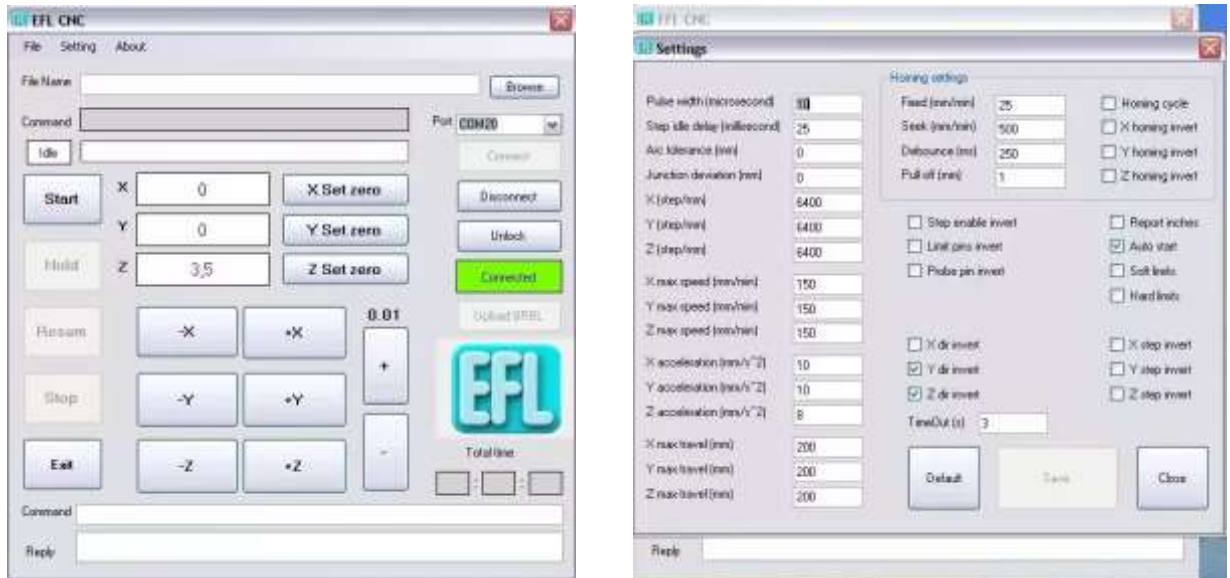


Рисунок 2.38 – Скріншот програми EFL CNC

Для перетворення в Gcode була застосована програма Universal Gcode Sender (version 1.0.9). Скріншот такої програми приведено на рис.2.39.

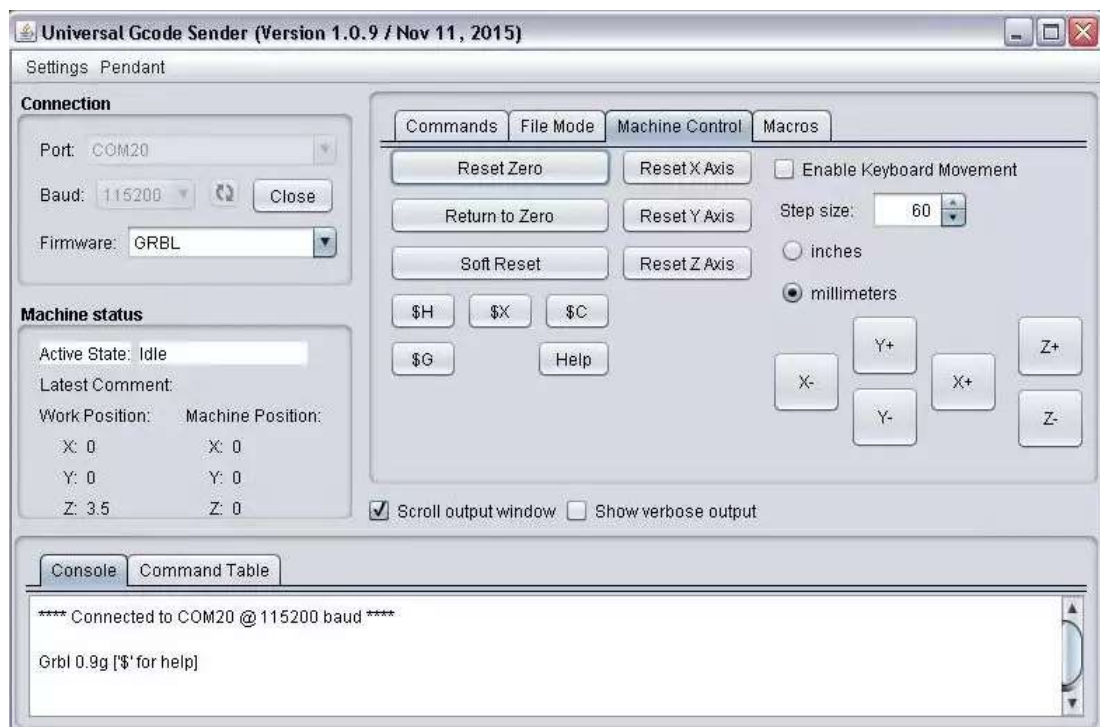


Рисунок 2.39 – Скріншот програми Universal Gcode Sender (version 1.0.9)

Програми підготовки для виконання технологічного процесу бувають різні. Наприклад для фрезерування друкованих плат можна експортувати дані в форматі HPGL (рис.2.40).

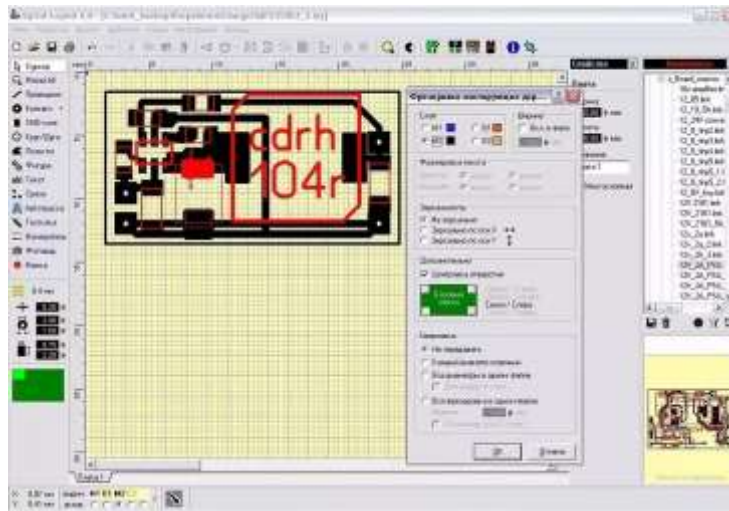


Рисунок 2.40 – Скріншот програми Sprint layout 6.0

Для роботи з Gbl Controller необхідно користуватися допоміжною програмою-конвертером, яка спрощує процес як фрезерування, так і свердління плат. Така програма здійснює конвертацію вхідних даних в G-код, при цьому враховуючи специфічні налаштування та корекції, задані в ній. Програма-конвертер StepCAM 1.78, яка використовується для цієї мети, демонструється на скріншоті, представленому на рисунку 2.41.

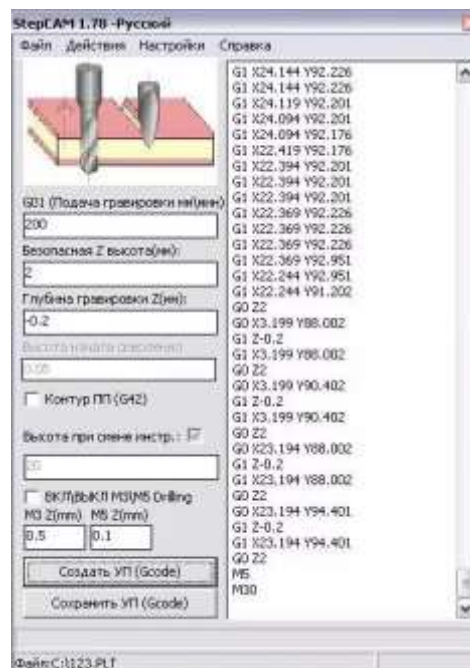


Рисунок 2.41 - Скріншот програми StepCAM 1.78

									Арк.
									72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Цей G-код може застосовувати кожна із програм, що працює з верста-
том (рис.2.42).

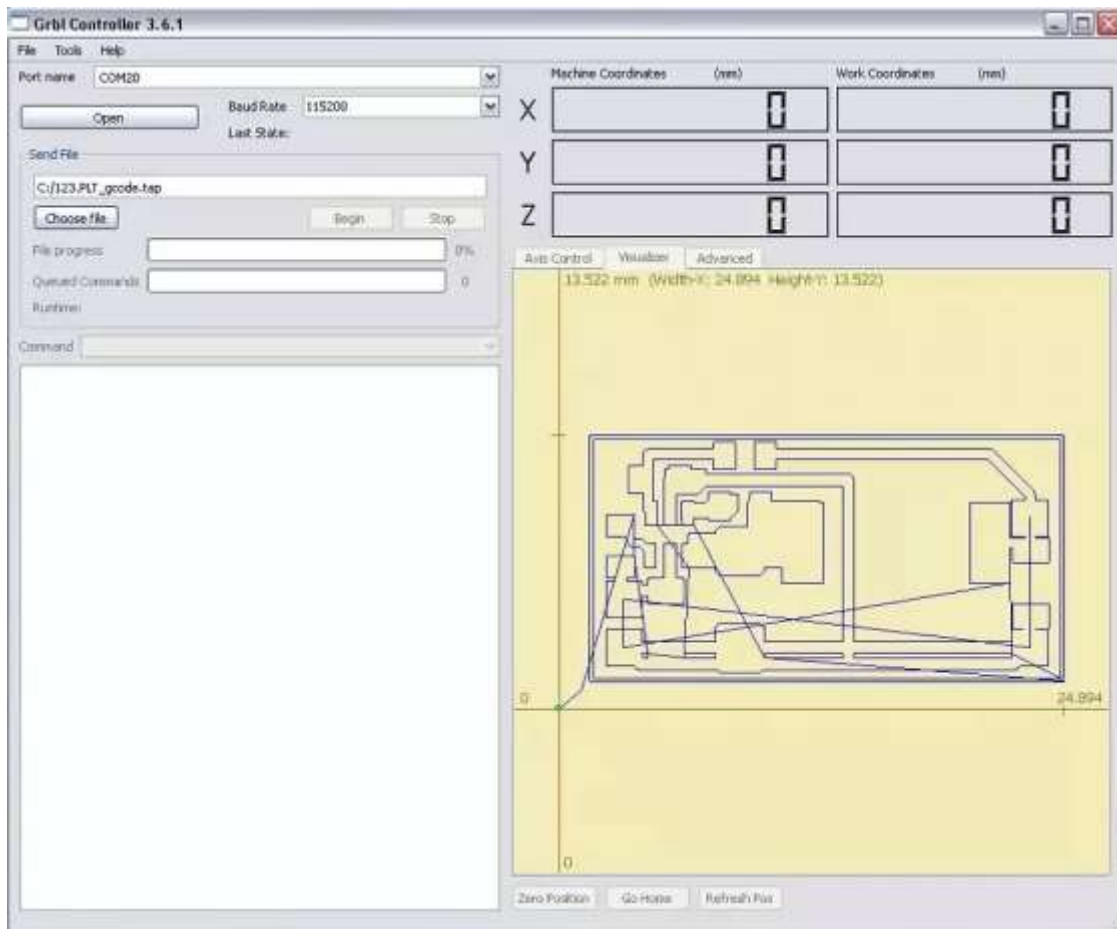


Рисунок 2.42 – Скріншот програми Grbl Controller 3.6.1

Для підготовки об'ємних моделей застосовуються різні програми.

В даному випадку було застосовано програмне середовище ArtCAM
(рис.2.43).

2.6 Обробка матеріалів на фрезерні верстати з ЧПУ

Числове програмне управління (ЧПУ) відіграє ключову роль у автоматизації процесу обробки матеріалів на сучасних верстатах. Оператор розробляє програму для виготовлення деталі, яку виконує верстат. Раніше, до епохи автоматизації, складні контури оброблялись вручну або за допомогою ручних фрезерних машин. Сучасні фрезерні верстати з ЧПУ дозволяють досягти високої точності обробки.

Спочатку фрезерні верстати застосовувались переважно для металообробки, але з часом почали використовуватися і в деревообробці, включаючи роботу з масивом дерева, фанерою, ДВП та ДСП. Деревообробні верстати можуть бути простішими і оснащені менш потужними шпинделями, ніж верстати для металообробки.

Фанера стала популярним матеріалом завдяки своїй універсальності та доступності. Вона знаходить застосування в меблевому виробництві, будівництві, дизайні інтер'єрів, виробництві упаковки та ізоляційних матеріалів. Фанера вимагає особливих підходів при обробці через свою шарувату структуру, яка схильна до сколів при розпилюванні. Крім того, використаний у її виготовленні клей може призводити до швидкого зносу ріжучих інструментів. Фрезеруванню піддаються ламінована, шпонована, шліфувана та нешліфувана фанера. Приклад виробу з фанери можна побачити на рисунку 3.44.



Рисунок 2.44 – Виріб із фанери

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Вироби виготовлені із сосни та ламінату зображені на рис.2.45 – 2.46.



Рисунок 2.45 - Виріб із сосни



Рисунок 2.46 – Виріб виготовлений із ламінату

Обробка ПВХ та інших видів пластику вважається більш простим завданням порівняно з іншими матеріалами, оскільки ці матеріали є менш щільними та більш однорідними. Пластик легко піддається різним видам обробки, включаючи розкрій, фрезерування та гравірування. Залежно від специфіки оброблюваного пластику, адаптуються параметри подачі та швидкості обробки. На рисунках 2.47 – 2.49 можна побачити приклади виробів, виготовлених із різних видів пластикових матеріалів.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76



Рисунок 2.47 – Виріб виготовлений із пластику



Рисунок 2.48 – Виріб виготовлений із оргскла



Рисунок 2.49 – Виріб виготовлений із пластику

Композитні матеріали, які широко використовуються в процесах фрезерування, зазвичай складаються з гнучкої пластичної основи, посиленої

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

більш міцними матеріалами з одного або обох боків. Сучасні стандартні композитні панелі представляють собою багатошарові листові матеріали, де полімерний наповнювач обрамлений двома шарами тонкого алюмінієвого листа. Товщина цих алюмінієвих шарів у такому «сандвічі» зазвичай коливається в межах від 0,1 до 0,5 мм. На рисунку 2.50 можна побачити приклад виробу, виготовленого з композитного матеріалу.



Рисунок 2.50 – Виріб виготовлений із композитного матеріалу (пластику)

Фрезерний верстат здатний виконувати не тільки прямолінійні розрізи, але й криволінійну обробку. Завдяки цьому, на такому обладнанні можливе відтворення тривимірних рельєфів. Процес створення об'ємних зображень на фанері або будь-якому іншому матеріалі відомий як 3D-фрезерування. Ця техніка дозволяє створювати рельєфні візерунки чи зображення на поверхнях різних матеріалів. Використання таких структурованих натуральних матеріалів, як дерева, дозволяє створювати унікальні взаємодії об'ємних зображень із природними текстурами дерева, що призводить до створення ефектів, неперевершених по красі. На рисунку 2.51 можна побачити приклад об'ємного зображення.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78



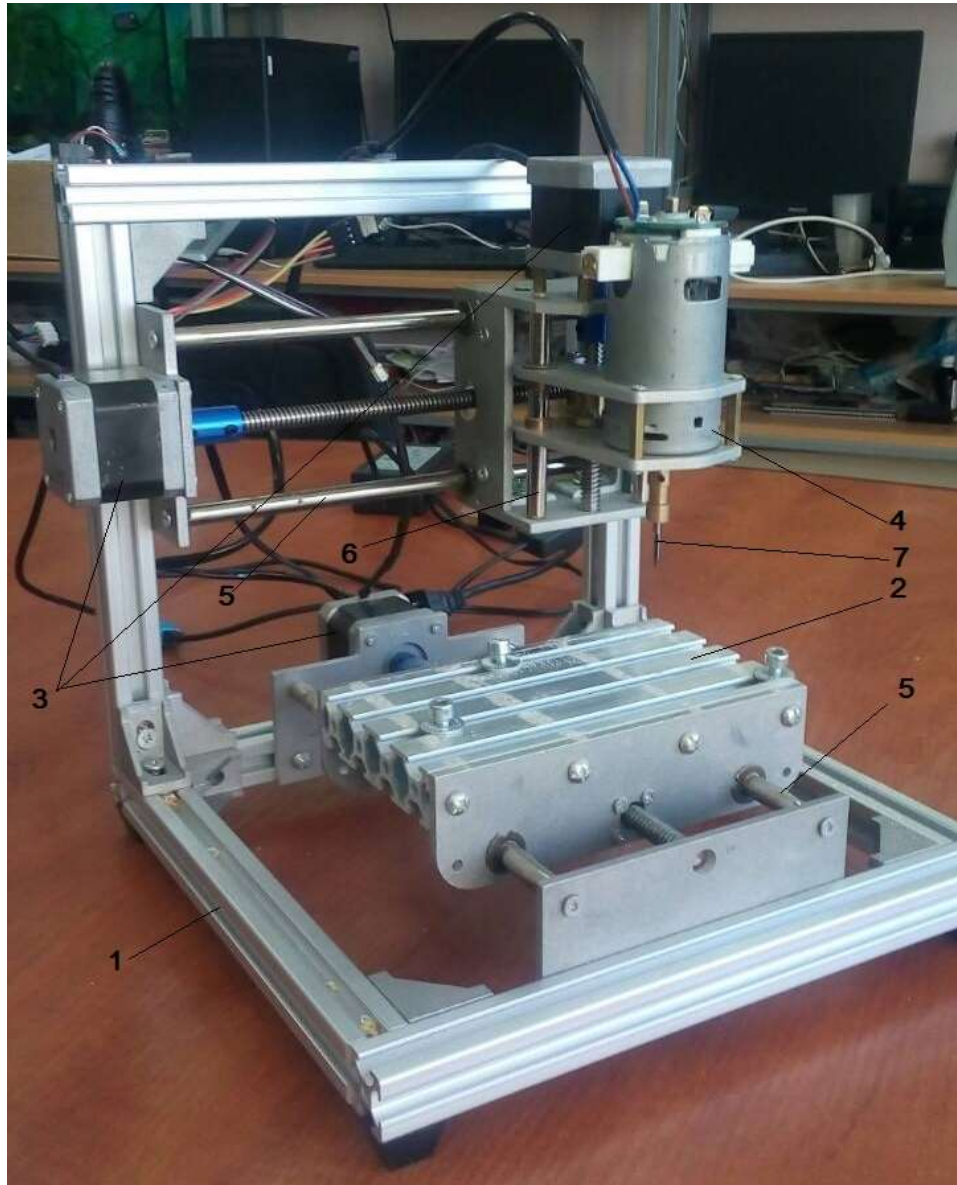
Рисунок 2.51 - 3D об'ємне зображення

2.7 Загальний вигляд розробленого верстату для виготовлення деталей методом фрезерування

2.7.1 Загальний вигляд зібраного фрезерного верстату

На рис.2.57 (лист [МРМА23.00.00.000ДІ6]) приведено загальний вигляд зібраного фрезерного верстату. Основними елементами зібраної фрезерної установки є: рама 1; стіл 2; крокові двигуни 3; шпиндель 4; напрямні переміщення двигунів 5; напрямні переміщення шпинделя 6; фреза 7.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79



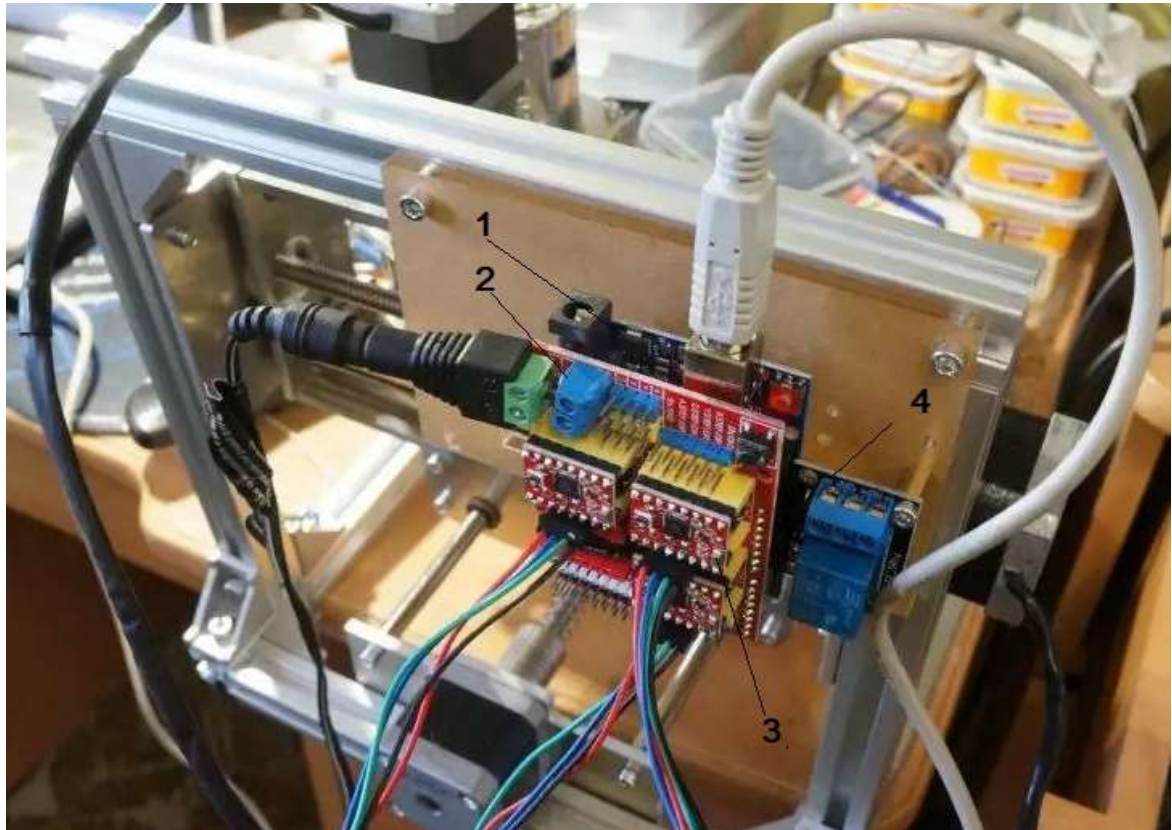
1-рама; 2-стіл; 3-крокові двигуни; 4-шпиндель; 5-напрямні переміщення двигунів; 6-напрямні переміщення шпинделя; 7-фреза

Рисунок 2.57 - Загальний вигляд зібраного фрезерного верстату

2.7.2 Загальний вигляд блоку керування фрезерним верстатом

На рис.2.58 (лист [МРМА23.00.00.000ДІ6]) приведено загальний вигляд блоку управління фрезерним верстатом. Основними елементами даного блоку є: плати Arduino UNO 1 та розширення CNC Shield v3.0 2; драйвер A4988 3; модуль реле 4.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80



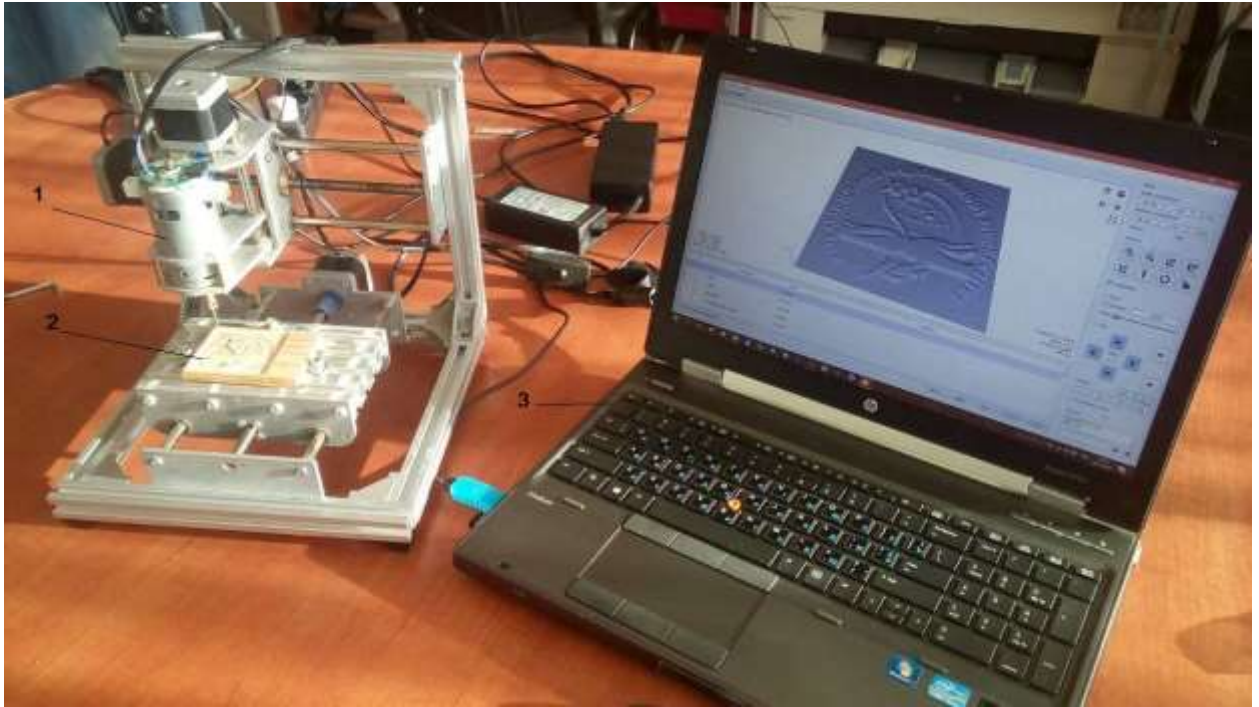
1-плата Arduino UNO; 2-плата розширення CNC Shield v3.0; 3-драйвер A4988; 4-модуль реле

Рисунок 2.58 - Загальний вигляд блоку управління фрезерним верстатом

На рис.2.59 (лист [МРМА23.00.00.000ДІ6]) приведено загальний вигляд розробленого верстата для виготовлення виробів методом фрезерування.

Основними елементами даного пристрою є: фрезерний верстат 1; дерев'яна заготовка 2; комп'ютер з програмним забезпеченням ArtCAM 3.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81



1 - фрезерний верстат; 2 - дерев'яна заготовка; 3 - компютер з програмним забезпеченням ArtCAM

Рисунок 3.59 – Загальний вигляд розробленого верстата для виготовлення виробів методом фрезерування

2.8 Висновки до розділу

У цьому розділі описано процес проектування фрезерного верстата, включаючи розрахунок та вибір основних конструктивних елементів, таких як рама, робочий стіл, системи керування рухом крокових двигунів та шпинделя. Також описано вибір відповідних крокових двигунів, шпинделя, компонентів блоку управління та програмного забезпечення, необхідного для його функціонування.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

3 ЗАСТОСУВАННЯ ФРЕЗЕРНО-ГРАВІЮВАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ

3.1 Вибір робочих інструментів

Вибір конкретного типу фрези для використання на фрезерних верста-
тах з ЧПУ варіюється в залежності від матеріалу, який потребує обробки:

Однозаходні фрези оптимально підходять для м'яких матеріалів, таких
як м'які види пластмас (акрил, оргскло, ПВХ, пенопласт), дерева та її похі-
дні (фанера, ДСП), а також композитні панелі (алюміній у поєднанні з плас-
тиком). При обробці таких матеріалів фреза швидше тупиться, але ризик за-
бивання або поломки фрези значно нижчий. Ці фрези часто використовують-
ся в рекламному та макетному виробництві для швидкої розкрійки, де висока
якість краю не є критичною. Довгі канавки фрези допомагають формувати
довгу стружку, запобігаючи забиванню, що продовжує термін служби ін-
струменту.

Двозаходні фрези ідеально підходять для більш жорстких матеріалів,
таких як МДФ, фанера, різні види пластмас (акрил, оргскло, ПВХ, пеноп-
ласт), композитних панелей (алюміній з пластиком). Спіральні фрези з двома
або більше заходами ефективно використовуються для обробки, утворюючи
дрібнішу стружку та забезпечуючи інтенсивне зняття матеріалу за один про-
хід. Багатозаходна структура фрези дозволяє досягти високої чистоти оброб-
леної поверхні.

Спіральні двохзаходні круглі фрези (як на рис.3.1) дозволяють отрима-
ти гладку поверхню завдяки зниженню вібрацій під час різання. Вони засто-
совуються для створення U-подібних гравюр (наприклад, текстів) на поверх-
ні матеріалу та при фінішній обробці тривимірних об'єктів. Завдяки точному
виробництву, при фінішній обробці твердих деревинних поверхонь, фреза
забезпечує полірований ефект, не потребуючи додаткової обробки. Також

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

спіральні фрези часто використовуються для первинної та фінальної обробки 3D-об'єктів, залежно від геометрії оброблюваної поверхні.

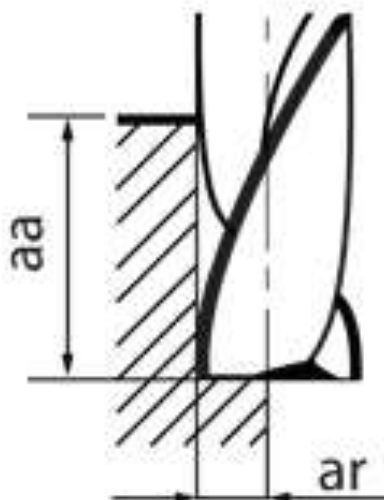


Рисунок 3.1 - Спіральна двохзаходна кругла фреза

Часто використовуються фрези, які видаляють стружку в напрямку вгору. Під час роботи з такими фрезами на поверхні оброблюваного матеріалу можливе утворення пухнастості. Для досягнення чистої поверхні при виконанні проникаючого фрезерування (розкрою), можна застосувати фрези, що видаляють стружку вниз, де комбінується правий оберт з лівою спіраллю, що запобігає появі ворсу. При роботі з ламінованими матеріалами використовуються компресійні фрези, які дозволяють досягти чистої поверхні без сколів, зберігаючи облицювальний шар.

Сферичні або кулькові фрези, використовувані у фрезерних верстатах з ЧПУ, призначені для 3D-обробки. Вони ефективні для обробки дерева, пластику, сталі та кольорових металів (міді, алюмінію, дюралю, латуні тощо). Ці фрези забезпечують більш гладку поверхню завдяки зниженим вібраціям під час різання, як зображено на рис.3.2.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

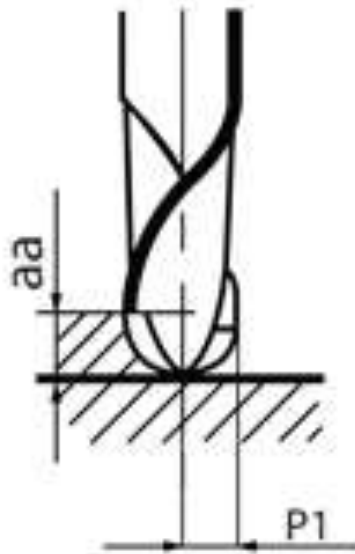


Рисунок 3.2 - Сферична (кулькова) фреза

Двозаходні конусні фрези (зображені на рис.3.54), які використовуються в верстатах з ЧПУ, застосовуються для роботи з дерев'яними заготовками, ДСП, МДФ, різними пластиками, модельним воском та деякими кольоровими металами. Такі конусні фрези ідеально підходять для одноетапної обробки високих рельєфів без необхідності виконання окремої чорнової обробки. Конусна форма цих фрез забезпечує високу міцність при невеликому діаметрі ріжучого краю фрези.

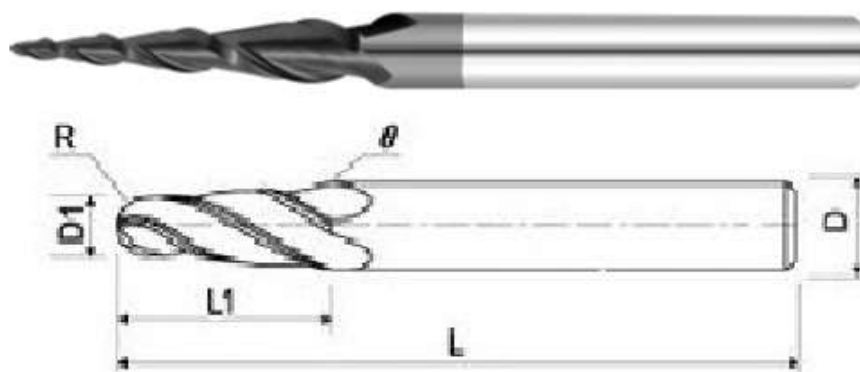


Рисунок 3.3 - Конусна двохзаходна фреза

Фрези виготовляють з вольфрамокарбиду, доповненого спеціальними зміцнювальними компонентами, та покриттям AlTiN (алюмінієвий нітрид титану).

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

тану). Фрези з формою ріжучої частини, схожою на риб'ячий хвіст, попереджають виникнення нерівностей, відколів чи задирок на зворотному боці оброблюваного матеріалу під час фрезерування. Глибокі жолобки дозволяють підтримувати високі швидкості подачі при високошвидкісній обробці. Особлива геометрія лез допомагає мінімізувати вібрації, а конструкція фрези ефективно видаляє стружку з області різання.

Конічний гравер використовують для деталізованої обробки дрібних 3D-елементів та для гравірування на поверхнях з ABS, ПВХ, дерева, оргскла.

Відмінності між фрезами та граверами полягають у їхній конструкції. Гравер - це в основному простий інструмент, поділений навпіл циліндр з додатковим заднім шліфуванням. Їх форма може бути різною, але трикутні є найбільш розповсюдженими. На відміну від фрез, гравери не мають спірально-видного жолоба для видалення стружки.

HSS фрези з покриттям, зображені на рис.3.4, мають значно подовжений термін служби. Наприклад, з нітридом титану (TiN) покриттям термін служби може збільшитися у шість разів.



Рисунок 3.4 - HSS фрези з покриттям

Покриття з нітриду титану (TiN) значно жорсткіше, ніж високошвидкісна сталь (HSS) і майже таке ж тверде, як твердосплав (HM). Інструменти з HM і TiN покриттям працюють довше, хоча різниця в твердості не є значною.

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Важливішим є вплив покриття на можливість збільшення числа обертів і подачі, що дозволяє скоротити час обробки. При фрезеруванні алюмінію TiN запобігає прилипанню алюмінію до фрези, аналогічно до дії тефлону в сковороді, дозволяючи стружці легко ковзати.

Трьохзаходні або тризубі фрези.

Трьохзаходні спіральні торцеві фрези використовують для обробки жорстких матеріалів, розкрою, виготовлення пазів, а також для чорнової і напівчистої обробки сталей, у тому числі нержавіючих. Три ріжучі кромки забезпечують кращу якість обробки поверхні, порівняно з двох і однозаходними фрезами. Головна перевага цих фрез - висока жорсткість, що не впливає на ефективне видалення стружки з області різання (рис.3.5).

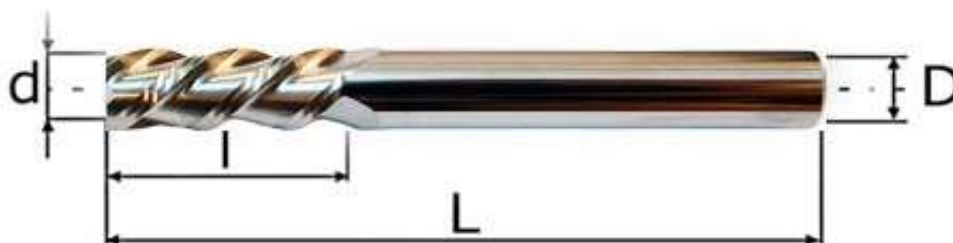


Рисунок 3.5 - Трьохзаходна спіральна торцева фреза

Теоретичні засади вибору режимів різання для фрезерних станків

Швидкість обертання шпинделя та подачі - це ключові аспекти різання. Цю інформацію можна знайти в спеціалізованих книгах по фрезеруванню. Вибір діаметра фрези залежить від ширини та глибини фрезерування.

Ширина фрезерування - це ширина оброблюваної поверхні, яка зазвичай вказана в кресленні і визначається розміром деталі чи заготовки. При обробці декількох сусідніх заготовок ширина фрезерування пропорційно збільшується.

Глибина фрезерування - це товщина шару матеріалу, який знімається фрезою за один прохід. При необхідності зняття значного шару матеріалу фреза робить декілька проходів, а останній прохід виконується з меншою глибиною для отримання більш чистої поверхні. Такий прохід називають чи-

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

стовим фрезеруванням, на відміну від попереднього, або чернового фрезерування, яке виконується з більшою глибиною. Проте, при малому припуску на обробку фрезерування може бути виконано за один прохід.

Швидкість різання - це довжина шляху (зазвичай вимірюється в метрах), який проходять ріжучі кромки зубів фрези за одну хвилину. Швидкість різання обчислюється за формулою: довжина окружності фрези, помножена на кількість зубів і на кількість оборотів за хвилину, поділена на 1000 (для перетворення міліметрів у метри).

Швидкість різання зазвичай визначається за довідниками режимів різання. Оскільки швидкість різання при фрезеруванні залежить від міцності конкретної фрези, рекомендована в таблицях швидкість відповідає максимальній швидкості, на якій можливе різання без поломки фрези.

Подача - це відстань (зазвичай у міліметрах), на яку переміщується шпиндель станка в довжньому - Y, поперечному - X або вертикальному - Z напрямку за певний час.

Подача за хвилину - це відстань переміщення шпинделя в міліметрах за одну хвилину. Розраховується за формулою: подача за хвилину дорівнює подачі на один зуб фрези, помноженій на кількість зубів фрези та на кількість оборотів фрези за хвилину.

Вибір параметрів різання

Основні аспекти різання включають швидкість обертання шпинделя та подачі. Вибір діаметра фрези залежить від ширини та глибини фрезерування. Ширина фрезерування визначається шириною оброблюваної поверхні, яка зазвичай вказана в кресленні, і корелюється з розміром деталі або заготовки. При обробці декількох поруч розміщених заготовок ширина фрезерування пропорційно збільшується.

Глибина фрезерування визначає товщину шару матеріалу, що знімається за один прохід фрезою. Якщо необхідно зняти велику кількість матеріалу, фреза робить кілька проходів. Останній прохід, який забезпечує чистішу по-

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

верхню, називається чистовим фрезеруванням, на відміну від чернового фрезерування з більшою глибиною різання. Якщо допуск на обробку невеликий, фрезерування може бути виконане за один прохід.

Швидкість різання визначає довжину шляху, який проходять ріжучі кромки зубів фрези за одну хвилину. Вона зазвичай визначається за довідниками режимів різання і залежить від стійкості фрези, причому рекомендована швидкість відповідає максимальній швидкості різання без ризику поломки інструменту.

Подача за хвилину – це відстань, на яку переміщується шпиндель за одну хвилину. Вона обчислюється за формулою: подача за хвилину дорівнює подачі на один зуб фрези, помноженій на кількість зубів фрези і на кількість оборотів фрези за хвилину.

У таблицях 3.1 – 3.2 наведені загальні рекомендації щодо режимів різання торцевими фрезами та граверами.

Таблиця 3.1 – Загальні рекомендації по режимах різання торцевою фрезою 3 мм

Матеріал, що обробляється	Робоча подача, мм\хв	Швидкість обертання	Глибина за Прохід, мм
М'яка деревина(сосна)	1000-1500	20000-24000	4,5
Тверда деревина (бук, дуб, фанера)	500-1000	20000-24000	4,5
Двошаровий пластик	2000	12000	0,3
Акрил, полістирол	800-1000	12000-16000	1,5
ПВХ	1500-2000	12000-15000	4-6
Для алюмінієвих сплавів	500-800	13000-15000	0,3

Таблиця 3.2 – Загальні рекомендації по режимах різання гравером 30°x0,2

Матеріал, що обробляється	Робоча подача, мм\хв	Швидкість обертання	Глибина за Прохід, мм
М'яка деревина(сосна)	600-800	20000-24000	7,5-8
Тверда деревина (бук, дуб, фанера)	300-600	20000-24000	3
Двошаровий пластик	2000	20000	0,3
Акрил, полістирол	300-500	18000-20000	0,3-0,6

3.2 Процедура 3D-фрезерування деталі

Для тестування зібраного фрезерного верстата було реалізовано процедуру 3D-фрезерування деталі. Обраним зображенням для цієї цілі став зображення емблеми Хмельницького національного університету. Було визначено відповідну дерев'яну заготовку, для чого була використана соснова дошка заданих розмірів.

Процес створення програми для фрезерування цієї емблеми в програмі ArtCAM проходив у три етапи:

- завантаження та редагування малюнка;
- розробка 3D-моделі на основі малюнка;
- генерація 3D-траєкторії для фрезерування.

Відповідні етапи розробки програми для фрезерного верстата зображені на рисунках 3.6-3.8 (лист [МРМА23.00.00.000Д17]).



Рисунок 3.6 – Завантаження і редагування малюнка

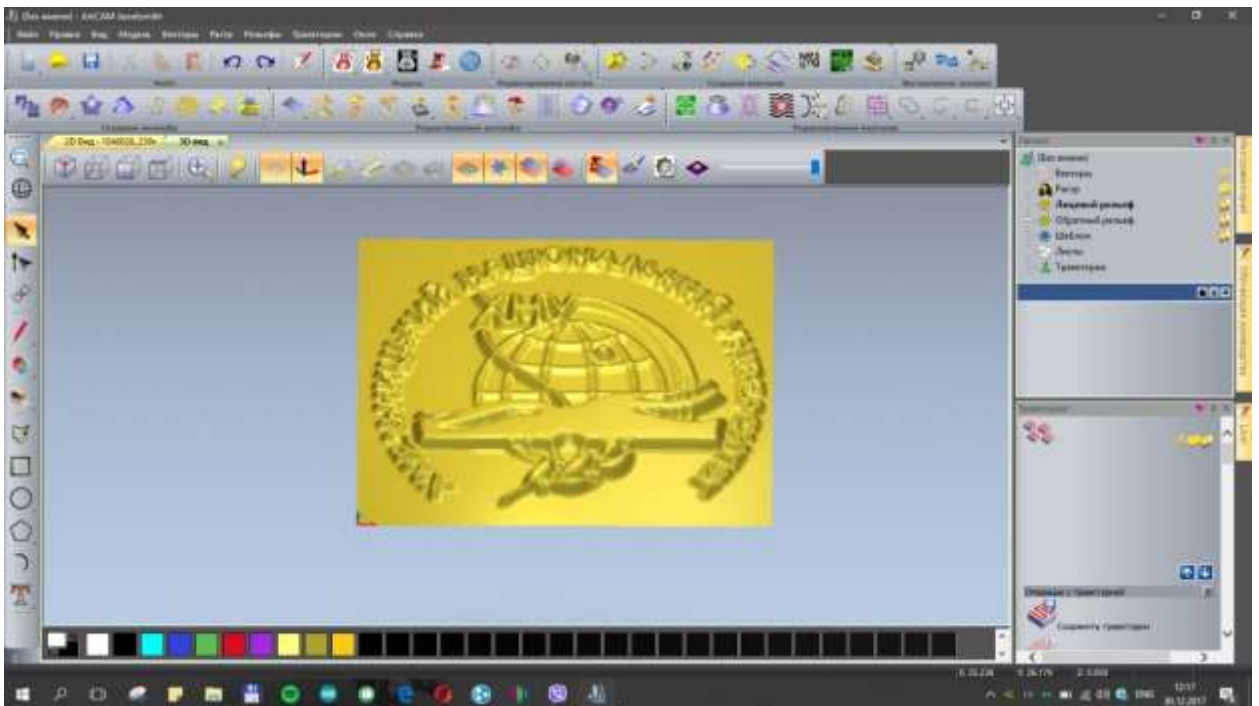


Рисунок 3.7 – 3D вигляд деталі

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

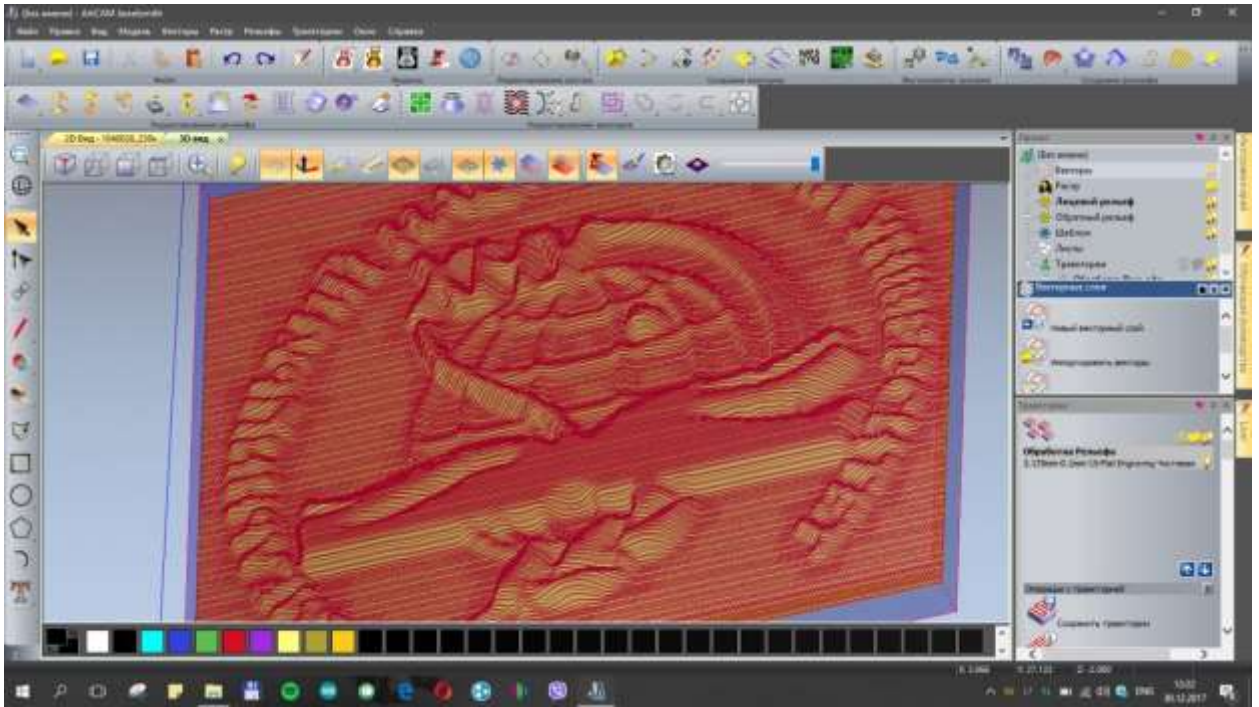


Рисунок 3.8 – Створення 3D траєкторії

Було проведено підбір робочого інструменту фрези. Загальний вигляд фрез, що можуть застосовуватися в розробленому фрезерному верстаті зображено на рис.3.9 (лист [МРМА23.00.00.000ДІЗ]).



Рисунок 3.9 - Загальний вигляд фрез для розробленого фрезерного верстату

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

Для виготовлення розробленої деталі, було вибрано фрезу з найменшим кутом заточки (рис.3.10) та закріплено її в патроні шпинделя.

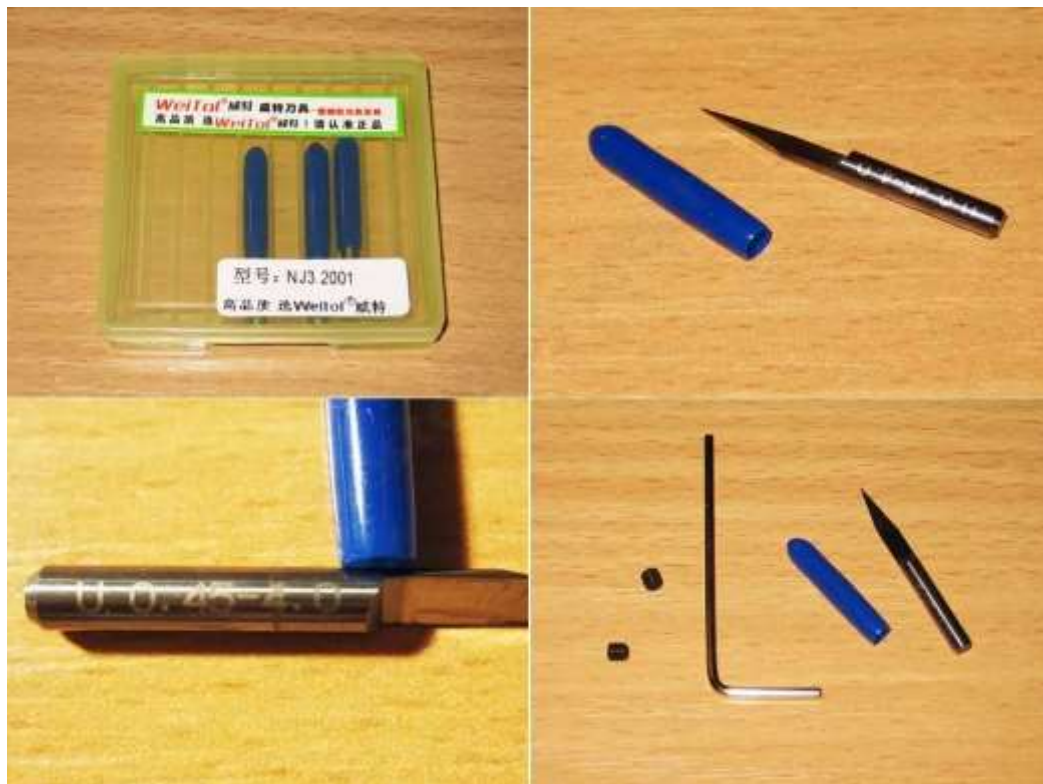


Рисунок 3.10 - Фреза для фрезерування розробленого макету виробу

В подальшому соснову заготовку було закріплено на робочому столі і запусчено за допомогою розробленої програми технологічний процес фрезерування деталі.

Загальний вигляд отриманого готового виробу приведено на рис.3.11 (лист [МРМА23.00.00.000ДІЗ]).

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.11 – Загальний вигляд отриманого виробу

3.3 Висновки до розділу

У цьому розділі здійснюється вибір робочих інструментів. Окремо представлений технологічний процес фрезерування дерев'яної заготовки для створення об'ємної моделі емблеми університету, що демонструє практичне застосування розробленого фрезерного верстата.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

ВИСНОВКИ

У першому розділі здійснено аналіз наявних технологій та технічних рішень, що стосуються теми магістерської роботи. Описано основні принципи механічних та фізичних процесів різання деревини, ключові аспекти елементарного різання, а також класифікацію різних процесів різання. Також представлено огляд доступного обладнання для фрезерування та різноманітних типів фрезерних верстатів.

Другий розділ присвячено розробці конструкції фрезерного верстата. В рамках цього розділу було виконано розрахунки та підібрано ключові конструктивні елементи верстата, включно з рамою, робочим столом, напрямними для переміщення крокових двигунів та шпинделя, а також здійснено вибір крокових двигунів, шпинделя та компонентів системи управління та програмного забезпечення.

Третій розділ присвячений вибору робочих інструментів і включає детальний опис технологічного процесу фрезерування дерев'яної заготовки для створення об'ємної моделі емблеми університету. Це демонструє практичне використання розробленого фрезерного верстата.

Експериментальні дослідження технічних характеристик розробленого фрезерного верстата з ЧПУ показали його здатність ефективно обробляти деталі з різних видів деревини. Верстат забезпечує високу точність обробки 3D-поверхонь до 0,1 мм з однорідною шорсткістю поверхні у різних напрямках, незалежно від траєкторій руху інструмента.

					MPMA23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Фрезерувально-гравіювальні роботи [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://narodna-osvita.com.ua>
2. CNC верстати [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://homescnc.ru/index.php/mech/1-tips-cnc>.
3. Єрмолаєв Ю.О., Руденко Т.Г. Математична модель ланки різання в системі автоматичного регулювання навантаження головних електроприводів деревообробних фрезерних верстатів. "Енергетика і автоматика", №2, 2013 р.
4. Глебов І. Т. Різання деревини [Текст] : навч. пос. / І. Т. Глебов. – СПб.: «Лань», 2010. – 256 с.
5. Руденко Т. Г. Розробка автоматизованої системи керування обробкою деревини на поздовжньо-фрезерних верстатах [Текст] / Руденко Т. Г., Єрмолаєв Ю. О., Шалімов В. О. // Техніка в сільськогосподарському виробництві. Галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. Праць КНТУ. – Кіровоград: КНТУ. – 2012. – Вип. 25, Ч. II. – С. 272–275.
6. Навчальний посібник до проведення практичних занять з дисципліни «Електропривод та автоматизація верстатів-автоматів» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Л.І. Леві; за заг. ред. д.т.н., проф. Л.І. Леві. – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. – 106 с.
7. Шульга, А.А. Автоматизований електропривод металорізальних верстатів: навчальний посібник: для студентів спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» / А. А. Шульга, І. І. Полупан, А.А. Ткаченко. - Краматорськ: ДДМА 2010. - 124 с.
8. Панкратов А.І. Системи керування електроприводами. Видання 2: Навч. посібник з дисципліни «Системи керування електроприводами» (для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані тех-

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

нології» денної і заочної форми навчання)/ – Краматорськ: ДДМА, 2018. – 225 с.

9. Ю.В. Петраков, О.С. Мацківський. Забезпечення якості регулювання системи адаптивного управління фрезеруванням на верстаті з ЧПК. Вісник ЖДТУ. 2015. № 2. – С.81-85.

10. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. Частотне керування асинхронним приводом. Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни „Основи електропривода” для студентів напряму підготовки 6.100101 – „Енергетика та електротехнічні системи в АПК” / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. – Ніжин.: 2011. – 98 с.

11. Верстатний конструкційний профіль [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bibus.ua/produkti-rishennja/aljuminijevi-ta-gumovi-profil/aljuminijevii-konstrukciinii-profil-item/verstatnii-konstrukciinii-profil/>.

12. Фрезерний ЧПУ верстат [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://bc-chpu.com.ua/ua/p1261116325-frezernyj-chpu-standok.html>.

13. NEMA17 Stepper Motor [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/ndglm>.

14. Шпиндель з повітряним охолодженням [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mirstankov.com/uk/catalog/shpindel-2-2-kvt-z-povitryanim-oholodzhennyam/>.

15. Fenix [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.instankoservis.ua/fenix-ukr/>.

16. Фрези для ЧПК верстатів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mirtels.com.ua/ua/statti/frezy-dlia-chpk-verstata>.

17. Рекомендації по вибору різального інструменту і режимів обробки на фрезерному верстаті з ЧПУ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mirstankov.com/uk/rekomendacii-po-viboru-rizalnogo-instrumentu-i-rezhimiv-obrobki-na-frezernomu-verstati-z-chpu/>.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

18. Фрези для ЧПУ: різновиди та класифікація, області застосування: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://profit-tc.com/ua/a411752-frezy-dlya-chpu.html>.

21. Створення керувальних програм для верстатів з ЧПУ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mirstankov.com/uk/stvorenniya-keruvalnix-program-dlya-verstativ-z-chpu/>.

22. 3D фрезерування дерева [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://lazerplus.com.ua/frezeruvannya/3d-frezeruvannya-dereva.html>.

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

Додатки

					МРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						99
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		