

1 Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації
та мехатроніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **Пояснювальна записка**

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Моделювання впливу технологічних параметрів фрезерування на геометричні
виміри та якість поверхні деталей
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи ІТМРТм-20-1

Мижирицький Вадим Володимирович

Спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки

Керівник доц. Разумов-Фризюк Є. А.

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАМ

(підпис)

Невлюдов І.Ш.
(прізвище, ініціали)

2021р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАМ _____

(підпис)

«_____» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Мижириському Вадиму Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вплив технологічних параметрів фрезерування на геометричні виміри та якість поверхні деталей

Затверджена наказом по університету від 08.11.2021 №1696 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____

3. Вихідні дані до роботи: Напруга живлення 220 В, 50 Гц. Потужність що споживається 2,5 кВт. Робоча зона фрецерування 180×180 мм. Кількість обертів шпинделя 9800 об/хв. Максимальні габарити фреерного верстата не більше 480×480×500 мм. Вага не більше 25 кг.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ

4.2 Аналіз предметної області;

4.3 Моделювання фрезерного станка;

4.4 Проведення експериментальних досліджень;

4.5 Охорона праці;

4.6 Висновки;

4.7 Додатки;

5. Демонстраційний матеріал представлений у виді презентації PowerPoint (*ppt) – с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	05.11.21	виконав
2	Моделювання фрезерного станка	10.11.21	виконав
3	Вибір компонентів	15.11.21	виконав
4	Проведення експериментальних досліджень	24.11.21	виконав
5	Оформлення пояснювальної записки	28.11.21	виконав
6	Перевірка керівником роботи	01.12.21	виконав
7	Нормоконтроль	02.12.21	виконав
8	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	02.12.21	виконав
9	Подання роботи на рецензію		
10	Подання роботи на підпис зав. кафедри		
11	Подання атестаційної роботи в ЕК		

Дата видачі завдання 05.11.2021 р.

Студент _____ Мижирицький В.В.
(підпис)

Керівник роботи _____ доцент Разумов-Фризюк Є. А.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до атестаційної роботи – 71 с., 51 рис., 1 табл.,
17 джерел.

МЕХАНІЧНА ОБРОБКА, ФРЕЗЕРНІ ВЕРСТАТИ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ, РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ

Об'єкт дослідження – є технологія фрезерування.

Предмет дослідження – процес фрезерної обробки матеріалів.

Мета роботи – моделювання параметрів фрезерної обробки та визначення значень параметрів обробки для різних матеріалів.

У ході виконання кваліфікаційної роботи проаналізовано існуючі види обробки матеріалів та в частині особливості фрезерної обробки.

Проведено аналіз види фрезерних станків та оснастки. Виконано підбір компонентів для фрезерного верстата та побудованна 3D модель.

Побудовано регресійно-кореляційна модель впливу технологічних параметрів фрезерної обробки на збереження геометричних розмірів топології друкованих плат.

ABSTRACT

Explanatory note to the certification work – 71 pages, 51 figures, 1 table, 17 sources.

MECHANICAL PROCESSING, MILLING MACHINES, TECHNOLOGICAL PARAMETERS, REGRESSION ANALYSIS.

The object of research is milling technology.

The subject of research is the process of milling materials.

The purpose of the work is to model the parameters of milling and determine the values of processing parameters for different materials. In the course of qualification work the existing types of materials processing and in particular the features of milling are analyzed.

The analysis of types of milling machines and equipment is carried out. Selection of components for the milling machine and construction of the 3D model are executed.

A regression-correlation model of the influence of technological parameters of milling processing on the preservation of geometric dimensions of the printed circuit board topology is constructed.

Скорочення та умовні позначки.....	3
Вступ.....	4
1. Аналіз предметної області.....	6
1.1 Фрезерна обробка матеріалів.....	7
1.2 Фрезерні станки.....	10
1.3 Класифікація ЧПК фрезерних верстатів.....	16
1.4 Матеріали для фрезерування.....	19
1.5 Висновки розділу.....	26
2. Моделювання фрезерного станка.....	27
2.1 Кінематика фрезерних станків.....	27
2.1.1 Кінематика Core XY.....	30
2.1.2 Кінематика H-bot.....	31
2.2 Вибір комплектуючих та будування 3D моделі.....	32
2.3 Підбір електроніки для макету.....	37
2.4 Висновки розділу.....	40
3. Проведення експериментальних досліджень.....	42
3.1 План проведення дослідження.....	42
3.2 Хід дослідження.....	47
3.3 Висновки розділу.....	54
4 Охорона праці.....	55
4.1 Охорона праці при роботі з лазерним гравірувальником.....	55
4.1.1 Загальні положення.....	55
4.1.2 Вимоги охорони праці перед початком роботи.....	59
4.1.3 Вимоги охорони праці під час проведення роботи.....	60
4.1.4 Вимоги охорони праці після завершення роботи.....	63
4.1.5 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях.....	64
Висновки.....	66
Перелік джерел посилань.....	68

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВІ ПОЗНАКИ

ДП – друкована плата;

ДСП – дерево-стружкова плита;

ЛДСП – ламінована дерево-стружкова плита;

ЛМ – лазерний модуль;

МДФ – мілко-дисперсна фракція;

ПК – персональний комп'ютер;

ПОВ – помилка одиничного вимірювання;

СКВ – середньоквадратичне відхилення;

СОР – система охолодження рідиною;

ЧПК – числове програмне керування;

ЧПУ – числове програмне управління;

ШГП – шарико-гвинтова передача.

ВСТУП

Розвиток технологій став причиною того, що комп'ютери та інші передові технічні засоби все активніше використовуються в повсякденному житті людей, а також в промисловості. Наприклад, на сучасних промислових підприємствах все частіше можна зустріти фрезерний верстат з ЧПК, який управляється не в ручному режимі оператором, а за допомогою спеціальних комп'ютерних програм і відповідних електронних пристроїв. Завдяки такій системі управління значно полегшується експлуатація верстата, а з процесу виготовлення деталей виключається людський фактор, який може чинити негативний вплив на їх якість і точність обробки.

Фрезерне обладнання дозволяє здійснювати різні технологічні операції: різання, свердління, розрахунок відстаней між отворами, які необхідно виконувати, а також ряд інших.

Матеріали, які можна обробляти на такому обладнанні: деревина, чорні, а також кольорові метали, кераміка, полімерні матеріали, природний і штучний камінь.

Різноманіття матеріалів, придатних для фрезерної обробки, дозволяє застосовувати цю технологію при створенні широкого асортименту виробів в різних виробництвах.

Тому модернізація та удосконалення фрезерних верстатів, а також вибір оптимальних параметрів фрезерування – актуальне завдання, від вирішення якої залежить ефективність виробництва. Для вирішення задачі оптимізації процесу фрезерування потрібно враховувати наступні параметри обробки: швидкість різання, швидкість занурення в матеріал, кут заточування фрези, щільність матеріалу та його однорідність.

Об'єкт дослідження – є технологія фрезерування.

Предмет дослідження – процес фрезерної обробки матеріалів.

Мета роботи – моделювання параметрів фрезерної обробки та визначення значень параметрів обробки для різних матеріалів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати види обробки матеріалів;
- розробити конструкцію фрезерного верстата;
- обрати комплектуючі та побудувати 3D модель верстата;
- провести емпіричні дослідження впливу технологічних параметрів фрезерування на відповідність геометричні розміри та якості поверхні виробу;
- побудувати регресійну модель.

Кваліфікаційна робота виконана згідно з [1], [2].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Існує два основні способи для розрізання та гравірування матеріалу:

- механічним впливом – це зміна форм і розмірів матеріалу під дією механічних сил (тиском);
- термічним впливом – це зміна форм і розмірів матеріалу під впливом температури.

Механічне різання, як і механічне гравірування, виконується на спеціальному металорізальному і металографітному обладнанні.

Види різання і гравіювання представлені на рисунку 1.1.

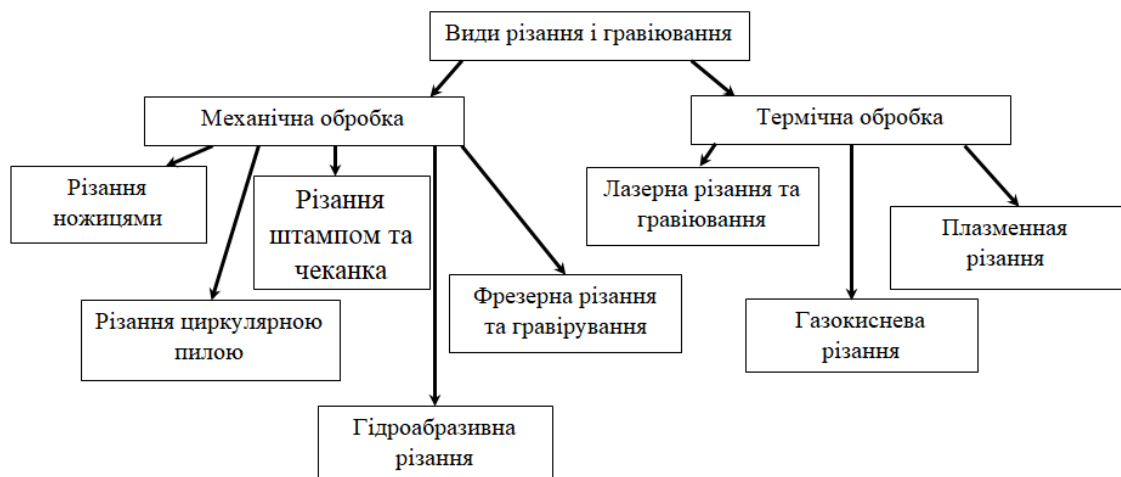


Рисунок 1.1 – Види різання і гравіювання

Переваги механічного різання і гравірування матеріалів:

- підвищена продуктивність;
- низька ціна обладнання;
- можливість обробляти великогабаритні заготовки;

Недоліки гравірування та механічного різання матеріалів:

- витрати матеріалів більші порівняно з термічною обробкою;
- швидкий знос робочого інструмента;
- інколи деталі вимагають додаткової обробки.

Переваги термічного різання і гравіювання матеріалів:

- висока точність виробу;
- якість поверхні різку;
- екологічність роботи;
- можливість обробляти деталі складної форми;
- відсутність механічного впливу на заготовку.

Недоліки термічного різання і гравіювання матеріалів:

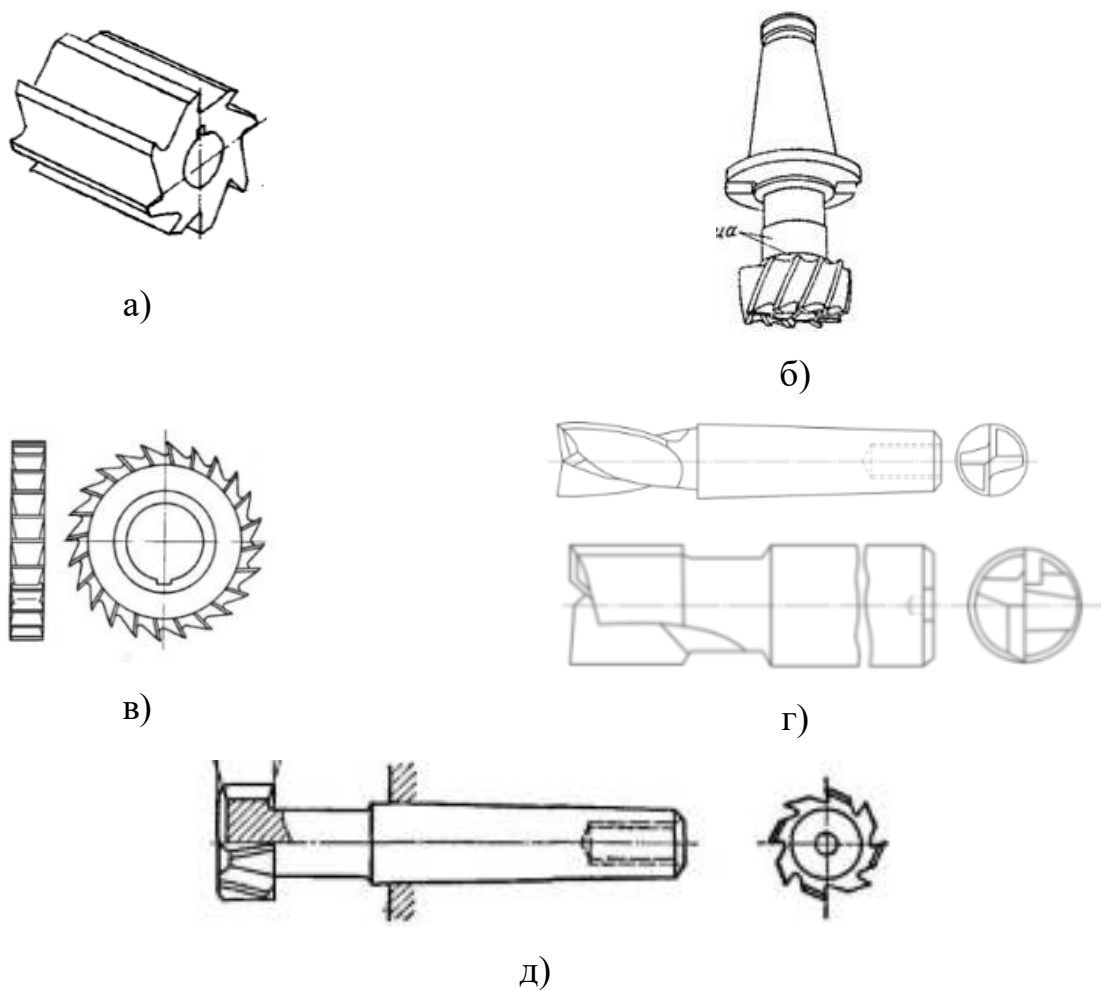
- порівняно висока ціна обладнання в порівнянні з механічною обробкою;
- не використовується при обробці тонколистних матеріалів (порядку сотен мікрометрів).

1.1 Фрезерна обробка матеріалів

Одним із найпоширеніших методів обробки металу є фрезерна обробка. У процесі її застосування зайвий шар матеріалу видаляється так званою фрезою – спеціальним обертовим інструментом, який має вигляд заточеного під певним кутом свердла або дискової пили нестандартної форми.

Технологічно складна фрезерна обробка деталей відрізняється високою функціональністю, тому є затребуваною в авіа- і автомобілепроектванні, будівництві та інших промислових сферах.

Для різних видів металевої поверхні, що відрізняються між собою типом кріплення, конструкцією, формою зубців та іншими характеристиками, використовують фрези (ріжучі леза) різного типу, рисунок 1.2.

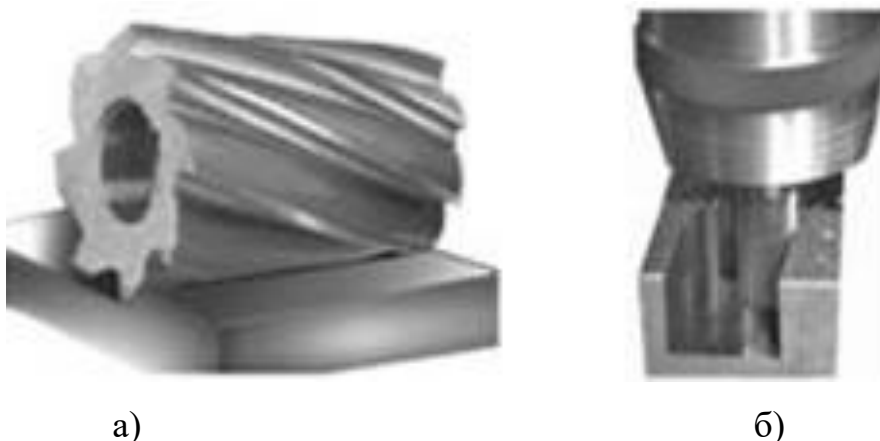


а) циліндрична фреза; б)торцева фреза; в) дискова фреза; г) шпонкова фреза; д) фреза для обробки Т – образних пазів.

Рисунок 1.2 – Види фрез

При циліндричному фрезеруванні вісь фрези паралельна оброблюваній поверхні. Працюють зуби, розташовані на циліндричній поверхні фрези, рисунок 1.3а.

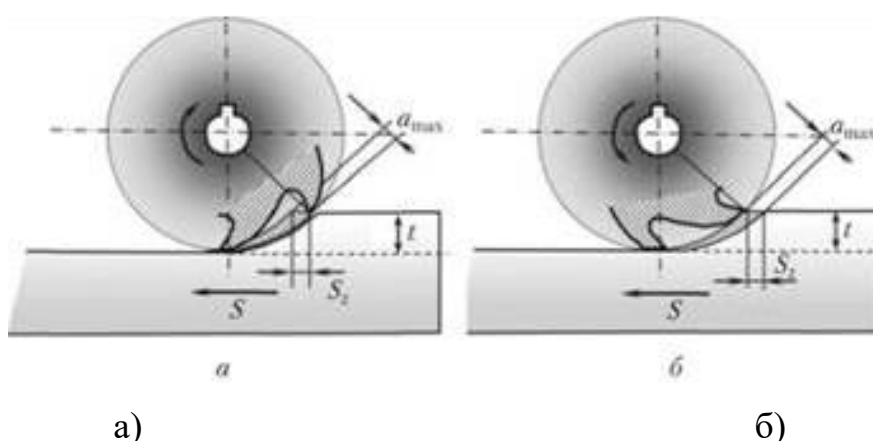
При торцевому фрезеруванні (рисунок 1.3б) вісь фрези перпендикулярна оброблюваній поверхні. У роботі беруть участь зуби, розташовані як на торцевій, так і на циліндричній поверхні фрези. Торцеве і циліндричне фрезерування можна виконувати двома способами: зустрічним фрезеруванням – напрям подачі протилежно напрямку обертання фрези, і попутним фрезеруванням – напрям подачі збігається з напрямком обертання фрези. [2]



а) циліндричному фрезеруванні; б) торцевому фрезеруванні

Рисунок 1.3 – Методи фрезерування

При попутному фрезеруванні зуб починає різання із шару найбільшої товщини a_{max} , тому в момент входу його в оброблювану заготовку відбувається удар. При фрезеруванні на зуб, процес різання проходить спокійніше, так як товщина зрізаного шару зростає плавно, і, отже, навантаження на верстат росте поступово. У першому випадку заготовка притискається до столу, а стіл – до направляючих, завдяки чому підвищуються жорсткість інструменту і якість обробленої поверхні. У другому випадку фреза прагне відірвати заготовку від поверхні столу, рисунок 1.4.



а) фрезерування під зуб; б) фрезерування на зуб

Рисунок 1.4 – Напрямки фрезерування

Демонстрація можливостей різних схем обробки показана на рисунку 1.5



Рисунок 1.5 – Приклади обробки різними фрезами

Існує кілька основних операцій для обробки деталей. Фрезерна різка буває:

- торцева – призначена для обробки плоских і східчастих великих поверхонь. Ріжучий інструмент, в залежності від області застосування (чорнова або напівчистова обробка, розкрій, вибірка), має різну кількість зубів від одного до трьох і більше. Для деталей складної форми використовується фреза зі сферичним торцем;
- кінцева – призначена для обробки уступів, площин і пазів. Існують різні форми інструменту: звичайні і шпонкові фрези з конічним і циліндричним хвостиком, обдирні з потиличною і гостро заточеними зубами, з пластинами з твердого сплаву, а також для сегментних шпонок і Т-образних пазів;
- фасонна – призначена для формування складних геометричних форм, профілів. За допомогою таких фрез виготовляються шестерні;
- периферійна – призначена для силового фрезерування і нарізання складних пазів.

1.2 Фрезерні станки

Фрезерна група верстатів включає: вертикально- і горизонтально-фрезерні консольні, вертикальні бесконсольні, консольні широкоуніверсальні, поздовжньо-фрезерні, безперервної дії (барабанного і карусельного), копіювальні й гравірувальні; шпоночно-фрезерні, різьбо-фрезерні та ін.

До консольних фрезерних верстатів відносяться горизонтально-, вертикально- і універсально-фрезерні. Вони отримали свою назву від консольного кронштейна (консолі), що переміщається по вертикальних напрямних станини верстата і службовця опорою для горизонтальних переміщень столу. Схема горизонтально-фрезерного верстата наведена на Рисунку 1.5. Верстат може працювати циліндричними, дисковими і торцевими фрезами[3].



1 – шпиндель; 2 – хобот; 3 – підтримка; 4 – вертикальні напрямні; 5 – стіл;
6 – каретка; 7 – консоль; 8 – станина

Рисунок 1.5 – Горизонтальний консольно-фрезерний верстат

Він складається з станини 8, в якій розміщена коробка швидкостей. По вертикальних напрямних 4, змонтованим на станині, переміщається консоль 7. На ній змонтована каретка 6, а на каретці – стіл 5.

На ньому кріплять заготовку, яка за допомогою механізмів столу отримує подачу в трьох напрямках – поздовжньому, поперечному і вертикальному. Коробка подач розміщена всередині консолі. У верхній частині станини розташований хобот 2, по напрямних якого переміщається підвіска. Шпиндель 1 розташований горизонтально і отримує обертання.

Універсально-фрезерні верстати відрізняються від горизонтально-фрезерних тим, що у них шпиндельна головка може здійснювати поворот відносно горизонтальної осі. Приклад універсально-фрезерного верстата показаний на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Універсально-фрезерний консольний верстат



1 – вертикальна стійка; 2 головка; 3 – шпиндель; 4 стіл; 5 – каретка;
6 – консоль; 7 – станина

Рисунок 1.7 – Вертикальний консольно-фрезерний верстат

Цей верстат (рисунок 1.7) також складається з станини 7, в якій змонтована коробка швидкостей. Шпиндельна головка 2 знаходиться у верхній частині станини, вона може повертатися навколо горизонтальної осі. Заготівлю розміщують на столі 4 змонтованому на консолі 6. Вона може здійснювати рух подачі в трьох площинах. В консолі змонтована і коробка подач. На відміну від консольних фрезерних верстатів, де деталь закріплюють на консольно встановленому столі, що зазначає значні згинальні навантаження, у бесконсольних верстатів стіл змонтований безпосередньо на станині. Вертикальні бесконсольні-фрезерні верстати (Рисунок 1.8) використовують для обробки деталей великої маси і розмірів. Стіл 2 поздовжньо переміщається уздовж горизонтальних направляючих санчат, які поперечно переміщуються по

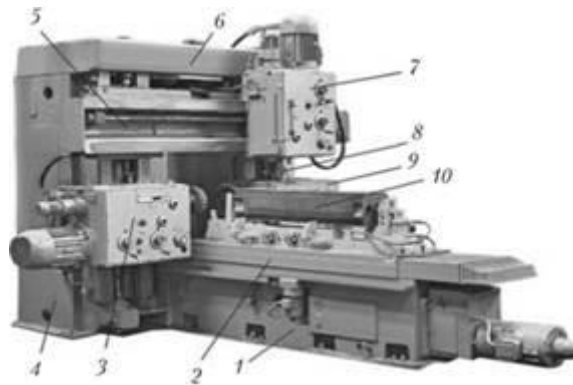
напрямних станини 1. Шпиндельна головка 4 вертикально переміщається по стійці 3.



1 – станина; 2 – стіл; 3 – вертикальна стійка; 4 – шпиндельна головка

Рисунок 1.8 – Вертикальний безконсольний-фрезерний верстат

Поздовжньо-фрезерні верстати також використовують для обробки заготовок великої маси і розмірів. Вони бувають одно- та двостійкові. На рисунку 1.9 показаний двостійковий поздовжньо-фрезерний верстат.



1 – станина; 2 – стіл; 3, 9 – горизонтальні шпиндельні головки; 4, 8 – стійки;

5 – траверса; 6 – поперечина; 7 – вертикальний шпиндель;

10 – оброблювана заготовка

Рисунок 1.9 – Поздовжньо-фрезерний верстат

На станині 1 змонтовані стійки 4 і 8, які скріплені зверху поперечкою 6. На їхню напрямних може переміщатися траверса 5, на якій встановлена фрезерна головка 7 з вертикальним шпинделем. Головка у свою чергу може

переміщатися по напрямних траверси. На напрямних стійках змонтовано дві горизонтальні шпиндельні головки 3 і 9. Фрезерні головки поворотні. Оброблювану заготовку 10 закріплюють на столі 2. Вона отримує тільки поздовжнє переміщення, що є особливістю цих верстатів. Головним рухом є обертання шпинделів. Кожна фрезерна головка має індивідуальний привід. Під час роботи верстата траверса затискається на стійках. Рух вертикальної подачі бічних (горизонтальних) головок здійснюється від одного регульованого електродвигуна, подача вертикальних головок – від індивідуальних регульованих електродвигунів. Траверса переміщається від самостійного приводу. На верстатах безперервної дії з'їм оброблених деталей, установка і закріплення заготовок проводяться без їх зупинки. Вони використовуються для фрезерування плоских поверхонь великих партій однотипних деталей. Фрезерні верстати безперервної дії підрозділяються на карусельно-фрезерні та барабанно-фрезерні. Карусельно-фрезерний верстат (рисунок 1.10) має круглий стіл 1, вісь якого розташована вертикально.

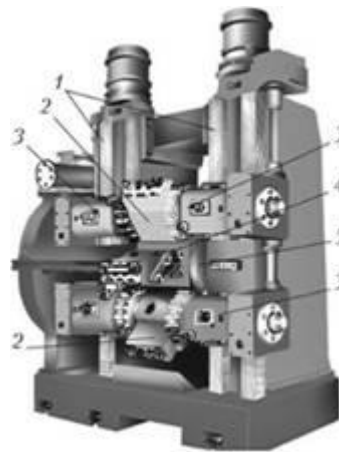


1 – стіл; 2 – заготовки; 3 – шпинделі; 4 – фрезерна головка

Рисунок 1.10 – Карусельно-фрезерний верстат

Оброблювані заготовки 2 закріплюють на столі. Він повільно безперервно обертається. Фрези встановлюють у двох шпинделях 3 фрезерної головки 4. Однією фрезою здійснюють чорнове фрезерування, інший – чистове. Шпинделі обертаються від електродвигуна через коробку швидкостей, стіл –

від самостійного приводу. Зняття готових деталей і установку нових заготовок проводять в завантажувальній позиції без зупинки верстата, чим досягається значне скорочення допоміжного часу і підвищення продуктивності обробки. Барабанно-фрезерні верстати застосовують для одночасної обробки двох паралельних торцевих площин невеликих корпусних деталей, торців валів та ін. Особливістю конструкції цього різновиду верстатів є наявність чотирьох, шести або восьмигранного барабана діаметром 500-2000 мм, вісь обертання якого розташована горизонтально. Заготовки встановлюють на гранях барабана, і вони повільно обертаються разом з ним, здійснюючи кругову подачу. Обробка ведеться однією або декількома фрезерними головками. На рисунку 1.11, наведена одна з конструкцій барабаннофрезерного верстата. На гранях барабана 4 закріплюють заготовки 2 і повідомляють йому повільне обертальний рух (рух подачі). Барабан закріплений на валу 5. Кожна з двох торцевих поверхонь заготовки обробляється послідовно двома фрезерними головками 3, встановленими на стійках 1.



1 – стійки; 2 – заготовки; 3 – фрезерні головки; 4 – барабан; 5 – вал барабана

Рисунок 1.11 – Барабанно-фрезерний верстат

Пристаювання для виконання фрезерних робіт відрізняються великою різноманітністю. Поряд з пристосуваннями з ручним затиском заготовки

(наприклад, універсально-поворотними лещатами) застосовують пристосування з гідравлічним або пневматичним затискачем.

1.3 Класифікація ЧПК фрезерних верстатів

Програмно-керовані верстати для фрезерної обробки класифікуються за такими ознаками:

1) За матеріалом для обробки:

– металообробне обладнання, яке призначене для свердління, різьблення, різання і т. д. металів та їх сплавів. Відрізняється потужним двигуном та посиленою конструкцією, що витримує великі навантаження;

– деревообробні верстати, що виконують комплекс фрезерних робіт по деревині. Мають велику схожість з фрезерами для металу, але оснащені менш потужними двигунами та легшою статиною, так як деревина піддається обробці легше за метали.

2) За призначення можливо поділити:

– фрезерно-гравірувальні – для нанесення гравіювання на будь-які матеріали, від металу до шкіри, рисунок 1.12;



Рисунок 1.12 – Фрезерно-гравірувальний верстат

– фрезерно-токарні – універсальні пристрої, що поєднують в собі

обладнання токарної і фрезерної групи. Особлива конструкція фрезерної головки дозволяє фіксувати в ній не тільки різні типи фрез, а й токарні різці, тому на таких верстатах можна виконувати операції з зенкерування, свердління, створюються фаски, відрізні роботи, а також виконувати обробку тіл обертання, рисунок 1.13;



Рисунок 1.13 – Фрезерно-токарний верстат

– фрезерно-свердлильні – відрізняються компактними розмірами і можуть виконувати як фрезерні роботи, так і операції по нарізування різьблення, зенкерування, розгортання отворів та інше, рисунок 1.14;



Рисунок 1.14 – Фрезерно-свердлильний верстат

3) За габаритами:

– міні-фрезери – з робочим полем 400×400 мм. Такі моделі використовуються в handmade сфері і крім малих розмірів мають також мінімальну потужність і обмежений функціонал;

– настільні фрезери – розмір зони обробки 600 × 900 мм. Вміщаються на робочому столі. Здатні взаємодіяти з будь-якими матеріалами і виконувати всі види робіт, але через невисоку потужності працюють досить повільно, тому підходять тільки для виготовлення штучних або малосерійних виробів. Купуються переважно для особистого користування або дрібного виробництва;

– середньоформатні верстати – габарити столу 1300×130 мм або 1300 ×2500 мм. Професійне обладнання з потужним шпинделем, що підходить для будь-яких робіт. Використовується на всіх малих і середніх підприємствах;

– великогабаритне устаткування – потужні верстати з великим робочим полем (до 2000×3000 мм) і високою продуктивністю для робіт з великими обсягами продукції, що випускається. Використовуються на великих метало- і деревообробних підприємствах.

Переваги фрезерного різання і гравірування:

– точність гравіювання та різання від $\pm 0,1$ до $\pm 0,01$ мм, при використанні високоточних фрезерних станків можна отримати мікронну точність різку;

– відсутність обмежень по геометричній формі деталі;

– можливість різання та гравіювання не тільки металу, але і дерева, ДСП, ДВХ, полістиролу, ПВХ пластика, композитних матеріалів, акрилу та інших видів пластмас;

– можливість різання і гравірування великих заготовок з товщиною від 1 до 50 мм і більше;

– висока швидкість різання в залежності від матеріалу і необхідної форми деталі.

Недоліки фрезерного різання і гравірування:

- висока вартість фрезерних станків і фрез;
- велика витрата матеріалу в залежності від складності деталей і числа підходів фрези до заготовки;
- обмежений ресурс роботи ріжучого інструменту (фрези).

Фрезерні верстати з ЧПК – це є комп'ютерно-цифрові фрезерні верстати. Єдина відмінність полягає в тому, що фрезерний верстат рухається не лише по одній осі, але він може рухатися по декількох осях і тим самим створювати різні типи фігур, прорізів, а також отворів. Фрезерні пристрої з ЧПК мають різні осі, на яких вони працюють. Вісь X і Y використовується для позначення горизонтального руху, тобто руху з боку в бік, коли площина рівна. Вісь Z призначена для руху вгору і вниз або вертикального руху. W – діагональний вертикальний рух. Фрезерні верстати з ЧПК мають від 3 до 5 осей, на яких вони працюють.

1.4 Матеріали для фрезерування

Фрезерна обробка дерева має особливості залежно від щільності деревини. Найбільшу цінність мають тверді породи деревини. Вироби з них довговічні та красиві, завдяки міцності та дивовижній фактурі цього природного матеріалу. При обробці на фрезерних верстатах заготовок з твердих порід слід уважно стежити за швидкістю руху ріжучого інструменту (фрези), оскільки при її збільшенні страждає якість поверхні (за рахунок появи зачіпок). Проте, на початкових етапах висока швидкість допускається, а незначні недоліки усуваються під час фінальної стадії фрезерування. При роботі з твердою деревиною завжди враховується, в якому напрямку відбувається різання – вздовж або поперек волокон. Для того, щоб згладити цю відмінність, використовуються спеціальні фрези. Вартість виробів із бука, ясені чи акації досить висока. Це зумовлено цінністю самого матеріалу та значними енерговитратами на його обробку.

Обробка на фрезерних верстатах м'яких порід деревини трохи складніша, оскільки будь-яка фреза має незначний люфт, завдяки чому створення складних геометричних фігур та вирізування гострих кутів – завдання, що потребує мінімальної швидкості обробки та створення максимально точної 3D-моделі. Крім того, потрібна наявність складної програми, що містить кілька сотень вкладень для точного визначення позицій фрези.

При обробці м'якої деревини на фрезерних верстатах утворюється дрібний ворс, який потрібно постійно і сумлінно видаляти. Спільно ці особливості призводять до зниження продуктивності випуску готових виробів. Загалом фрезерне різання дерев'яних виробів на верстатах з ЧПУ зробило реальністю виготовлення найскладніших декоративних елементів меблів, сувенірної продукції, дерев'яних сходів, колон з балясинами, унікальних ікон та іконостасів та багато іншого[4]. На рисунку 1.15 зображено приклад обробки дерева за допомогою фрезерування.

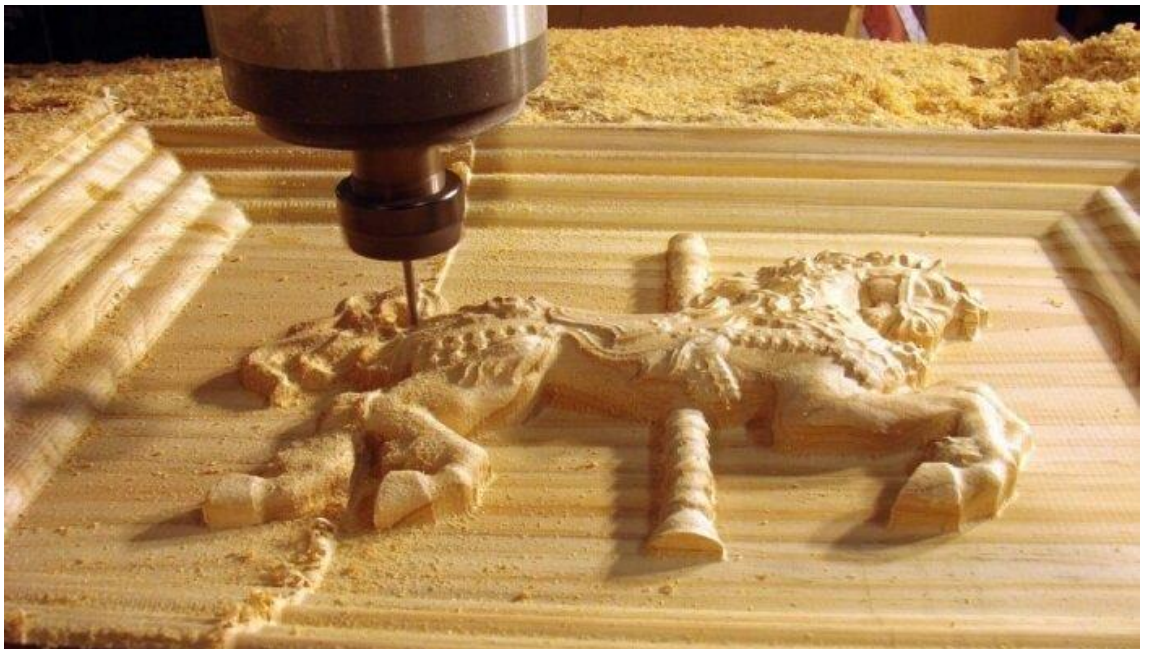


Рисунок 1.15 – обробка деревини

Обработка МДФ і ДСП дещо відрізняється від обробки дерева. Обидва будматеріали є побічними продуктами деревообробної промисловості, які знайшли найширше застосування у меблевому виробництві. Основна їхня

перевага – менша вартість у порівнянні з цілісним масивом дерева. Деревностружкова плита. Виготовляється з досить великої тирси, спресованої і склеєної між собою смолами на основі формальдегідних сполук. Найчастіше ДСП покривають ламінатом. У такому вигляді плита застосовується для виготовлення меблів та декоративних панелей. Дрібнодисперсна фракція. Тут тирса, що йде на виготовлення плит, набагато менше стружки, що застосовується для ДСП.

Фракції з'єднуються між собою не синтетичними засобами, що клеять, а за допомогою парафіну та інших натуральних матеріалів. Таким чином, МДФ повністю екологічна, і не становить загрози здоров'ю. Зовні ДСП та МДФ дуже легко відрізнити. У першому випадку на зрізі буде добре помітна велика тирса, а в другому перед поглядом постане практично однорідна речовина. Ця різниця і визначає придатність матеріалів для обробки: МДФ фрезерування зустрічається всюди, а ось візерунки на деревинно-стружковій плиті явище дуже рідкісне. Підсумовуючи, необхідно зазначити, що виграючи за вартістю, ДСП помітно поступається дрібнодисперсній фракції у своїх фізичних властивостях. По-перше, це зміст формальдегіду. По-друге, цей матеріал слабо утримує шурупи та інші скріплюючі елементи. По-третє, така плита має низьку еластичність, отже, зовсім не підходить для вирізування складних візерунків та орнаментів. Тим не менш, ЛДСП піддають фрезерування, використовуючи спеціальні ріжучі інструменти, які не допускають сколів ламінату. Головні проблеми, з якими стикається майстер при обробці цього матеріалу – неоднорідність та твердість поверхні.

Таким чином, найбільш доцільно проводити процедуру на верстатах ЧПУ, які мінімізують людський фактор. Фрезерування ДСП (Київ) проводиться за допомогою компресійних фрез із твердого сплаву. Діаметр таких інструментів повинен становити щонайменше трьох міліметрів. Спроби використання непрофільних різців призведуть до пошкодження плити, зробивши непридатною для подальшого застосування. Вартість роботи формується виходячи зі складності та обсягу роботи, а також типу

оброблюваного матеріалу. Так як деревно-стружкова плита неоднорідна за структурою, а наявність смол надає матеріалу високу твердість. В даному випадку необхідно використовувати фрезу підвищеної міцності, яка дуже швидко зношується. Враховуючи дані умови, вартість обробки ДСП вища порівняно з фрезеруванням натурального дерева або МДФ[5].

Пластмаса - це те, що легко деформується і крихкий матеріал, але разом з тим він легко піддається обробці, зокрема, різання на фрезерному верстаті.

Фрезерний верстат з ЧПУ за заданою програмою здатний надати пластику будь-яку форму, обробити виступи та западини, вирізати геометричні отвори, наносити малюнки та написи, вирізати складні рельєфи. Заготовки із пластику можуть бути будь-якими: прутками квадратного або круглого перерізу, листами різного розміру та товщини, а також у вигляді стандартного профілю. Однак, фрезерній обробці краще піддавати пластик, отриманий литтям, так як у нього більш висока температура плавлення.

Розрізняються такі види фрезерування пластику на фрезерному верстаті з ЧПУ:

- торцеве фрезерування, з якого обробляються найбільші (основні) поверхні пластикової заготовки. Головна перевага торцевого фрезерування пластику полягає в отриманні зрізу ідеальної якості. Можна отримати матову, глянсову чи дзеркальну поверхню торцевого зрізу. Краї та кромки зрізу мають естетичний вигляд, без сколів та вм'ятин, до того ж колір пластику не змінюється. Найчастіше застосовуються фрези з кутом 45 градусів, але також можуть застосовуватися фрези з круглими пластинами, дискові, тристоронні та кінцеві фрези;

- фасонне фрезерування пластику застосовується для вирізування складного профілю (наприклад, спіралей, шестерень, зубів тощо). Спеціальні фасонні фрези можуть надати деталі потрібної форми без копіра;

- Кінцеве фрезерування пластику застосовується для отримання пазів, канавок, виступів, кишень тощо;

- гравірування дозволяє наносити на пластик тексти, логотипи та

орнаменти. Для яскравішого ефекту гравіювання використовується спеціальний двошаровий пластик, обидва шари якого різні за кольором. Гравіювання виконується лазером, отже, пластик не розплавиться і деформується.

Для фрезерування пластику найбільш підходящими є однозахідні (однозубі) фрези – при їх використанні створюються оптимальні умови для відведення стружки та тепла із зони зрізу, що позитивно позначається на якості фрезерування.

Великим мінусом використання фрезерного обладнання для обробки пластику є швидке зношування ріжучої оснастки, тому рекомендується застосовувати твердосплавні, високовуглецеві або швидкорізальні фрези з заточуванням лез під малим кутом.

Пластикові заготовки рекомендується обробляти на великих швидкостях при зменшеній величині подачі, але при цьому треба враховувати, що занадто велика швидкість може призвести до обгоряння краю пластику. Не рекомендується застосовувати СОР для охолодження частин інструменту, що труться. Охолодження можна проводити лише струменем повітря або інертного газу.

Поліуретани відносяться до групи синтетичних органічних полімерів. Завдяки широкому спектру властивостей міцності і відносної легкості (малої щільності), поліуретани знаходять дуже широке застосування в промисловості. Стійкість до хімічного впливу та знакозмінних навантажень дозволяє використовувати поліуретан для виробництва ущільнювачів та ізоляторів різних вузлів машин та механізмів. У спіненому стані «пінополіуретан» широко використовується в будівництві (як утеплювач), в легкій промисловості (як шумоізолятор, м'який наповнювач для меблів, автокрісел). Сучасні варіанти пінополіуретанових плит використовуються як оздоблювальні матеріали, для формування інтер'єру, створення архітектурних макетів тощо [6].

Широке поширення поліуретанових виробів пояснюється як цінними фізичними властивостями, а й легкою обробкою різанням (майже без відходів і пилу). Причому різання поліуретану успішно може здійснюватися як ручним

інструментом, і автоматичними верстатами. Застосування фрезерного обладнання з ЧПУ дозволяє забезпечити високу якість готових виробів за інтенсивного темпу випуску.

Одним з головних недоліків поліуретану є порівняно вузький температурний діапазон ефективного використання (від -60°C до $+80^{\circ}\text{C}$). Це властивість призводить до певних труднощів при контактної механічної обробки різанням. Так, при фрезеруванні на відносно високих швидкостях, поліуретанова стружка схильна налипати на ріжучі кромки фрези і «намертво» забивати стружковідвідні канавки. Для вирішення цієї проблеми зазвичай рекомендується змінити режим обробки, дотримуючись оптимального співвідношення частоти обертання шпинделя та подачі інструменту (при малій подачі та великих обертах спостерігається підплавлення матеріалу). Неприємний ефект підплавлення є також при обробці затупленою фрезою, або інструментом з порушеною геометрією. Найчастіше обробка поліуретанів здійснюється двозахідними сферичними конусними фрезами. Однак найкращий ефект спостерігається при використанні фрези спеціальної конструкції (зі щетинистим наконечником – неофіційна назва кукурудза).

Модельний пластик є одним з різновидів поліуретану. Останнім часом широкого поширення набули дошки або панелі різної щільності та структури, а також спеціальні мастики, що наносяться в рідкому стані, а потім механічно оброблювані після затвердіння. Модельний пластик легко піддається обробці, практично не утворює пилу в процесі різання, а також має високу твердість.

Модельний пластик застосовується для створення об'ємних макетів та дизайн-конструкцій. Поверхня пластику відрізняється точністю геометричних розмірів та малою шорсткістю поверхні. При необхідності поверхня може фарбуватись, проте навіть чистового етапу фрезерування на верстаті з ЧПУ достатньо для отримання безшовної, рівної та гладкої поверхні.

Застосування модельного пластика не обмежується створенням макетів та моделей. Легко обробляється на фрезерному верстаті з ЧПУ, модельний пластик відмінно підходить для отримання форм, матриць та майстер моделей.

Застосування фрезерного обладнання з ЧПУ дозволяє забезпечити високу точність готового виробу, а також спростити технологічний ланцюжок виробництва матриць (виключити лиття). Після обробки поверхня пластикової моделі добре піддається поліруванню (звичайною шкіркою) майже до дзеркальної гладкості.

Для виробництва декору, елементів фасаду чи художніх скульптурних панно часто застосовується щільний пінопласт. При цьому механічна обробка складає глибину від 40 до 60 мм з точністю 1 мм. Оскільки твердість пінопласту дуже невелика, механічна обробка різанням не становить жодних труднощів. Навіть фрезерування на значну глибину (до 70 мм) здійснюється за один прохід за помірних режимів різання. Однак, як і у випадку з поліуретаном, для якісної обробки пінопласту необхідно ретельно стежити за гостротою заточування ріжучого інструменту. Фреза, що затупилася, не стільки ріже, скільки плавить матеріал, що призводить до гарантованої псування заготовок.

Тому як інструмент найкраще використовувати кінцеву однозахідну фрезу (при використанні двозахідної фрези нерівномірне зношування одного з ріжучих зубів може викликати вібрацію інструменту, а навіть малі биття значно погіршують якість обробки податливого матеріалу, подібного до пінопласту).

Незважаючи на те, що фрезерні верстати з ЧПУ є дуже універсальним обладнанням і чудово справляються з обробкою широкого спектру матеріалів, для розкрою та фігурного різання пінопласту випускаються спеціалізовані верстати. За конструкцією таке обладнання дуже схоже на фрезерне з ЧПУ, але замість фрези для різання пінопластових заготовок використовується розжарена вольфрамова, ніхромовая або титанова нитка, а її пересуванням також «керує» контролер ЧПУ. Відповідно, програмою для обробки може виступати графічний ескіз, що дозволяє використовувати дане обладнання для фігурного різання складного профілю [7].

Головним недоліком спеціальних верстатів для обробки пінопласту є обмеження рухливості ріжучої нитки щодо заготівлі поверхні. Це ускладнює або унеможлиблює отримання об'ємних заготовок з пінопласту (наприклад,

матриць або 3D-моделей). У цьому відношенні навіть «бюджетна» модель 3-х координатного фрезерного верстата з ЧПК є кращою. Спеціалізований верстат, за рахунок меншої вартості логічно застосовувати там, де потрібно розкрий і різання пінопласту (у тому числі фігурна) з гарним ступенем якості[8].

Склотекстоліт – це шаруватий матеріал, що складається з полотен склотканини, склеєних між собою органічними та неорганічними сполуками шляхом гарячого пресування. Властивості склотекстоліту:

- електроізоляція завдяки шаруватій структурі, склотекстоліт – чудовий діелектрик;
- стійкість до вібраційних навантажень (з цієї причини склотекстоліт часто застосовують для виробництва елементів механізмів, що рухаються);
- стійкість до деформації (малий показник лінійного розширення);
- вологостійкість (що корисно для захисту мікросхем та електронних плат);
- питома в'язкість склотекстоліту паралельно шарам полотен;
- еластичність, схильність до обробки;
- шумоізолюючі властивості;
- негорючість та стійкість до температурних перепадів тощо.

1.5 Висновки до розділу

У даному розділі було розглянуто види обробки матеріалів. Розглянуті переваги фрезерної обробки матеріалів, а саме: здатність обробляти не тільки листові заготовки, а також і об'ємні заготовки; великий діапазон оброблювальних матеріалів; здатність виготовляти заготовки з великими габаритами (в залежності від верстата); виготовлення деталей складних форм. Також були проаналізовані види фрезерних верстатів, їх переваги та недоліки.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

2.1 Кінематика фрезерних станків

Будь-який верстат, оснащений блоками ЧПУ, має робочі органи, яким за допомогою керуючих програм повідомляються певні рухи, що залежать від характеру виконуваних робіт. У процесі експлуатації пристроїв використовуються стандартні кінематичні схеми. Кінематична схема верстата з комп'ютерним управлінням складається з декількох кінематичних ланцюгів, кожна з яких включає кінематичні пари і ланки. Термін кінематична ланка визначає деталь верстата (або в деяких випадках група деталей, жорстко з'єднаних між собою), пов'язана з іншими вузлами пристрою. Кінематичними ланками прийнято вважати:

- зубчасті колеса верстата;
- ходові гвинти;
- шківни.

Незважаючи на величезну кількість різноманітних верстатів та різноманітність конструкцій, рухи робочих органів у них багато в чому схожі. Це полегшує процес вивчення таких пристроїв і уможливорює створення єдиної для всіх методик налаштування[9].

Кінематичне налаштування верстата – встановлення та визначення кінематичних зв'язків між його окремими вузлами для отримання заданого відносного руху деталі, що піддається обробці, та безпосередньо ріжучого інструменту. Рухи у верстатах із ЧПУ діляться на два типи:

- основні;
- допоміжні.

Так і кінематичні типи, призначені для реалізації цих рухів, зветься основних і допоміжних. До основних відносять рухи різання та подачі. Головний рух може бути обертальним типом або зворотно-поступальним. Рух

подачі також буває, залежно від мети, прямолінійним чи обертальним. Кінематичний ланцюг головного руху забезпечує задану швидкість різання (V), яка вимірюється в м/хв.

Швидкість подачі позначається буквою S і може вимірюватися в міліметрах:

- на 1 зуб (для багатозубих інструментів);
- на 1 оборот деталі;
- за хвилину у разі хвилинної подачі;
- на 1 подвійний хід.

Під допоміжними рухами розуміються ті, які не беруть участь у процесі різання та формування деталей, але потрібні для того, щоб безперешкодно встановлювати та знімати оброблювані деталі, підводити та відводити робочі інструменти, автоматизувати систему управління пристроєм, контролювати розміри та якість впливу на поверхню.

У деяких верстатах із ЧПУ окремо виділяються також спеціальні рухи, які притаманні лише одному типу верстатів. Наприклад, у процесі виробництва зубчастих коліс за технологією обкату в кінематичну схему додаються рухи розподілу та обкату, що забезпечують утворення необхідного зубчастого вінця у оброблюваної заготовки. При формуванні кінематичних схем основне значення мають кінематичні групи. Вони включають:

- джерело виникнення руху (двигуни різних типів);
- органи, що відповідають за виконання (ланки, які беруть безпосередню участь у формуванні траєкторії виконавчого руху. До них відносять шпинделі, супорти, робочі столи тощо);
- органи налаштування рухових параметрів (коробки швидкостей, варіаторні установки та ін.)[10].

У кінематичну схему фрезерного верстата з ЧПУ включають:

- Шпиндель. Він складається з декількох вузлів (корпусу, частини, що обертається, декількох підшипників, затискаючих пристроїв, системи охолодження і обдування, балансирів і ін.);

– Осі. Відповідають за переміщення по заданим керуючим блоком координат. Найчастіше використовується декартова система координат, що передбачає наявність трьох осей Y, X та Z;

– Контролер. Є електронним мозком верстата з ЧПУ, в якому знаходиться вся керуюча електроніка, що відповідає за рух щодо координатних осей. Пристрій призначений для прийняття G-коду та команд, що віддаються оператором верстата з ЧПК;

– Затяжний гвинт. Цей елемент призначений для фіксації допоміжних інструментів у шпинделі пристрою. Від того, наскільки якісно закріплений робочий інструмент, залежить рівень обробки деталі. Якщо ніж закріплений неправильно – це може призвести до псування матеріалу та поломки верстата.

Верстати з числовим програмним управлінням, призначені для токарних робіт, відрізняються підвищеним коефіцієнтом жорсткості, що забезпечується за рахунок обтяжених напрямних та шпинделів. Це допомагає нейтралізувати ефект від впливу моменту, що крутить, під час обробки деталей і пов'язаного з цим підвищенням навантаженням. У кінематичну схему входять:

– напрямні. На відміну від обладнання фрезерного типу, направляючі токарних верстатів слід надійно закріпити, при їх установці повинен бути виключений навіть мінімально можливий зсув;

– ходовий гвинт. У токарних верстатах використання стандартних ходових гвинтів є неефективним, тому в пристроях з блоком ЧПУ використовуються кулькові гвинти реверсивного типу. Такі деталі забезпечують заміну тертя ковзання на тертя кочення. Ефективність вузла такого типу сягає 90%.

Перевагами є:

– збільшення терміну експлуатації; зниження опору до тертя; порівняно нижчий обертальний момент;

– станина верстата;

– шпиндель та ріжучі інструменти;

Таким чином, класична кінематична схема універсального токарного

верстата включає:

- станину пристрою;
- передню бабку, яка компонується шпindelним вузлом та коробкою швидкостей;
- задню бабку, яка призначена для підтримки кінця заготовок надмірної довжини та забезпечення жорсткості системи;
- фартух, де розташовуються керуючі органи;
- супорт, який служить для переміщення різального інструменту щодо закріпленої заготовки;
- фрези.

2.1.1 Кінематика CoreXY

CoreXY багато в чому повторює H-Bot, але відрізняється наявністю двох зубчастих ременів. Найчастіше професійні верстати компонуються за цими кінематичними схемами. З різної схеми установки ременів впливають основні різниці між H-Bot і Core-XY. У H Bot зусилля, що переміщують балку осі X по осі Y можуть перекосити її, після чого конструкція потребуватиме відновлення. У зв'язку з цим, кріплення балки осі X і сам її профіль повинні бути якісними і добре продуманими, що в кінцевому підсумку позначається на витратах при виробництві принтера [11].

У Core-XY ця проблема відсутня. ще одне вразливе місце цих кінематик – зубчасті ремені. Через велику довжину, класичні ремені GT2-6 можуть помітно розтягнутися за невеликий проміжок робочого часу, що безсумнівно позначиться на якості друку та працездатності принтера. Цей момент більше відноситься до кінематики H-Bot, тому що там використовується один дуже довгий зубчастий ремінь, протягнутий через всю конструкцію.

Однак при масштабуванні габаритів всього механізму збільшення обсягу робочої камери, в якийсь момент ця проблема може з'явитися і на Core-XY. Там теж використовуються досить довгі зубчасті ремені, хоч і коротші, порівняно з H Bot. У результаті, при масштабуванні таких кінематик варто приділити

особливу увагу підбору відповідного зубчастого ременя, щоб при роботі він не провисав і зміг прослужити досить довгий час. На рисунку 2.1, зображено схему роботи CoreXY.

Переваги конструкції:

- висока жорсткість конструкції;
- висока точність обробки при певній швидкості;
- рівномірна якість обробки в будь-якому місці робочого простору;
- відсутність інертності, що викликається рухом столу;
- легше упакувати в захисний кожух та термокамеру;

Недоліки конструкції:

- досить великі габарити;
- висока вартість;
- складний ремонт;
- схильність до перекосів каретки.

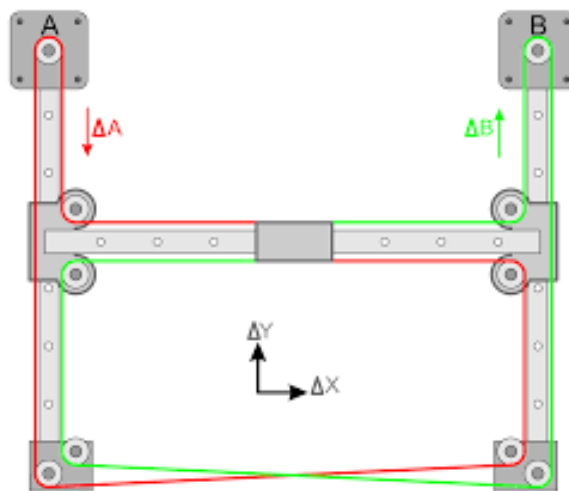


Рисунок 2.1 – Схема CoreXY

2.1.2 Кінематика H-bot

Кінематика H-bot найбільше схожа на кінематику CoreXY. Тільки на відміну від CoreXY в H-bot застосовується тільки один зубчатий ремінь. Принцип її роботи заключається в наступному. Стіл переміщається тільки вгору або вниз по осі Z. Фреза переміщається по осі x та y за допомогою зубчастого

ремня який приводять в рух два двигуна. При роботі обох двигунів в один бік каретка рухається по осі X, в різні боки - по осі Y. Коли один з двигунів залишається нерухомим, каретка переміщається по діагоналі. В даному випадку ремінь натягнутий за формою, що нагадує обведену за контуром букву Н, за що схема отримала назву H-bot. На рисунку 2.2, зображено схему роботи кінематики H-bot[12].

Для проектування фрезерного верстату було обрано саме кінематичну схему H-bot. Порівняно з іншими кінематиками H-bot найкраще підходить для роботи з друкованими платами.

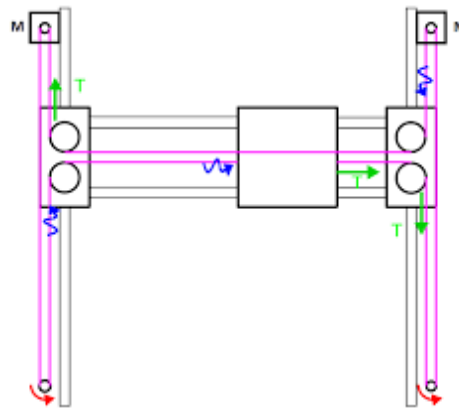


Рисунок 2.2 – Кінематика H-bot

Переваги кінематики H-bot порівняно з другими:

- низька собівартість порівняно з Ultimaker та CoreXY;
- робота двох двигунів розподіляє навантаження на ремінь рівномірно;
- зносостійкість двигунів набагато більша;
- хороша якість обробки при досить високій швидкості;
- крокові двигуни розташовані на корпусі;
- за рахунок того, що використовується не довгий ремінь, він менш схильний до розтягування;
- простий в проектуванні;
- не великі габарити;
- зручний доступ до всіх вузлів.

2.2 Вибір комплектуючих та будовання 3D-моделі

Виходячи з вище указаної кінематичної схеми H-bot, рисунок 2.2, було зроблено підбір комплектуючих для збору макета. Для пересування каретки по осі x використовується два крокових двигуна Nema 17, рисунок 2.3. Для того, щоб каретка рухалась по осі x потрібно аби двигуни працювали одночасно в різних напрямках, один за годинниковою стрілкою, а інший навпаки. Каретка рухається за допомогою зубчастого ремня прямо по осі x завдяки двом направляючим валам, які мають діаметр 10мм, жорстко закріплені на станині за допомогою чотирьох опорів вала. Каретка закріплена на направляючих валах за допомогою чотирьох лінійних підшипників LM10UU, рисунок 2.10.

По краях направляючих валів також стоять лінійні підшипники для напрямлення ремня.



Рисунок 2.3 – Двигун Nema 17

Для того, щоб каретка рухалася по осі y потрібно аби один двигун знаходився в стані спокою, а інший працював за часовою стрілкою або проти, в залежності від потрібного напрямку каретки. Вона закріплена на двох направляючих валах по осі y за допомогою опорів вала, рисунок 2.7. На верхньому валі встановлено два лінійних підшипника, а на нижньому один[13]. Вал по осі y діаметром 8мм. 3D модель з'днання каретки та направляючих валів зображено на рисунку 2.4.

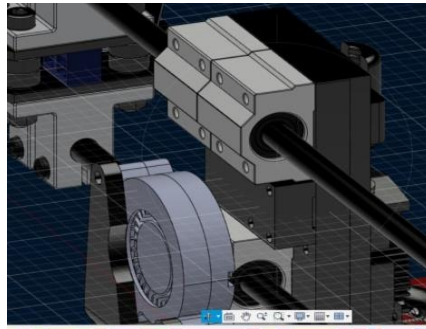


Рисунок 2.4 – З'єднання каретки та направляючих валів

Двигуни для руху по осях x та y встановлюються на рама верстату та закріплюються за допомогою кронштейнів, надрукованих на 3D-принтері, рисунок 2.5.

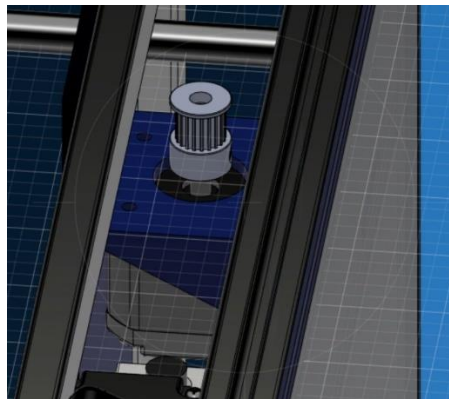


Рисунок 2.5 – 3D-модель двигуна осей x та y

Характеристики шагового двигуна NEMA17 17HS4401 (42мм):

- біполярний, чотирьох приводний;
- вал діаметром 5 мм, одна фаска;
- шаг $1,8^\circ$;
- максимальний струм обмотки 1,68 А;
- опір обмотки $2,7 \text{ Ом} \pm 10\%$;
- індуктивність $3,2 \text{ мГн} \pm 20\%$;
- момент утримання $0,45 \text{ Н}\times\text{м}$;
- обертальний момент $2,8 \text{ Н}\times\text{см}^2$;
- максимальна робоча температура 80 C° ;

- розміри 42×42×40 мм, фланець NEMA17;
- вага 300 г.

Двигун Nema 17 був обраний для обробки таких матеріалів як алюміній, дюраль, пластик, дерево.

До переваг даного крокового двигуна можливо зазначити:

- відносно високий момент утримання;
- можливість задавати потрібний кут повороту вал двигуна;
- висока точність кроку;
- висока швидкість старту, зупинки та змінна напрямку обертання;
- не потребує зворотного зв'язку для точного позиціонування;
- висока надійність.

На рисунку 2.6 зображено 3D-модель з'єднання направляючих валів за допомогою опор для вала в яких знаходяться лінійні підшипники та залізних куточків розміром 40×40 мм та товщиною 3 мм.

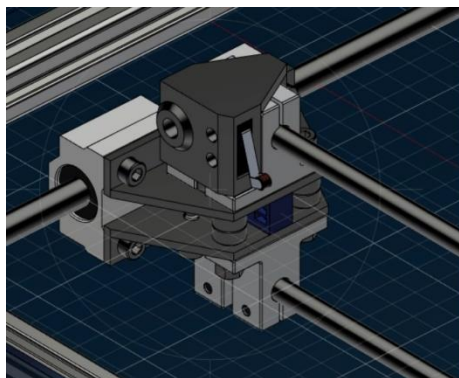


Рисунок 2.6 – З'єднання направляючих валів

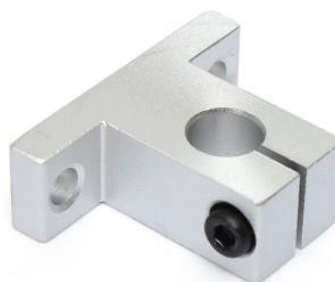


Рисунок 2.7 – Опора вала для осей X, Y та Z



Рисунок 2.8 – Направляючий вал осі X

Характеристики валу:

- матеріал: сталь С45 чи СК55;
- твердість поверхні валу: HRC 60-64;
- діаметр: 10 мм.

На рисунку 2.9, зображено лінійний підшипник який встановлений в опорі для направляючого валу. Така схема з'єднання у всіх вузлах макету[14].

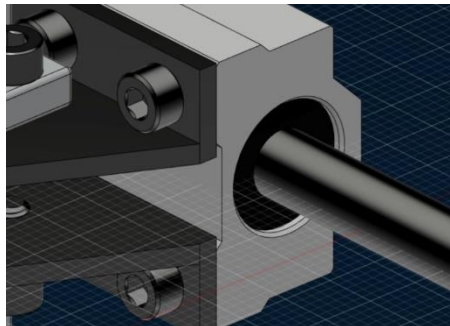


Рисунок 2.9 – З'єднання лінійного підшипника



Рисунок 2.10 – Лінійний підшипник LM10UU

Характеристики:

- внутрішній діаметр 10 мм;
- зовнішній діаметр 19 мм;
- довжина 29 мм.

Для руху столу по осі z використовується кроковий двигун Nema 17. Він приводить в рух різьбовий вал T8*2мм, рисунок 2.12, на якому встановлена гайка, що і рухає стіл ввєрх або вниз. Стіл тримається за допомогою двох направляючих валів і закріплений на них за допомогою лінійних підшипників.

На рисунку 2.11, зображено модель двигуна Nema 17, двох направляючих валів та різьбовий вал.

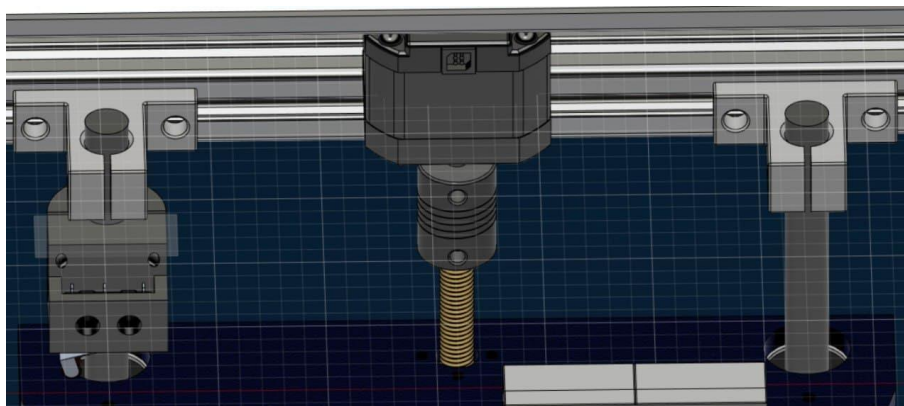


Рисунок 2.11 – 3D модель роботи підняття столу по осі z



Рисунок 2.12 – Різьбовий вал T8*2мм

2.3 Підбір електроніки для макету

Механічний вимикач MKS v1.2, рисунок 2.13, працює для приведення в роботу двигуна, що керується за допомогою драйвера DRV8825, рисунок 2.14.



Рисунок 2.13 – Кінцевий механічний вимикач MKS v1.2

Характеристики:

- розміри: 40×16×7 мм;
- довжина кабелю: 70 см;
- кількість пін кабелю: 3;
- розташування кінцевика: на платі;
- вага плати вимикача: 3 г;
- вага комплекту: 12 г;

Кінцевик має три контакти:

- V – це плюс живлення на рампі підписано «+»;
- G – це мінус живлення на рампі підписано «-»;
- S – це сигнал живлення на рампі підписано «S».

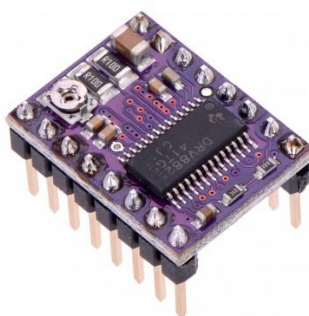


Рисунок 2.14 – Драйвер DRV8825

Основні особливості:

- просте управління кроком та напрямком обертання двигуна;
- можливість використовувати як повний крок, так і поділ кроку на мікрокроки: 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32;

- регулює струм, що подається на обмотки двигуна, за допомогою змінного резистора опорної напруги;
- можливість використання джерела живлення для двигунів від 8,2 до 45 В;
- вбудований регулятор напруги для логічного ланцюга. Можливість підключення до логіки як 3,3, так і 5 В;
- захист від перегріву (відключення при нагріванні драйвера 150 градусів).

Управління макетом відбувається за допомогою друкованої плати MKS, рисунок 2.15, яка програмується за допомогою ПК. До неї підключаються кінцевий механічні вимикачі.



Рисунок – 2.15 Плата MKS

Двигуни Nema17 в роботу приводить блок живлення потужністю 350 Вт, рисунок 2.16. До блоку приєднується три кінцевих механічних вимикача MKS v1.2, для кожного двигуна окремо. Він кріпиться на станині та підключається до мережі 220В[15].



Рисунок 2.16 – Блок живлення на 350Вт

В якості робочого інструменту буде використовуватися мало потужний шпиндель з живленням 12 В, рисунок 2.17.



Рисунок 2.17 – Шпиндель фрезерного верстата

Характеристики шпинделя:

- швидкість обертання (холостого ходу): 3500-9000 об/хв;
- робоча напруга 12-36 (номінальна – 24 В);
- робочий струм (холостого ходу) 0,14 – 0,2 А;
- матеріал корпусу, метал;
- розмір валу 5×17 мм;
- загальний розмір 98× 45 мм;
- вага 340 г.

2.4 Висновки до розділу

У даному розділі були розглянуті види кінематик, їх переваги та недоліки. На основі аналізу була обрана кінематика H-Bot за такі переваги:

- низька собівартість порівняно з Ultimeker та CoreXY;
- робота двох двигунів розподіляє навантаження на ремінь рівномірно;
- зносостійкість двигунів набагато більша;
- хороша якість обробки при досить високій швидкості;
- за рахунок того, що використовується не довгий ремінь, він менш схильний до розтягування;
- простий в проектуванні;

- не великі габарити;
- зручний доступ до всіх вузлів.

Виходячи з отриманої інформації була створена 3D-модель верстата в програмі Fusion 360 та обрані комплектуючі.

3 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 План проведення дослідження

Виходячи зі сказаного ранні в процесі фрезерного гравірування та різання одними з основних параметрів що впливають на якість виробу є:

- швидкість різання матеріалу ;
- швидкість занурення в матеріал;
- кут заточки фрези;
- кількість обертів шпинделя;
- фізичні властивості матеріалу.

Під фізичними властивостями матеріалу нас цікавить його анізотропія (однорідність матеріалу). Цей параметр дуже важливий при обробці дерева, оскільки дерево має волокнисту структуру і щільність волокон може бути вище або менше, на різних ділянках заготівлі.

Якщо не враховувати дану особливість матеріалу, то при неправильному виборі швидкості обробки або кількості обертів шпинделя з'являється можливість сколу та задимів або зламу фрези. Дані параметри грають велику роль при обробці більш ізотропних матеріалів, таких як: шкіра, пластик, акрил, гума[16].

Таким чином, суть досліджень полягає в виявленні найбільш відповідних значень параметрів фрезерної обробки, враховуючи такі параметри готового виробу, як:

- збереження зазначених геометричних розмірів зображення;
- глибина фрезерування ліній;
- наявність дефектів на поверхні заготовки.

В якості зразка був обраний матеріал СФ ДСТУ 10316-78 для виготовлення друкованих плат (ДП) та взята топологія ДП, яку можливо

оцінити не тільки геометричні розміри зображення а також електричні властивості, рисунок 3.1.



Рисунок 3.1 – Зразки для досліджень

Виходячи з технічних характеристик макета, була обрана наступна градація параметрів:

- швидкість різання від 30 до 120 (мм/хвилину) (зростанням 10 мм/хвилину кожне вимір);
- швидкість занурення в матеріал від 1 до 20 (мм/хвилину) (з ростом на 5 кожне вимір).
- кут заточки конічних фрези 10° , 15° , 30° , 60° , рисунок 3.2.



Рисунок 3.2 – Фрези для проведення дослідження

Для визначення залежності відхилень геометричних розмірів фрезерного гравіювання від технологічних параметрів в експерименті за допомогою ЧПК фрезерного верстата, рисунок 3.1, будь створені зразки топології друкованих плат (ДП), з різними значеннями обробки.

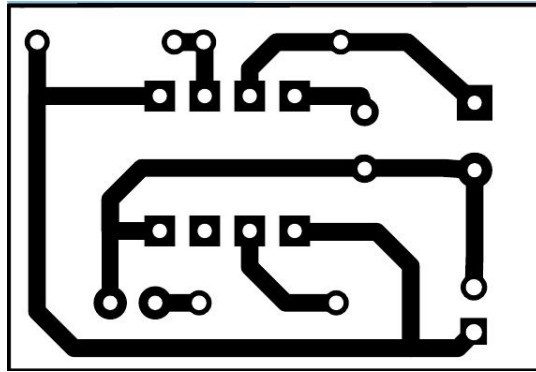


Рисунок 3.3 – Тестове зображення

Це зображені було вибрано виходячи з того що, в ньому присутні як і прямі так і криві лінії, що дозволить визначити на скільки сильно змінюються геометричні розміри тестового зображення з збільшенням швидкості.

Геометричні розміри зображення 64×44 мм, з шириною ліній провідників 3 мм. Для уникнення дефектів зображення і прискорення роботи програми для підготовки моделі, формат зображення був обраний векторний (*.svg). Це дозволить отримати більш плавні переходи в місцях нахилу малюнка та дозволить уникнути появи зайвих артефактів як при растровому зображенні, рисунок 3.4.

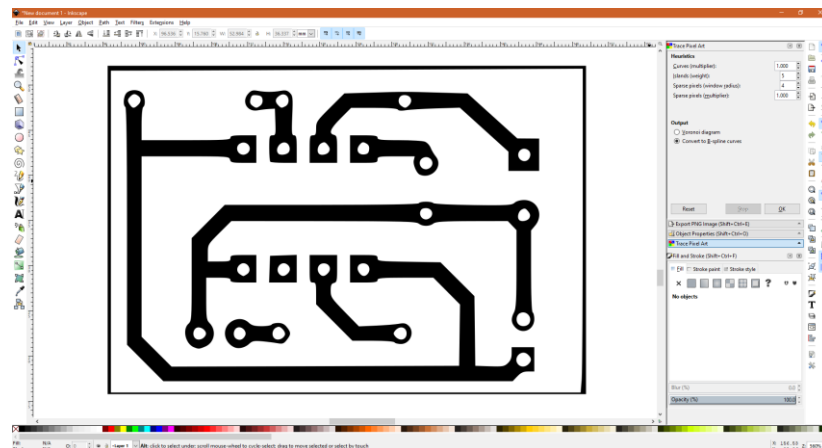


Рисунок 3.4 – Векторизація топології ДП в програмі Inkscape

Робота з макетом і тестовим зображенням буде здійснюватися через програму LaserWeb версії 4.0.996, рисунок 3.5.

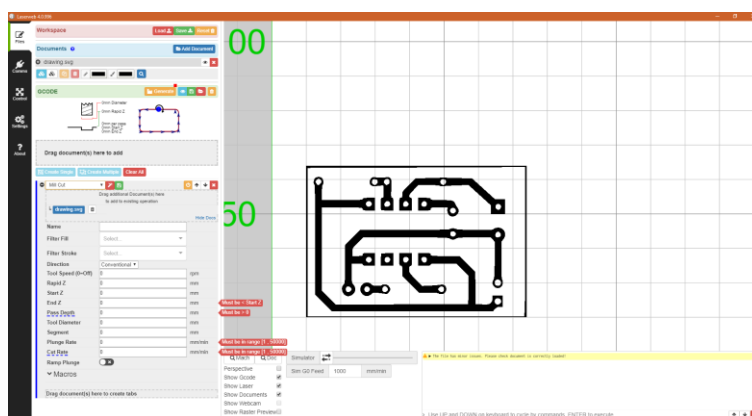


Рисунок 3.5 – Вікно програми для лазерного гравірування LaserWeb

Для генерування коду керування фрезерним верстатом (G-код), зображення буде оброблено через інструмент (Mill Cut) фрезерування по конуру, рисунок 3.6. Це дозволить прискорити процес виготовлення, та значно зменшить витрати часу на зразок, через те що буде зніматися мідна фольга заготівки тільки вздовж провідникових доріжок, а не всій заготівки.

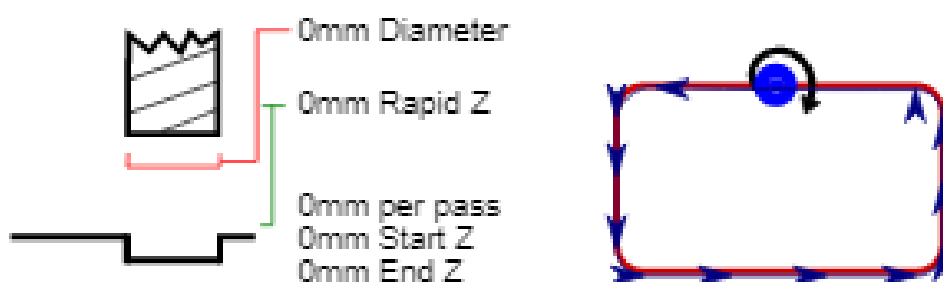


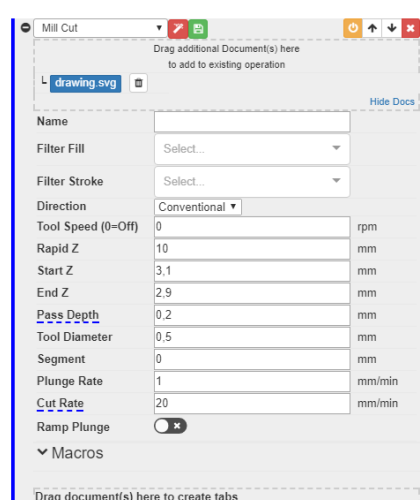
Рисунок 3.6 – Інструмент Mill Cut

Основними параметрами для фрезерної обробки включають:

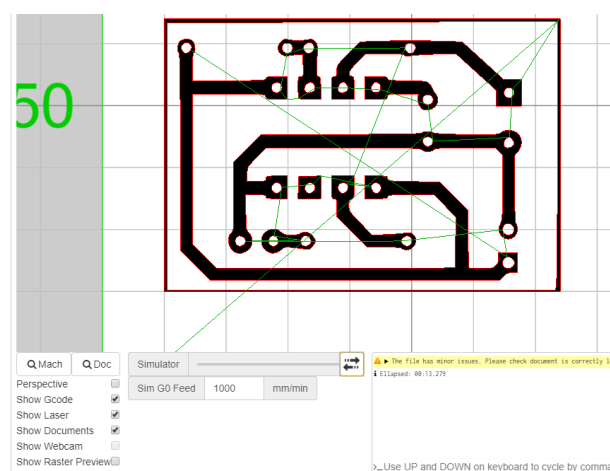
- Rapid Z – висота підйому фрези, мм;
- Start Z – початкова висота фрезерування, мм;
- End Z – кінцева глибина фрезерування, мм;
- Pass Depth – крок проходів, мм;
- Tool Diameter – діаметр фрези, мм;
- Plunge Rate – швидкості занурення фрези, мм/хв;
- Cut Rate – швидкість подачі, мм/хв;

– Tool Angle – кут заточування фрези, градусах.

Початкова висота фрезерування встановлюються 3,1 мм, це значення виходить з товщини заготовки та рівня столу фрезерного верстата. Кінцева глибина фрезерування 2,9 мм, щоб виділити мідну фольгу та дійти до стеклотекстоліту. Крок занурення в матеріал 0,2 мм, кількість проходів один. Швидкість різання, швидкість занурення, кут фрези та кількість обертів шпинделя будуть змінюватися від зразка до зразка, згідно плану дослідження, рисунок 3.7.



а)



б)

```

G21 ; Set units to mm
G90 ; Absolute positioning
G28 X Y
;
;
; Operation: 0
; Type: Mill Cut
; Paths: 33
; Direction: Conventional
; Rapid Z: 10
; Start Z: 3.1
; End Z: 2.9
; Pass Depth: 0.2
; Plunge rate: 1 mm/min
; Cut rate: 20 mm/min
;
; Retract
GO Z10.000
M106
; Path 0
; Rapid to initial position
GO X74.000 Y64.000
GO Z3.100
; plunge
G1 Z2.900 F1
; cut
G1 X10.000 Y64.000 F20
G1 X10.000 Y20.000
G1 X74.000 Y20.000
G1 X74.000 Y64.000
G1 X74.000 Y64.000
M107
; Retract
GO Z10.000

```

в)

а) налаштування параметрів фрезерування; б) симуляція фрезерування;

в) частина коду керування

Рисунок 3.7 – Створення G-кода для зразка

Після проведення всіх вимірювань на заготовці ДП буде зроблено геометричні виміри зображень, глибинний різання, візуальна оцінка на дефекти ліній і наявність всіх ділянок зображення, що дозволить проаналізувати результати і зробити висновок по результатам дослідження за допомогою пошуку середнього квадратичного відхилення та t-критерію Стьюдента.

Таким чином після закінчення серії дослідів буде отримано 200 зразків топології ДП, та виміряні їх відхилення розмірів від початкових заданих розмірів.

На основі чого буде побудована регресійна модель залежності відхилень геометричних розмірів від параметрів обробки.

3.2 Хід дослідження

Згідно з планом проведення експерименту було оброблено 200 зразків топології, рисунок 4.4.

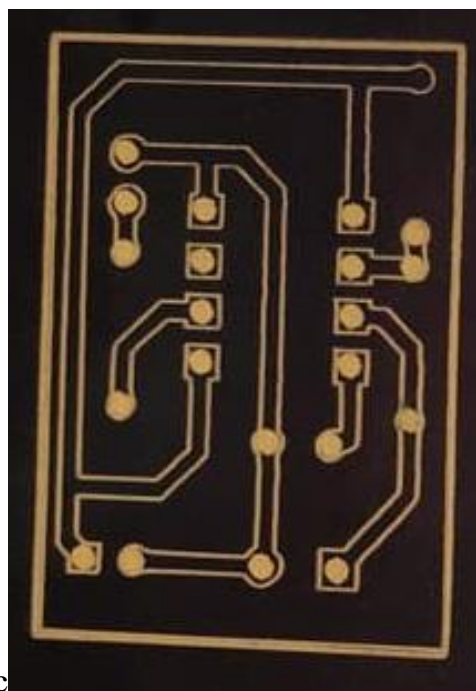


Рисунок 3.8 – Експериментальний зразок

Після чого були заміряні геометричні розміри кожного зображення, результати вимірювань в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань

	Матеріал СФ ДСТУ 10316-78									
	Кут заточки фрези 10°									
	Швидкість різання, мм/хв.									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Швидкість занурення, мм/хв.	Відхилення, мм									
1	0,0143	0,0147	0,0152	0,0158	0,0167	0,0175	0,0184	0,0192	0,0204	0,0211
5	0,0157	0,0162	0,0169	0,0174	0,0181	0,0189	0,0196	0,0207	0,0216	0,0224
10	0,0162	0,0169	0,0173	0,0182	0,0188	0,0194	0,0206	0,0214	0,0221	0,0227
15	0,0168	0,0174	0,0179	0,0188	0,0194	0,0202	0,0214	0,0219	0,0227	0,0234
20	0,0174	0,0182	0,0189	0,0196	0,0203	0,0214	0,0221	0,0231	0,0239	0,0246
	Кут заточки фрези 15°									
	Швидкість різання, мм/хв.									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Швидкість занурення, мм/хв.	Відхилення, мм									
1	0,0146	0,0152	0,0156	0,0164	0,017	0,0178	0,0191	0,0197	0,0206	0,0218
5	0,0161	0,0165	0,0173	0,0176	0,0186	0,0194	0,02	0,0213	0,0221	0,0229
10	0,0164	0,0172	0,0176	0,0187	0,0194	0,0198	0,0207	0,0216	0,0225	0,0231
15	0,0171	0,0177	0,0181	0,0191	0,0197	0,0205	0,0221	0,0217	0,0228	0,0234
20	0,0176	0,0186	0,0193	0,0201	0,0211	0,0216	0,0226	0,0233	0,024	0,0249
	Кут заточки фрези 30°									
	Швидкість різання, мм/хв.									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Швидкість занурення, мм/хв.	Відхилення, мм									
1	0,0151	0,0156	0,0163	0,0172	0,0178	0,0186	0,0198	0,0207	0,0214	0,0225
5	0,0167	0,0172	0,0179	0,0183	0,0192	0,0203	0,0204	0,0221	0,0228	0,0233
10	0,0172	0,0177	0,0183	0,0194	0,0199	0,0206	0,0213	0,0222	0,0233	0,024
15	0,0178	0,0183	0,0185	0,0198	0,0205	0,0215	0,0227	0,0231	0,0238	0,0246
20	0,0182	0,0193	0,0199	0,0204	0,0218	0,0224	0,0232	0,0244	0,0251	0,0259
	Кут заточки фрези 60°									
	Швидкість різання, мм/хв.									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Швидкість занурення, мм/хв.	Відхилення, мм									
1	0,0158	0,0165	0,0172	0,0181	0,0188	0,0193	0,0203	0,0212	0,0224	0,0233
5	0,0174	0,0179	0,0187	0,019	0,0201	0,0209	0,0216	0,0229	0,0234	0,0241
10	0,0181	0,0186	0,019	0,0203	0,0214	0,0219	0,022	0,0233	0,024	0,0248
15	0,0186	0,0192	0,0198	0,0206	0,0213	0,0223	0,0235	0,0241	0,0249	0,0252
20	0,0194	0,0204	0,0209	0,0213	0,0224	0,0232	0,0241	0,0252	0,0262	0,0268

для проведення базового лінійного регресійного аналізу параметрів експонування. Опис статистики (Descriptive Statistics) наведені в рисунку 3.9.

	Mean	Std. Deviation	N
Deviations	199,575	32,4204	200
Injection	10.2000	6.81116	200
Speed_XY	75.0000	28.79489	200
Speed_Z	28.7500	19.53447	200

Рисунок 3.9 – Опис статистики

Використовуючи розрахунки Model Summary^b (Зведення для моделі), отримано значення коефіцієнта детермінації R – 0,843. Це показник відповідності розрахованих моделлю значень (леніної регресії) та отриманих експериментальних результатів.

Значення R при повторному розрахунку дорівнює 0,843 що доводить, що кореляція отриманих та передбачених значень існує, рисунок 3.10.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	Change Statistics			Sig. F Change
						F Change	df1	df2	
1	.843 ^a	.711	.707	17,5558	.711	160.885	3	196	.000

a. Predictors: (Constant), Speed_Z, Speed_XY, Injection

Рисунок 3.10 – Зведення про моделі

Коефіцієнт множинної детермінації R^2 дорівнює 0,711. Це означає, що включені в систему параметри на 71,1% впливають на результат. Скоригований коефіцієнт R^2 дорівнює 0,707 або 70,7%. Стандартна помилка оцінки 0,0002681.

По таблиці ANOVA перевіряємо гіпотезу про рівність $R^2 = 0$. Так як рівень значимість $<0,05$, то підтверджує вірність попередніх результатів, рисунок 3.11. Власний коефіцієнт регресії 1,864.

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	148756.635	3	49585.545	160.885	.000 ^b
	Residual	60408.240	196	308.205		
	Total	209164.875	199			

a. Dependent Variable: Deviations

b. Predictors: (Constant), Speed_Z, Speed_XY, Injection

Рисунок 3.11 – Результати розрахунків значимості

Для визначення ваги кожної змінної скористаємося Beta-коефіцієнтом, які показують на скільки змінюється значення параметра від збільшення на одиницю одного з факторів. Для пошуку Beta-коефіцієнтів розрахунок буде проводитися за допомогою стандартизованих значень Z-балів.

Це необхідно для того щоб переконатися що стандартизовані значення і не стандартизовані збігаються, рисунок 3.12.

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part
1	(Constant)	111.835	4.345		25.741	.000			
	Injection	1.842	.183	.387	10.082	.000	.387	.584	.387
	Speed_XY	.828	.043	.735	19.157	.000	.735	.807	.735
	Speed_Z	.238	.064	.144	3.741	.000	.144	.258	.144

a. Dependent Variable: Deviations

Рисунок 3.12 – Результати розрахунків Beta-коефіцієнтів

Виходячи з рівня значущості коефіцієнтів можна порівняє, відрізнитися чи Beta-коефіцієнт даного фактору від нуля. В даному випадки все значення значущості $<0,05$ що доводить що всі фактори включені в модель вірно.

Результати кореляцій Пірсона факторів на відгук наведені на рисунок 3.13.

		Deviations	Injection	Speed_XY	Speed_Z
Pearson Correlation	Deviations	1.000	.387	.735	.144
	Injection	.387	1.000	.000	.000
	Speed_XY	.735	.000	1.000	.000
	Speed_Z	.144	.000	.000	1.000
Sig. (1-tailed)	Deviations	.	.000	.000	.021
	Injection	.000	.	.500	.500
	Speed_XY	.000	.500	.	.500
	Speed_Z	.021	.500	.500	.
N	Deviations	200	200	200	200
	Injection	200	200	200	200
	Speed_XY	200	200	200	200
	Speed_Z	200	200	200	200

Рисунок 3.13 – Результати розрахунків кореляції Пірсона

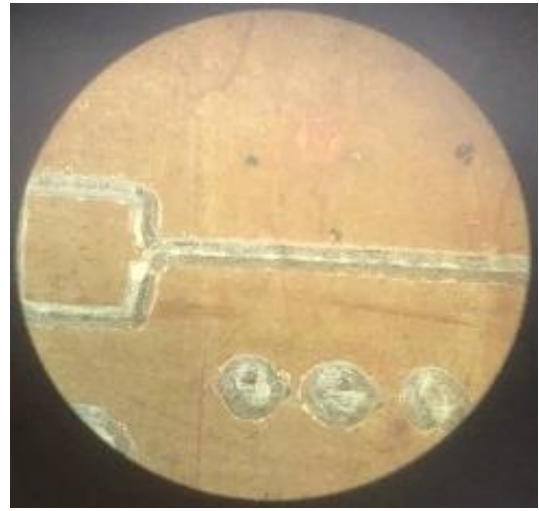
В ході проведення експериментів та побудови лінійної регресійної моделі, були отримані 200 зразків топологічних рисунків ДП.

Самим вдалим зразком ДП, при якому відхилення мінімальні можливо назвати зразки під номерами: 1; 2; 3; 4; 5 (при значеннях швидкості різання від 20 мм/хв до 40 мм/хв, та швидкості занурення в матеріал 5 мм/хв).

Також, якщо брати до уваги якість поверхні контурів після різання, можливо зробити висновок, що при збільшенні швидкості різня матеріалу збільшуються кількість задирів матеріалу на контурах, рисунок 3.13.



а)



б)



в)



г)

а) зразок при швидкості різання 20 мм/хв; б) зразок при швидкості різання 35 мм/хв; в) зразок при швидкості різання 45 мм/хв; г) зразок при швидкості різання 65 мм/хв;

Рисунок 3.13 – Контури топології при різних значеннях обробки

Графіки залежності впливу технологічних параметрів на геометричні розміри топології ДП наведені на рисунку 3.14.

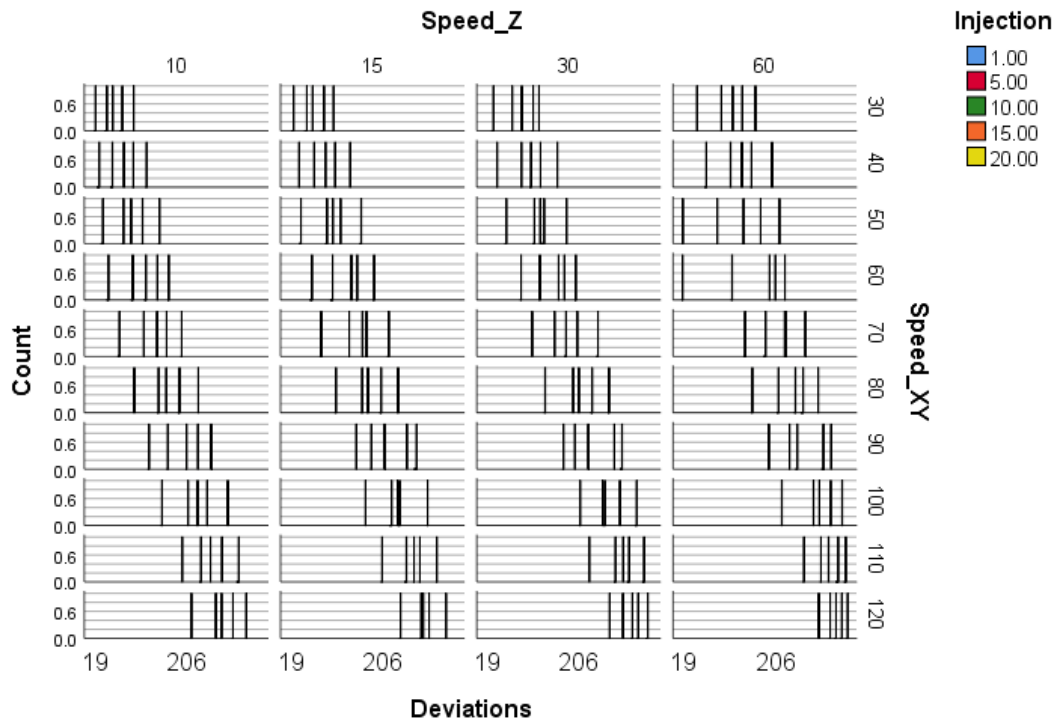


Рисунок 3.14 – Відхилення розмірів топології ДП при збільшенні значень факторів

Виходячи з отриманих значень можливо зробити висновки:

- зміна кута заточки фрези впливає на збільшення значення відхилення геометричних розмірів на 0,387 (b_1);
- збільшення на 5 мм/хв швидкості різання матеріалу впливає на збільшення значення відхилення геометричних розмірів на 0,735 (b_2).
- збільшення на 5 мм/хв швидкості занурення в матеріал впливає на збільшення значення відхилення геометричних розмірів на 0,144 (b_3);

Таким чином рівняння регресії, має такий вигляд, формула 3.1:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 = 1,864 + 0,387 x_1 + 0,735 x_2 + 0,144 x_3; \quad (3.1)$$

де Y – фактор відхилення геометричних розмірів топології ДП;

b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти лінійної регресії впливу параметрів на фактор;

x_1, x_2, x_3 – параметри впливу на фактор.

3.3 Висновки до розділу

У даному розділі були проведені експериментальні дослідження впливу технологічних параметрів фрезерної обробки на збереження геометричних розмірів. В якості виробу для тестування була обрана топологія друкованої плати. Матеріал для фрезерування СФ ДСТУ 10316-78, з якого було виготовлено 200 зразків топології. В результаті зміни значання параметру були отримані значання відхилень розмірів топології та занесені в таблицю.

На основі отриманих даних та за допомогою програми IBM SPSS Statistics, була побудована регресійна кореляційна модель впливу параметрів на результат. Виведені коефіцієнти регресії дозволяють уявити наскільки зміниться величина відхилення розмірів топології ДП при таких значеннях параметрів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Охорона праці при роботі з лазерним гравірувальником

4.1.1 Загальні положення

Основне значення техніки безпеки в забезпеченні безпеки і нешкідливості праці без зниження його продуктивності. Здійснення цих вимог зводиться до проведення комплексу заходів, спрямованих на запобігання працюючого від різного роду травм, запобігання шкідливим, що викликаються умовами роботи, впливів на організм людини.

Виробничою травмою вважають тілесне ушкодження, в результаті якого настає тимчасова або постійна втрата працездатності. Причинами виробничого травматизму є механічні, електричні, хімічні та іншого роду впливу на організм людини, а також гострі отруєння, опіки, що відбулися в виробничих умовах.

Неуважність працюючого як на робочому місці, так і при пересуванні по території цеху, заводу, несправність підйомно-транспортного устаткування, верстатів, пристосувань, погана організація робочих місць і т.д. часто призводять до нещасних випадків. Іноді причиною виробничих травм є захаращеність робочих місць і проходів напівфабрикатами і готовою продукцією. У механічних цехах до нещасних випадків може привести незнання робітниками правил техніки безпеки, пристрої верстата, несправність електрообладнання верстата і проводки, відсутність огорожень і запобіжних пристроїв, неправильні прийоми роботи на верстаті, неправильне носіння спецодягу, неуважність самого робітника, невиконання правил техніки безпеки і правил внутрішнього розпорядку і т. д.

Небезпеку становлять внутрізаводський автомобільний транспорт, безрейковий електротранспорт, підйомні крани, ручні вагонетки та ін.

Значна частина нещасних випадків з фрезерувальниками відбувається при транспортуванні, установці і знятті фрез, пристосувань і оброблюваних заготовок. Нижче наведені основні вимоги техніки безпеки з транспортування, встановлення та зняття фрез. Фрези повинні зберігатися і транспортуватися в спеціальній тарі або забезпечуватися захисними дерев'яними кільцями. При установці фрез необхідно надягати рукавиці. Легкі фрези масою до 3 кг встановлюють вручну, а фрези масою від 3 до 8 кг необхідно встановлювати на вертикально-фрезерних верстатах наступним чином:

- покласти фрезу хвостовиком вгору на дерев'яну підкладку, покладену на столі верстата;
- переміщує стіл, підвести фрезу під шпindelь;
- підняти стіл вгору;
- завести хвостовик фрези в отвір шпинделя і посадити фрезу на шпindelь;
- закріпити фрезу.

Знімання фрез з верстата проводиться в зворотному порядку при дотриманні тих же запобіжних заходів. Фрези масою понад 8 кг слід встановлювати за допомогою спеціальних підйомних коштів. Пристосування і заготовки масою понад 20 кг встановлюють і знімають підйомними засобами (кранами, тельферами і ін.). Кріплення оброблюваних заготовок на столі верстата або в пристосуванні повинно бути надійним.

Важкі універсальні пристосування (ділильні головки, машинні лещата та ін.), Які постійно перебувають на робочому місці, зберігаються на стелажах і спеціальних підставках.

Ураження електричним струмом небезпечно для життя людини, тому забороняється торкатися до будь-яких проводів, особливо неізолюваних або погано ізолюваних.

Для захисту робітника від бризок мастильно-охолоджувальної рідини і стружки застосовують захисні огороження зони різання. При відсутності зазначених пристроїв працювати на верстаті забороняється. Для захисту очей

від поранень і опіків стружкою застосовують захисні окуляри, індивідуальні щитки, спеціальні кожухи для фрез і ін..

На рисунку 4.1 зображений захисний екран на магнітній підставці, застосовуваний при роботі на фрезерних верстатах. Екран з плексигласу кріпиться до підставки шарнірної виделкою. У підставку вмонтований постійний оксидно-барієвий або литий магніт, що забезпечує притиснення її до столу з силою 6 кг. Екран на магнітній підставці можна встановлювати в будь-якому зручному місці столу в залежності від характеру обробки. Для запобігання тяжіння дрібної стружки до магнітній підставці підставка закривається кожухом. Іноді захищають всю поверхню столу для захисту робітника від стружки і бризок мастильно-охолоджувальної рідини.

Зважаючи на велику різноманітність видів фрезерних робіт і оброблюваних заготовок конструкція огорожі до верстатів може бути різною в залежності від конкретних умов обробки. Один з варіантів огорожі, яку встановлюють на поворотну головку верстатів 6P12. Спецодяг призначений для захисту робітника від впливу масел, мастильно-охолоджувальних рідин, емульсій. Деякі мастильні рідини (наприклад, В31 В32К, В296 і ін.) Вимагають застосування спеціальних засобів захисту: гумових рукавичок, респіраторів (марлієвих пов'язок) і ін. Спецодяг повинен бути застебнутий на всі гудзики, волосся прибрані під головний убір.

Для захисту шкіри рук слід користуватися захисними пастами і мазями. При нещасних випадках необхідно негайно звертатися за допомогою в медпункт.

Так як техніка безпеки безпосередньо пов'язана з технологією виробництва, то дотримання технологічної дисципліни, виконання правил технічної експлуатації; висока трудова дисципліна є найважливішими умовами, що забезпечують безпеку праці. Велике значення для створення сприятливих умов праці мають освітлення, вентиляція, опалення, захист від шуму, вібрацій, від впливу електричного струму, чистота і порядок як на кожному робочому місці, так і на ВЕЕМ {підприємстві.

Правильне поєднання освітлення та кольору забарвлення приміщення та обладнання сприяє підвищенню продуктивності праці. У червоний цет фарбують внутрішні поверхні огорожуючих пристроїв, фон для швидко переміщаються деталей і механізмів (наприклад, фон в нішах для змінних бистроврацающейся-трудящих зубчастих коліс, внутрішні поверхні коробок швидкостей і коробок подач) і швидко-переміщається деталі і механізми, кнопки і рукоятки включення і аварійні кнопки Стоп.

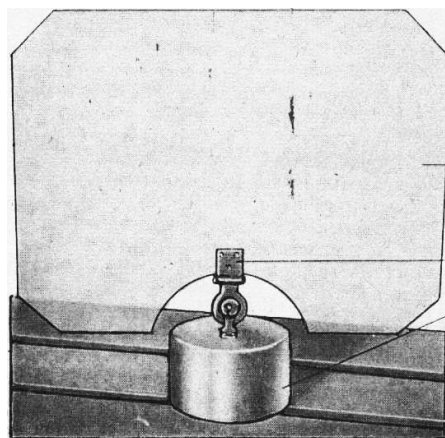


Рисунок 4.1 – Захисний екран на магнітній підставці

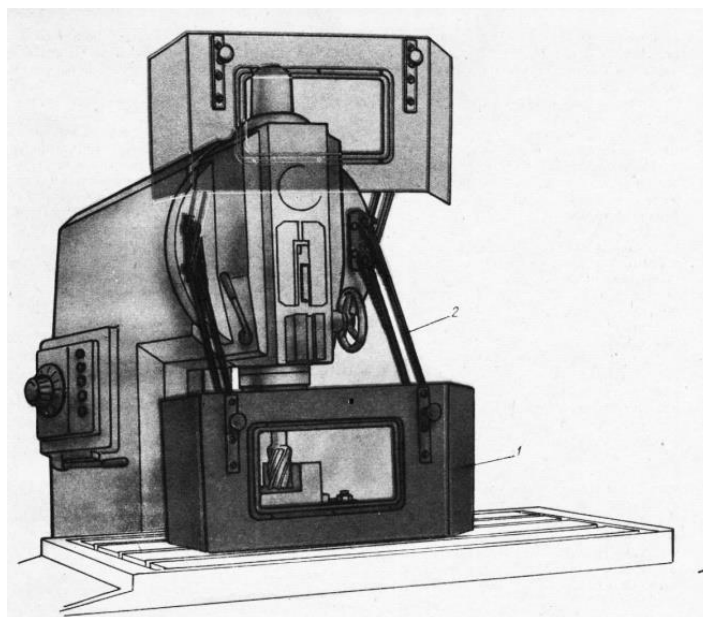


Рисунок 4.2 – Огорожа фрез

4.1.2 Вимоги охорони праці перед початком роботи

Слід надягти на себе спецодяг, добре сховати волосся під головний убір і переконатися в наявності засобів індивідуального захисту (захисних окулярів, діелектричного килимка на підлозі).

Провести огляд свого робочого місця, прибрати всі непотрібні предмети, які заважають роботі, переконатися у справній роботі системи вентиляції.

Необхідно оглянути фрезерний верстат по металу і упевнитися:

- у безперешкодному доступі до пускового пристрою;
 - у справному стані верстата і заземлюючих пристроїв, пускових та блокувальних пристроїв шляхом їх короткочасного вмикання;
 - у тому, що заточки фрез гострі, а також на них відсутні тріщини та щербини;
 - у тому, що фрези міцно закріплені;
 - у достатності балансування шпинделя верстата і в тому, що він «не б'є»;
 - у справному стані гальмівних пристроїв;
- справність фіксації важелів вмикання і перемикачів (впевнитись, що можливість мимовільного перемикачів з холостого ходу на робочий повністю виключена).
- у достатньому освітленні робочого місця.

Міцно закріпити оброблювану деталь і фрезу, ключ прибрати в спеціально передбачене місце.

Учителю технології категорично заборонено:

- користуватися несправними і неправильно заточеними інструментами та пристосуваннями;
- торкатися струмоведучих частин електричного обладнання;
- працювати або навчати без спеціального одягу і захисних окулярів;
- працювати або навчати без захисного огороження.

Слід за допомогою короткочасного включення переконатися у справній роботі фрезерного верстата на холостому ходу.

При виявленні будь-яких неполадок фрезерного верстата по металу або системи вентиляції, викладач технології, який здійснює роботи або проводить навчання на фрезерному верстаті по металу, повинен без зволікання повідомити про це заступника директора з АГР, директора школи. Слід також зробити про це запис у журналі реєстрації заявок.

Перед тим як включити фрезерний верстат в електромережу, необхідно встати на діелектричний килимок (якщо покриття підлоги виготовлено з електропровідного матеріалу).

Категорично забороняється включення фрезерного верстата в електромережу мокрими і вологими руками.

Не допускається приступати до виконання робіт у разі виявлення будь-яких невідповідностей робочого місця встановленим вимогам даної інструкції, а також при неможливості виконати зазначені у даній інструкції підготовчі до роботи дії[17].

4.1.3 Вимоги охорони праці під час проведення роботи

Працюючи на фрезерному верстаті, слід суворо дотримуватися справжньої інструкції охорони праці.

Наявність напруги в електромережі потрібно перевіряти виключно за допомогою покажчика напруги.

Слід контролювати справність роботи фрезерного верстата, системи вентиляції, цілісність ізоляції та заземлення.

Викладач технології, який працює та проводить навчання на фрезерному верстаті по металу, повинен:

- працювати на фрезерному верстаті виключно при включеній витяжній вентиляції, у захисних окулярах;
- встановлюючи на верстат оброблювану деталь і пристосування, почистити їх від стружки і масла;
- добре почистити дотичні базові та кріпильні поверхні для забезпечення правильної установки та міцності кріплення;

- деталь для обробки і вже оброблену деталь класти стійко на підкладках;
- не спиратися на верстат при його роботі і не дозволяти це робити іншим;
- при появі вібрації припинити роботу верстата, перевірити кріплення фрези і пристосувань, прийняти необхідні заходи щодо усунення вібрації;
- не залишати ключ на голівці затяжного болта після установки фрези або оправки;
- встановивши і закріпивши фрезу, провести перевірку радіального і торцевого биття, яке не повинно перевищувати 0,1 мм;
- оброблювану деталь міцно і жорстко закріпити в пристосуванні;
- при цьому зусилля різання повинні бути спрямовані на нерухомі опори, а не на затискачі;
- при закріпленні деталі за необроблювані поверхні, користуватися лецатами і пристосуваннями, що мають насічку на притискних губках;
- подавати деталь до фрези виключно тоді, коли фреза отримала робоче обертання;
- врізати фрезу в деталь поступово: механічну подачу включати до торкання деталю фрези. При ручній подачі неприпустимо різке збільшення швидкості та глибини різання;
- використовувати виключно справну фрезу;
- у разі, якщо ріжучі кромки затуплені або викришені, фрезу слід поміняти;
- при заміні оброблюваної деталі або її вимірі необхідно відвести фрезу на безпечну відстань і відключити подачу;
- неприпустимо накопичення стружки на фрезі і оправці, прибирати стружку необхідно виключно після повної зупинки шпинделя спеціальними пристроями (гачками).
- неприпустимо виконувати прибирання біля верстата під час його роботи;

– всі робочі матеріали і деталі акуратно складати в установленому місці таким чином, щоб вони не перешкоджали подальшій роботі;

– не намагатися зупинити і гальмувати за допомогою рук вимкнений вал, який все ще продовжує обертатися.

Зупинити фрезерний верстат по металу і відключити електричне обладнання слід у нижчезазначених випадках:

– відходячи від верстата, навіть ненадовго;

– якщо тимчасово припинені роботи;

– при перервах в подачі електроенергії;

– під час прибирання, змащування, чищення верстата;

– при виявленні будь-якої несправності, яка несе небезпеку;

– під час підтягування болтів, гайок та інших кріпильних деталей.

Виконуючи роботи або навчання на фрезерному верстаті, категорично забороняється:

– торкатися до проводів та інших струмоведучих частин, що знаходяться під напругою;

– працювати на фрезерному верстаті при виявленні його несправності, іскрінні, порушенні ізоляції та заземлення;

– закривати фрезерний верстат паперами і непотрібними предметами;

– виконувати роботу на верстаті в рукавицях або рукавичках, а також із забинтованими пальцями;

– на робочому ходу верстата робити заміри, перевіряти рукою чистоту поверхні оброблюваної деталі;

– гальмувати обертання шпинделя, натискаючи рукою на обертові частини верстата;

– нахилити голову близько до фрези або деталі, яка рухається;

– видаляючи фрезу зі шпинделя, притримувати її голою рукою;

– при фрезеруванні вводити руки у небезпечну зону обертання фрези;

– при роботі верстата відкривати і знімати огороження та запобіжні пристрої;

- прибирати стружку безпосередньо руками та інструментом, здувати її;
- залишати ключі, пристосування та інші інструменти на працюючому верстаті;
- передавати й приймати будь-які предмети через обертові або рухомі частини фрезерного верстата;
- спиратися ліктем і спиратися на фрезерний верстат, розташовувати на ньому інструменти, заготовки та інші предмети;
- охолоджувати фрезу або оброблювану деталь за допомогою мокрої ганчірки або протирочних кінців;
- залишати фрезерний верстат без контролю; відкривати і знімати захисні огороження;
- самостійно розкривати і ремонтувати фрезерний верстат;
- виконувати прибирання над і під працюючим верстатом або близько від його рухомих частин;
- виконувати вологе прибирання рубильників та інших вимикачів електрики.

Відкриваючи віконні рами, слід стежити за відсутністю протягів, які можуть призвести до пошкодження віконного скла.

4.1.4 Вимоги охорони праці після завершення роботи

Завершивши роботи на фрезерному верстаті по металу, викладач технології повинен:

- відвести фрезу від заготовки і вимкнути електричне живлення в тій послідовності, яка встановлена інструкцією з експлуатації фрезерного верстата по металу;
- навести відповідний порядок на своєму робочому місці, почистити від стружок фрезерний верстат, обладнання, що розташоване з верстатом і проходиза допомогою щітки;
- скласти у спеціальну шафу інструмент і пристосування, які використовувалися під час роботи на фрезерному верстаті;

- прибрати у спеціально відведене для цього місце засоби індивідуальної захисту;

- почистити спецодяг і взуття, прибрати в призначену для спецодягу шафу.

- ретельно вимити руки з милом.

Провітрити приміщення навчальної майстерні. Перекрити крани з водою, щільно закрити всі вікна, вимкнути освітлення.

При виявленні будь-яких несправностей обладнання, порушення цілісності віконного скла, необхідно своєчасно інформувати про це заступника директора з АГР, за його відсутності на робочому місці - чергового адміністратора школи та зробити відповідний запис у журналі заявок

4.1.5 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях

При виникненні аварійних ситуацій необхідно негайно зупинити фрезерний верстат по металу, натиснувши кнопку «Стоп».

При перегріві двигуна необхідно зупинити його на деякий час для охолодження.

Охолодження двигуна за допомогою води або мокрої драптя категорично забороняється.

При появі стуку, вібрації, зміни характерного шуму, перегріві фрези, підшипників, появі запаху горілого або диму, поломки фрези, а також у разі пошкодження заземлення корпусу верстата, необхідно негайно припинити роботу, відвести фрезу від заготовки і зупинити фрезерний верстат. Слід негайно доповісти про це заступникові директора з АГР, а при його відсутності на робочому місці – чергового адміністратора, директора навчального закладу. Продовжувати роботу дозволяється тільки після усунення всіх несправностей.

Викладач технології, який проводить роботи або навчання учнів на фрезерному верстаті по металу, повинен, якщо необхідно, негайно надати першу медичну допомогу собі та постраждалим. Така допомога надається безпосередньо на місці події і в установленій послідовності: спочатку

необхідно усунути джерело отримання травми (вимкнути двигун, зупинити механізм тощо), потім потрібно приступити до безпосереднього надання першої медичної допомоги, починаючи із самого значущого, з того, що несе загрозу життю і здоров'ю людини. При сильній кровотечі накласти джгут, вкласти записку із зазначенням часу накладення джгута, а потім перев'язати рану. При підозрі на закритий перелом необхідно накласти шину, фіксуючи при цьому два суглоби – нижче і вище місця перелому; при відкритих переломах спочатку потрібно перев'язати рану, а потім накласти шину; у разі опіків необхідно накласти суху стерильну пов'язку.

При підозрі на ушкодження хребта, покласти потерпілого на тверду поверхню та, якомога швидше, транспортувати до найближчого медичного закладу для надання допомоги.

У разі виникнення загоряння обладнання, слід негайно відключити фрезерний верстат по дереву від електроживлення, повідомити до пожежної охорони, директорів навчального закладу (за його відсутності – іншій посадовій особі), після чого приступити до гасіння пожежі наявними засобами, це може бути вогнегасник, пісок.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи згідно технологічного було проведено аналіз існуючих методів обробки матеріалів. Серед проаналізованих методів обробки матеріалу було обрано фрезерування.

Фрезерне обладнання дозволяє здійснювати різні технологічні операції: різання, свердління, розрахунок відстаней між отворами, які необхідно виконувати, а також ряд інших. Проведено аналіз існуючих верстатів.

Було побудовано 3D модель макета в програмі Fusion 360 та підібрано механічні комплектуючі. Підібрано електронні комплектуючі.

В якості зразка для дослідження була обрана топологія друкованої плати з габаритами 64×44 мм. Для отримання більш точних даних, було створено 200 зразків плат.

За результатами проведених досліджень можливо оцінити вплив технологічних параметрів фрезерної обробки на відхилення геометричних розмірів початкового зображення виробу та якості поверхні після різання.

З отриманих значень відхилень при різних параметрах обробки були отримані такі значення коефіцієнтів регресії:

– зміна кута заточки фрези впливає на збільшення значення відхилення геометричних розмірів на 0,387 (b1);

– збільшення на 5 мм/хв швидкості різання матеріалу впливає на збільшення значення відхилення геометричних розмірів на 0,735 (b2);

– збільшення на 5 мм/хв швидкості занурення в матеріал впливає на збільшення значення відхилення геометричних розмірів на 0,144 (b3).

З отриманих коефіцієнтів можливо зробити висновок, що найбільш вагомим фактором є швидкість різання. Чим менше значення швидкості різання тим менше значення відхилень розмірів, та чистіша поверхня. Оптимальними значеннями швидкості є діапазон від 30 мм/хв до 80 мм/хв.

При збільшенні швидкості занурення, збільшуються значення відхилень. Оптимальними значеннями швидкості занурення від 1 мм/хв. до 5 мм/хв.

При збільшенні кута заточки фрези, збільшуються відхилення. Оптимальний кут фрези для гравіювання топології ДП для матеріалу СФ ДСТУ 10316-78, є значення 10° та 15° .

Було опубліковано научну статтю за темою 'Вплив технологічних параметрів фрезерної обробки на геометричні розміри друкованих плат' в журналі 'SWorldJournal', випуск №10, Болгарія 2021.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки з виконання та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка освітньо-професійної програми «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Н. П. Демська, Ю.М. Олександров, Р. В. Артюх, Є. А. Разумов-Фризюк. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 40 с.
2. ДСТУ 3008: 2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – Офіц. Вид. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с. – (Державний стандарт України).
3. Фрезерна обробка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://poradum.com/remont/frezeruvannya-i-frezerna-obrobka-metalu-z-chpu-i-bez-technologiya-i-video.html>
4. Фрезерна обробка заготовок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://stud.com.ua/36359/tovaroznavstvo/frezerna_obrobka_zagotovok
5. Фрезерні верстати [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://stud.com.ua/36360/tovaroznavstvo/frezerni_verstati
6. Матеріали для фрезерної обробки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://rezka78.ru/articls/frezernaya_obrabotka.html
7. Кінематика [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://wood-masters.com.ua/articles/164.html>
8. Що таке фрезерівка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stanok.guru/metalloobrabotka/frezernye-raboty/chto-eto-takoe-frezerovka-i-vidy-frezerovaniya.html>
9. Технологія фрезерування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://oxmetall.ru/frezerovanie/chto-takoe-frezerovka/>
10. Фрезерівка дерева [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nikvesti.com/news/politics/121910>

11. Фрезеровка по дереву та ДСП [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rubankom.com/obrabotka/128-frezerovanie-po-derevu>

12. Кінематика CoreXY [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://3dtoday.ru/blogs/faberant-3d/corexy-protiv-h-bot-sravnenie-kinematiki-v-fizicheskoy-simulyatsii>

13. Кінематика H-bot [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://3deshnik.ru/blogs/ufamak/3d-printer-s-kinematikoj-h-bot-na-reisah-v-korpuse-ulti-nestandardnyj-sprinter>

14. Підбір деталей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uareprap.store/>

15. Електронні комплектуючі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://3dreams.com.ua/product-category/detali_3d_printerov/

16. Основи лінійної регресії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://statistica.ru/theory/osnovy-lineynoy-regressii/>

17. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни "Основи охорони праці та цивільний захист" підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету [Електронний ресурс] / ХНУРЕ; розроб.: Т. Є. Стиценко, В. А. Айвазов, О. В. Мамонтов, Н. М. Сердюк. – Харків, 2017. – 517 с.