

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Моделювання впливу режимів фрезерування на верстаті з ЧПК на параметри
виробів

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КІТПВм-22-2
Нетис Віталій Олександрович
(прізвище, ініціали)

Спеціальність
151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

освітньої програми Комп'ютерно-інтегровані
технологічні процеси і виробництва
(код і повна назва напрямку)

Тип програми освітньо-професійна
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Жарікова І. В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Я, Нетис Віталій Олександрович, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

22.01.24

Нетис Віталій Олександрович

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва
	(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Нетису Віталію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання впливу режимів фрезерування на верстаті з ЧПК на параметри виробів

затверджена наказом по університету від _____ 03.11.2023 р. № 1287 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 25.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи 3.1 Напруга живлення 220 В, 50 Гц.

3.2 Потужність, що споживається, – 2,5 кВт.

3.3 Робоча зона фрезерування 180 мм × 180 мм.

3.4 Кількість обертів шпинделя – 12000 об/хв.

3.5 Провести регресійний аналіз експериментальних даних.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз предметної області;

4.3 Аналіз впливу режимів фрезерування на параметри виробів;

4.4 Проведення експериментальних досліджень;

4.5 Охорона праці;

4.6 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 12 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	15.11.23	Виконав
2	Аналіз впливу режимів фрезерування на параметри виробів	01.12.23	Виконав
3	Підбір матеріалу для дослідження	15.12.23	Виконав
4	Проведення експериментальних досліджень	30.12.23	Виконав
5	Оформлення пояснювальної записки	21.01.24	Виконав
6	Перевірка керівником роботи	22.01.24	Виконав
7	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	23.01.24	Виконав
8	Подання роботи на рецензію	24.01.24	Виконав
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	24.01.24	Виконав
10	Подання атестаційної роботи в ЕК	25.01.24	Виконав

Дата видачі завдання 01.09.2023

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Нетис В. О.

(прізвище, ініціали)

доц. Жарікова І. В.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 66 с., 1 табл., 31 рис., 1 дод., 27 джерел.

ВЕРСТАТ З ЧПК, ФРЕЗЕРНА ОБРОБКА, АКРИЛ, РЕЖИМ РІЗАННЯ,
ОБРОБКА МАТЕРІАЛУ.

Об'єкт дослідження – процес фрезерування деталей виробів на верстаті з ЧПК.

Предмет дослідження – параметри режиму операції фрезерування на верстаті з ЧПК.

Мета роботи – вивчення параметрів режимів фрезерування деталей на верстаті з ЧПК та їхнього впливу на параметри виробів.

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

Проведено аналіз видів фрезерних верстатів та оснастки, а також параметрів, які впливають на якість поверхні оброблюваних виробів. Виконано підбір компонентів для фрезерного верстата та режимів фрезерування.

Побудовано регресійно-кореляційну модель впливу технологічних параметрів фрезерної обробки на відхилення геометричних розмірів акрилового скла.

ABSTRACT

Explanatory note: 66 p., 1 tabl., 31 fig, 1 app., 27 sources.

CNC MACHINE, MILLING PROCESSING, ACRYLIC, CUTTING MODE, MATERIAL PROCESSING.

The object of the study is the process of milling parts of products on a CNC machine tool.

The subject of the study is the parameters of the milling operation mode on a CNC machine.

The purpose of the work is to study the parameters of the milling modes of parts on a CNC machine tool and their influence on the parameters of the products.

In the course of the qualification work, the existing types of material processing and, in particular, the features of milling processing were analyzed.

Analysis of types of milling machines and equipment was carried out. The selection of components for the milling machine and milling modes has been completed.

A regression-correlation model of the influence of technological parameters of milling processing on the preservation of geometric dimensions of acrylic glass was built.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз розвитку сучасних технологій фрезерування на верстатах із чпк....	12
1.1 Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу	12
1.2 Особливості фрезерної обробки	14
1.3 Аналіз існуючих фрезерних верстатів	19
1.4 Аналіз класифікацій верстатів з ЧПК	25
1.5 Огляд матеріалів для фрезерування	27
1.6 Аналіз параметрів режимів обробки матеріалів	31
1.7 Висновки до розділу 1	32
2 Аналіз впливу режимів фрезерування на параметри виробів	34
2.1 Аналіз методів моделювання параметрів технологічних процесів	34
2.1.1 Сутність моделювання та види моделей	34
2.1.2 Множинна лінійна регресія	36
2.1.3 Оцінка адекватності та точності багатофакторної лінійної моделі ..	37
2.2 Параметри режиму різання при фрезеруванні	39
2.3 Показники якості обробки поверхні	41
2.4 Висновки до розділу 2	45
3 Експериментальні дослідження режимів фрезерування	47
3.1 Методи керування верстатами з ЧПК.....	47
3.2 Опис використовуваних компонентів верстата	49
3.3 План проведення дослідження	52
3.4 Хід дослідження	53
3.5 Висновки до розділу 3	59
4 Охорона праці під час роботи з верстатом	60
4.1 Охорона праці під час роботи з фрезерним верстатом	60
4.1.1 Загальні положення	60
4.1.2 Вимоги безпеки перед початком роботи	61
4.1.3 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	61

Висновки	62
Перелік джерел посилання	64
Додаток А.....	67
Додаток Б	72

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ОУ – об'єкт управління;

САУ – система автоматичного управління;

ЧПК – числове програмне керування;

Ш – шорсткість;

HLP – High pressure laminate;

RIM – Reaction-injection molding.

ВСТУП

Дослідження методів підвищення якості поверхні деталей у різних галузях промисловості є актуальним завданням. При цьому одним із найпоширеніших видів обробки металів є фрезерна обробка. Процес фрезерування полягає у зрізанні із заготовки зайвого шару матеріалу для отримання деталі необхідної форми, розмірів і з необхідною шорсткістю оброблених поверхонь. При цьому на верстаті здійснюється переміщення інструмента (фрези) щодо заготовки або переміщення заготовки щодо інструменту.

На даний час величезна кількість промислових підприємств, у чю сферу діяльності входить механічна обробка, мають у своєму розпорядженні величезний парк верстатів, що мають системи числового програмного керування (ЧПК).

Переваги використання верстатів із числовим програмним керуванням полягають у тому, щоб забезпечити більш якісний рівень автоматизації виробничого процесу. Виготовлення деталей ведеться в автоматичному режимі, практично без участі людини, оператора-верстатника, роль якого полягає у виконанні операцій контролю за процесом і участі на підготовчому та завершальному етапі: у початковому налагодженні та подальшому контролі за ходом виконання програми та дотриманням із використанням автоматичних засобів вимог усіх технологічних процесів.

Щоб досягти стабільної, високопродуктивної роботи фрезерного верстата та зберегти інструмент від передчасного зношування, потрібно правильно вибрати режим різання. Для різних видів матеріалів необхідно задавати різні параметри обробки. Тому модернізація та удосконалення фрезерних верстатів – актуальне завдання, від вирішення якого залежить ефективність виробництва.

Об'єкт дослідження – процес фрезерування деталей виробів на верстаті з ЧПК.

Предмет дослідження – параметри режиму операції фрезерування на верстаті з ЧПК.

Мета роботи – вивчення параметрів режимів фрезерування деталей на верстаті з ЧПК та їхнього впливу на параметри виробів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати загальний огляд основних видів обробки матеріалів;
- розглянути існуючі фрезерні верстати з ЧПК;
- проаналізувати режими обробки матеріалів на фрезерному верстаті з ЧПК;
- провести експериментальне дослідження впливу режимів фрезерування на якість поверхні виробів;
- розглянути питання охорони праці під час роботи з фрезерувальним верстатом;
- оформити пояснювальну записку згідно з рекомендаціями [1] та вимогами ДСТУ 3008:2015 [2].

Для вирішення поставлених завдань використовуватимуться такі методи дослідження: аналіз, систематизація, метод планування експерименту, експериментальний метод.

На основі проведених досліджень опубліковано тези доповіді на міжнародній конференції «Modern research in science and education. Proceedings of the 5th International scientific and practical conference» (11-13 січня 2024 р., Чикаго, США) [3].

1 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ФРЕЗЕРУВАННЯ НА ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПК

1.1 Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу

Згідно завдання на кваліфікаційну роботу метою магістерського дослідження є вивчення особливостей операції фрезерування на верстатах з ЧПК та впливу режимів цієї операції на параметри виробів, що виготовляються. Також необхідно побудувати регресійну модель процесу фрезерування деталей на верстаті з ЧПК на основі обробки даних експериментальних досліджень. Для цього передусім необхідно провести огляд сучасних технологій фрезерування, параметрів фрезерних верстатів, які впливають на деталь, а також методів обробки даних для побудови математичних моделей досліджуваних процесів.

Перш за все проаналізуємо особливості процесу механічної обробки матеріалів. При механічній обробці поверхні матеріалів обробляють за допомогою свердла, фрези або шліфувального диска. Механічна обробка є дуже поширеною процедурою, їй піддаються усі вироби. Процес здійснюється на різальних верстатах у встановленому порядку. При наданні механічної дії на поверхню спостерігається утворення нової поверхні, утворюється вона шляхом деформації та подальшого віддалення шарів від основної частини матеріалу.

Існує багато видів механічної обробки матеріалів. Види механічної обробки представлені на рисунку 1.1.

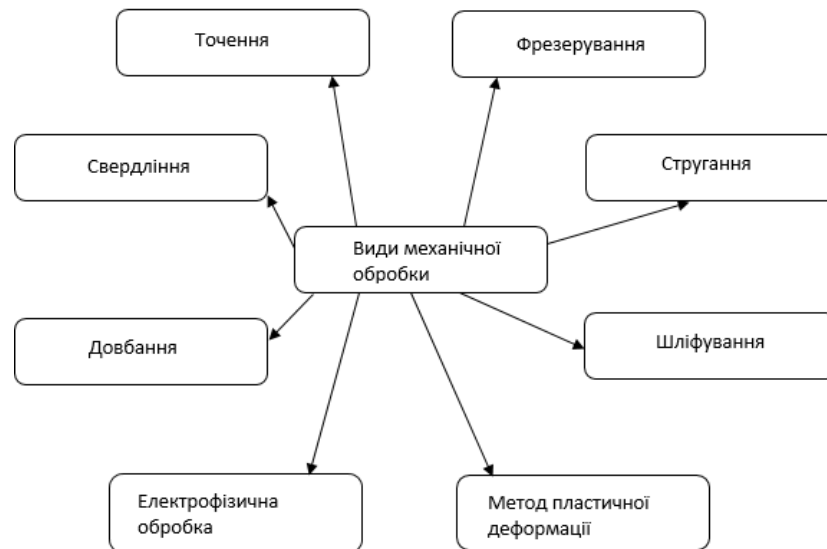


Рисунок 1.1 – Види механічної обробки

Точення – це процес обробки металевих деталей, які виконані у формі циліндра, спіралі чи гвинта. Точення необхідне всім різальним кромкам інструментів. Процес точення має на увазі передачу тілу обертального руху, а різальному інструменту – повільного поступального переміщення. Різець може рухатися вздовж і впоперек заготовки.

Фрезерування – це дуже поширений та необхідний вид обробки. Принцип такої обробки полягає у впливі на деталь технології різання. Основним елементом такого методу виступає фреза, вона й здійснює головний рух. Рух подачі ведеться у поздовжньому напрямку.

Свердління – це операція обробки матеріалу за допомогою свердла. У ході такої процедури утворюються наскрізні чи глухі отвори. Основний інструмент – свердло, яке здійснює обертальний, поступальний рух різання та переміщається по осі. Такі операції проводять на свердлильних верстатах.

Стругання – процес обробки поверхні заготовки лінійної форми. Основним інструментом, що діє, виступає вигнутий різець, який здійснює прямолінійний або поступальний рух по заготовці. Може рухатися з різною швидкістю, постійно чи переривчасто.

Довбання – спосіб обробки металевої заготовки, при якій на неї впливає різець. Довбання виробляють на спеціальних верстатах. Таким методом

обробляють фасонні чи плоскі поверхні будь-яких металів.

Шліфування є, як правило, заключним етапом обробки деталі. Це процес оздоблювальний, він дозволяє покращити структуру поверхні, робить її гладкою та рівною, шліфувальні машини також вирівнюють шви та роблять рівними лінії різку. Як шліфувальний апарат можуть бути використані металеві кола або спеціальні стрічки з грубим абразивним покриттям [4].

1.2 Особливості фрезерної обробки

Фрезерна обробка є одним із найпоширеніших видів обробки металів. Процес фрезерування полягає у зрізанні із заготовки зайвого шару матеріалу для отримання деталі необхідної форми, розмірів і шорсткості оброблених поверхонь. При цьому на верстаті здійснюється переміщення інструмента (фрези) щодо заготовки або переміщення заготовки щодо інструменту.

Для здійснення процесу різання необхідно мати два рухи – головний та рух подачі. При фрезеруванні головним рухом є обертання інструменту, а рухом подачі – поступальний рух заготовки. У процесі різання відбувається утворення нових поверхонь шляхом деформування та відділення поверхневих шарів з утворенням стружки.

При обробці розрізняють зустрічне та попутне фрезерування. Попутне фрезерування (рисунок 1.2), або фрезерування по подачі, – спосіб, за якого напрями руху заготовки та вектора швидкості різання збігаються. При цьому товщина стружки на вході зуба у різання максимальна і зменшується до нульового значення на виході. При попутному фрезеруванні умови входу пластини у різання сприятливіші. Вдається уникнути високих температур у зоні різання та мінімізувати схильність матеріалу заготовки до зміцнення. Велика товщина стружки є у разі перевагою. Сили різання притискають заготовку до столу верстата, а пластини – у гнізда корпусу, сприяючи їхньому надійному кріпленню. Попутне фрезерування є кращим за умови, що жорсткість обладнання, кріплення і сам матеріал, що обробляється, дозволяють застосовувати даний метод.

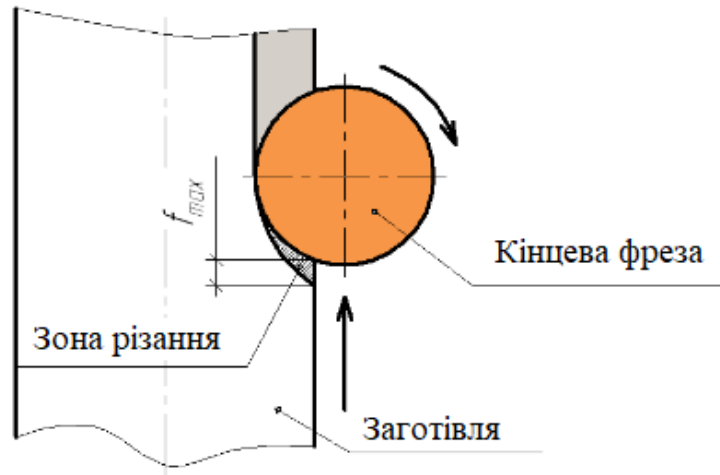


Рисунок 1.2 – Попутне фрезерування

Зустрічне фрезерування, яке іноді називають традиційним (рисунок 1.3), спостерігається, коли швидкості різання та рух подачі заготовки спрямовані в протилежні сторони. При врізанні товщина стружки дорівнює нулю, на виході – максимальна. У разі зустрічного фрезерування, коли пластинка починає роботу зі стружкою нульової товщини, виникають високі сили тертя, що віджимають фрезу та заготовку один від одного.

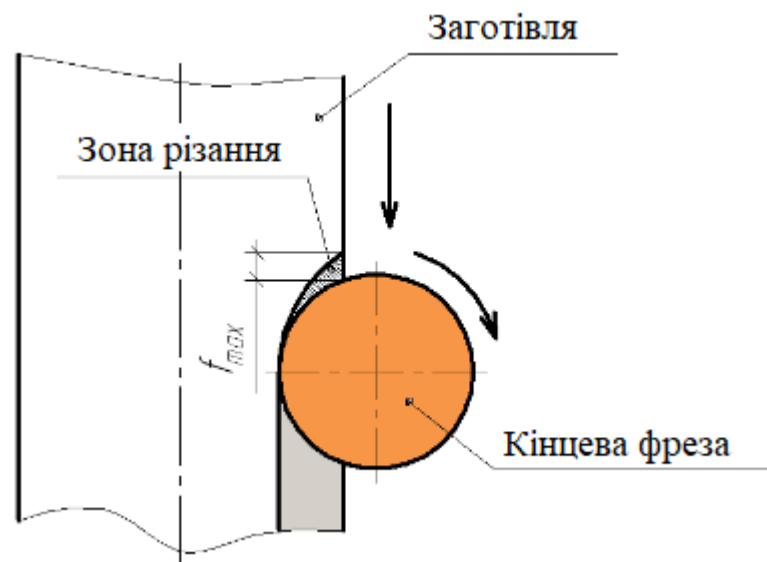


Рисунок 1.3 – Зустрічне фрезерування

У початковий момент врізання зуба процес різання більше нагадує вигладжування, із супутніми йому високими температурами та підвищеним тертям. Найчастіше це загрожує небажаним зміцненням поверхневого шару деталі. На виході через велику товщину стружки в результаті раптового розвантаження зубця фрези зазнають динамічного удару, що призводить до вифарбовування та значного зниження стійкості.

У процесі фрезерування стружка налипає на ріжучу кромку і перешкоджає роботі в наступний момент врізання. При зустрічному фрезеруванні це може призвести до заклинювання стружки між пластиною та заготовкою та, відповідно, до пошкодження пластини. Попутне фрезерування дозволяє уникнути подібних ситуацій. На сучасних верстатах з ЧПК, які мають високою жорсткістю, вібростійкістю і у яких відсутні люфти в поєднанні ходової гвинт-гайка, застосовується переважно попутне фрезерування.

Весь інструмент, що використовується в обробці матеріалів, можна умовно підрозділити на різальний інструмент (фрези, свердла, мітчики), що безпосередньо здійснює механічну обробку (різання), і допоміжний, що служить для закріплення різального інструменту в шпинделі верстата (патрони, державки, оправки).

За технологічною ознакою розрізняють фрези для обробки площин, пазів та шліців, зубчастих коліс, різьблення, фасонних поверхонь, для розрізання матеріалу і т. д.

За конструктивною ознакою розрізняють:

- за влаштування фрези (цілісні, складові, зі вставними зубами);
- за конструкцією зуба (з гострозаточеними, з затилованими зубами);
- за направленням зуба (прямі, похилі, гвинтові зуби);
- за способом кріплення (насадні, хвостові – з циліндричним або конічним хвостовиком).

З огляду на різноманіття робіт, що виконуються фрезеруванням, дуже різноманітні і типи фрез (рисунок 1.4). Найбільш поширеними є циліндричні фрези (рисунок 1.4, а), що застосовуються для обробки поверхонь; дискові

(рисунок 1.4, б) для виготовлення пазів, уступів; кінцеві фрези (рисунок 1.4, в), що використовуються для обробки пазів, уступів, фасонних поверхонь; торцеві фрези (рисунок 1.4, г), для обробки поверхонь, уступів, пазів; фасонні фрези (рисунок 1.4 д) для виготовлення фасонних поверхонь. Стрілками на рисунку показані напрямки, що повідомляються фрезі та заготовці в процесі різання.

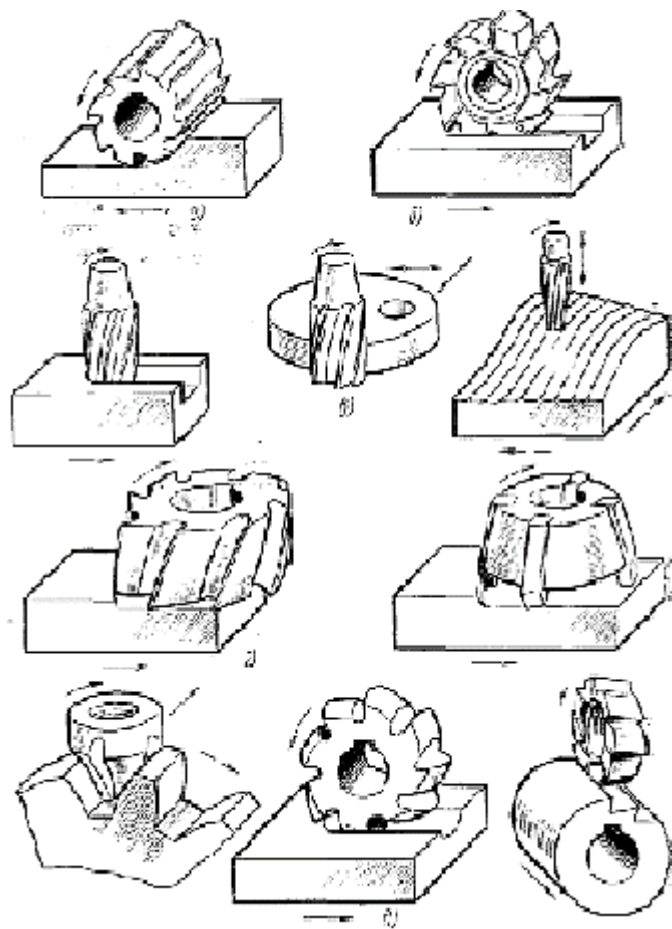


Рисунок 1.4 – Основні типи фрез та оброблюваних ними поверхонь

Звичайна кінцева фреза має кілька ріжучих зубів (2, 3, 4, 6 або 8) та прямокутний профіль ріжучої частини. Зуби фрези розділені гвинтовими канавками, які забезпечують відведення стружки із зони різання. У разі коли необхідно отримати перехід від однієї поверхні до іншої з певним радіусом, застосовують фрези зі сферичним кінцем або з невеликим радіусом на основі профілю.

Фрези зі сферичним кінцем та кульові фрези часто використовуються при обробці поверхонь складної форми, наприклад штампів та прес-форм. Конічні фрези призначені для фрезерування похилих поверхонь та піднутринь.

Кінцеві фрези найбільш універсальні – вони дозволяють обробляти площини, пази та уступи (рисунок 1.5). Існують інші типи фрез: торцеві, дискові, пазові. Ці фрези, зазвичай, служать до виконання фрезерних операцій «вузької» спрямованості. Наприклад, торцева фреза – це найкращий інструмент для фрезерування відкритої площини, а дискова – для обробки глибокого вузького паза за прохід.



Рисунок 1.5 – Цілісні кінцеві фрези

Широкого поширення набули фрези з механічним кріпленням пластин із твердого сплаву та інших інструментальних матеріалів (рисунок 1.6). На корпусах таких фрез є спеціальні посадкові місця, в які встановлюються пластини. Кріплення пластин до сталевого корпусу, як правило, здійснюється за допомогою звичайних гвинтів. Пластини мають кілька граней, і у разі зношування однієї з них існує можливість розгорнути пластину «свіжою» гранню. Коли зносяться всі грані, пластину можна викинути і поставити нову. Виходить дуже економічне рішення, оскільки цілісні твердосплавні фрези коштують досить дорого [5].



Рисунок 1.6 – Фрези з механічним кріпленням ріжучих пластин

1.3 Аналіз існуючих фрезерних верстатів

Фрезеруванням обробляють різні за формою та розмірами деталі зі складними поверхнями. Все це обумовлює велику конструктивну різноманітність фрезерних верстатів. Розрізняють верстати консольно-фрезерні (універсальні, горизонтальні, широкоуніверсальні, вертикальні); поздовжньо-фрезерні (одно- та двостоїчні); фрезерні безперервної дії (барабанні та карусельні); копіювально-фрезерні та гравірувально-фрезерні; безконсольні вертикально-фрезерні та різні (шпонково-фрезерні, фрезерно-центрувальні, торцефрезерні та інше). Відмінною особливістю консольно-фрезерних верстатів є наявність консолі, яка несе на собі каретку зі столом і переміщається направляючими станинами у вертикальному напрямку. На фрезерних верстатах консольного типу зручно вести спостереження за обробкою, так як переміщення консолі можна забезпечити необхідне положення поверхні, що фрезерується. Верстати мають зручне ручне керування, універсальні. Універсальність верстатів розширюється при застосуванні різних пристроїв, що дозволяють крім фрезерування виконувати операції свердління, зенкерування, розгортання та ін. Однак наявність консолі знижує жорсткість верстата, точність обробки та обмежує масу деталей, що обробляються на верстаті.

Універсально-фрезерний верстат (рисунок 1.7) має горизонтально

розташований шпиндель і призначений для обробки фрезеруванням різноманітних поверхонь на невеликих та неважких деталях в умовах одиничного та серійного виробництва. Обробку ведуть циліндричними, дисковими, кутовими, кінцевими, фасонними, торцевими фрезами. На цьому верстаті можна обробляти вертикальні та горизонтальні фасонні та гвинтові поверхні, пази та кути. Фрезерування деталей, що вимагають періодичного поділу або гвинтового руху, виконують з використанням спеціальних розподільчих пристроїв.



Рисунок 1.7 – Універсально-фрезерний верстат

Горизонтально-фрезерний верстат відрізняється від універсально-фрезерного верстата відсутністю поворотного устрою, тобто. стіл верстата можна переміщати тільки перпендикулярно або разом із санчатами паралельно осі шпинделя.

Широко-універсальний фрезерний верстат (рисунок 1.8) на відміну горизонтально-фрезерного верстата має ще одну шпиндельну головку, змонтовану на висувному хоботі, яку можна повертати під будь-яким кутом у

двох взаємно перпендикулярних площинах. Можлива роздільна та одночасна робота обома шпинделями. Для більшої універсальності верстата на поворотній головці монтують накладну фрезерну головку, яка дозволяє обробити на верстаті деталі складної форми не тільки фрезеруванням, але і свердлінням, зенкуванням, розточуванням та інше.



Рисунок 1.8 – Широко-універсальний фрезерний верстат

Вертикальний консольно-фрезерний верстат (рисунок 1.9) на відміну від горизонтально-фрезерного має вертикально розташований шпиндель, який у деяких моделях верстатів допускає зміщення вздовж своєї осі та поворот навколо горизонтальної осі, розширюючи тим самим технологічні можливості верстата.



Рисунок 1.9 – Вертикальний консольно-фрезерний верстат

Іншою групою фрезерних верстатів є поздовжньо-фрезерні верстати (рисунок 1.10), які використовують для обробки великогабаритних деталей, головним чином, торцевими, а також циліндричними, кінцевими, дисковими та фасонними фрезами.



Рисунок 1.10 – Поздовжньо-фрезерний верстат

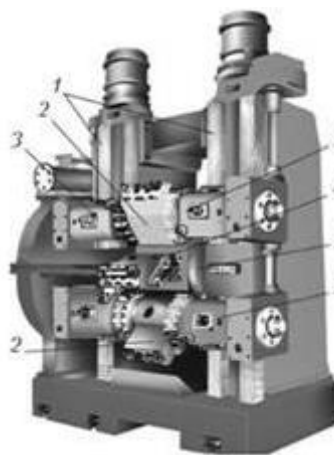
Верстати поділяються на одностійкові та двостійкові. У чотирьох-шпindelьному двостоїчному поздовжньо-фрезерному верстаті статина має стіл і портал, що складається з двох стійок і балки. По напрямних стійок переміщається траверса і дві горизонтальні поворотні фрезерні головки. Дві інші фрезерні головки переміщуються напрямними траверси. Обробку деталей можна проводити при столі, що рухається, і нерухомих фрезерних головках, при нерухомому столі і подачі головок або при одночасно рухаються столі і фрезерних головках.

Карусельно-фрезерні верстати (рисунок 1.11) призначені для обробки поверхонь різних деталей торцевими фрезами в умовах масового, великосерійного та одиничного виробництва. Верстат може мати один або кілька шпинделів. В останньому випадку один з шпинделів встановлюють фрезу для чистової обробки. Шпindelьна головка переміщається по вертикальним напрямним стійки. Конструктивною особливістю верстата цього типу є стіл, що безперервно обертається, який повідомляє встановленим на ньому деталям рух подачі. Таким чином, деталі послідовно вводять у зону обробки.



Рисунок 1.11 – Карусельно-фрезерний верстат

Барабанно-фрезерні верстати (рисунок 1.12) застосовують при обробці поверхонь корпусних деталей в умовах масового та багатосерійного виробництва. Заготовки, що обробляються, закріплюють на обертовому барабані 5 і отримують від нього рух подачі, чотири фрезерні головки 3 (дві верхніх – для чорнової обробки, а дві нижні – для чистової) встановлені на двох стійках 1 і переміщуються по вертикальних напрямних.



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

Рисунок 1.12 – Барабанно-фрезерний верстат

Шпонково-фрезерні верстати призначені для фрезерування врізних шпонкових канавок кінцевими фрезами. Існують два способи прорізання

шпонкових канавок. При першому способі фреза спочатку врізається на повну глибину канавки, а потім переміщається поздовжньому напрямку. При другому способі (маятниковому) фреза здійснює зворотно-поступальний рух уздовж шпонкової канавки, врізаючись після кожного ходу деяку глибину.

Вертикальний шпонково-фрезерний верстат (рисунок 1.13) має основу, на якій встановлена стійка. По вертикальним направляючим стійки переміщається консоль. Стіл верстата має тільки настановне поперечне переміщення напрямних консолі. На верхній частині стійки закріплена головка з поздовжніми направляючими для шпиндельної каретки, що рухається зворотно-поступально. Шпиндельний вузол каретки переміщається по вертикалі в кінці кожного робочого ходу на задану глибину різання.

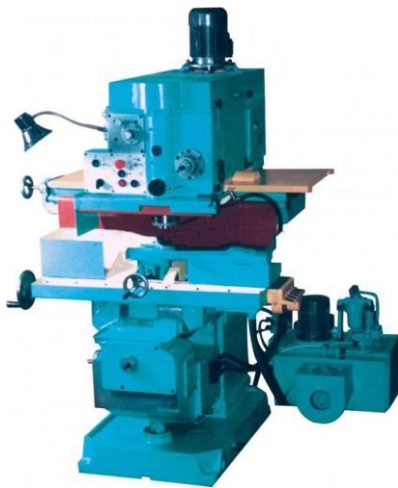


Рисунок 1.13 – Шпонково-фрезерний верстат

Фрезерно-центрувальні верстати призначені для двостороннього фрезерування та зацентрування торців валиків, які потім обробляють на токарному верстаті. На рисунку 1.14 показаний один із фрезерно-центрувальних верстатів. На поздовжніх напрямних станини розташовані дві каретки, по напрямних яких у поперечному напрямку переміщаються фрезерні свердлильні головки. Заготовку закріплюють у лещатах, встановлених нерухомо на станині. Заготовку обробляють послідовно – при переміщенні кареток з головками спочатку фрезерують торці заготовки, а потім, коли

каретка доходить до упору, включають головки свердлильні і проводять зацентровку торців.



Рисунок 1.14 – Фрезерно-центрувальний верстат

На верстаті можна фрезерувати обидва торці, свердлити центрові отвори і одночасно розвантажувати завантажувати заготовки, що значно підвищує продуктивність верстата [6].

1.4 Аналіз класифікацій верстатів з ЧПК

Числове програмне керування верстатом – це керування обробкою заготовки на верстаті за керуючою програмою, якої дані задані у цифровій формі. За характером руху виконавчих органів системи ЧПК класифікуються на:

- позиційні;
- контурні;
- універсальні;
- синхронні.

При позиційному управлінні переміщення робочих органів верстата відбувається в задані точки, причому траєкторія переміщення не задається.

Позиційні пристрої ЧПК забезпечують автоматичне переміщення робочого органу верстата в координату, задану програмою, без обробки у процесі переміщення робочого органу. Ці пристрої застосовують у свердлильно-розточувальних та інших верстатах. Переміщення інструменту від однієї точки (координати) обробки до іншої виконується на прискорені ходи. Специфічним для цього класу УЧПК є вимога забезпечення точності тільки при зупинці у заданій координаті. Вид траєкторії при переміщенні з однієї координати в іншу не задається. Однак час переміщення має бути мінімальним. Враховуючи значний відсоток холостих ходів у верстатах з позиційними системами ЧПК, до приводу подач висуваються вимоги високої швидкодії та забезпечення значних швидкостей переміщення за малої дискретності [7].

Контурне управління характеризується переміщенням органів верстата по заданій траєкторії та із заданою швидкістю для одержання необхідного контуру деталі. Контурне керування підрозділяється на контурні прямокутні системи ЧПК, контурні криволінійні системи ЧПК та синхронні системи ЧПК. Контурні прямокутні системи ЧПК використовують у верстатах, у яких обробка проводиться лише під час руху по одній координаті та оброблювана поверхня паралельна напрямним даної координати.

Контурні криволінійні системи ЧПК застосовують у верстатах багатьох груп. Вони забезпечують формоутворення при обробці в результаті одночасного узгодженого руху за кількома керованими координатами. Програму руху виконуваних органів за окремими координатами при контурній та об'ємній обробках розраховують, виходячи із заданої форми оброблюваної поверхні деталі та результуючої швидкості руху, що визначається режимом різання. Узгодження приводу подач може призвести до помилки обробки контуру [8].

Різновидом контурних систем ЧПК є синхронні системи, які застосовуються в основному в зубообробних верстатах. УЧПК задає постійне співвідношення швидкостей по двох або більшій кількості координатних осей верстата, а формоутворення забезпечується завдяки конфігурації інструменту.

Співвідношення швидкостей руху по осях задається програмою і зберігається на весь час обробки заготовки цієї деталі. У більшості випадків потрібно не тільки забезпечити певне співвідношення середніх швидкостей руху за координатами, а й зберегти певну неузгодженість у приводах координат. Одна з координат верстата (зазвичай головний привід) служить і на ній встановлюють вимірювальний перетворювач (датчик).

Універсальне управління поєднує у собі принципи позиційного та контурного, дозволяє здійснювати позиціонування та рух робочих органів верстата за заданою траєкторією. Таке управління найефективніше для багатоопераційних та багатоцільових верстатів.

За кількістю потоків інформації системи можуть бути:

– розімкнуті (один потік від ЧПК до верстата). Основна перевага такої системи – простота;

– замкнуті (два потоки від ЧПК до верстата) та навпаки (датчики положення швидкості). Основна перевага – більш точне переміщення виконавчих органів;

– адаптивні системи уявляють собою керування, при якому забезпечується автоматичне пристосування процесу до умов обробки, що змінюються, за певними критеріями. Вони крім основного потоку інформації мають додаткові, що дозволяють коригувати процес обробки з урахуванням деформації технологічної системи, затуплення ріжучого інструменту, коливання припуску та твердості заготовок та інше.

1.5 Огляд матеріалів для фрезерування

Плитний модельний пластик пропонується в широкому розмірному ряду та різної щільності. До переваг цього матеріалу прийнято відносити:

– простий у обробці; має щільну поверхневу структуру;

– краї (краї) відрізняються значною геометричною стабільністю;

– відрізняється високим опором стиску;

- теплової деформації піддається лише за високих температур;
- демонструє суттєву стійкість до розчинників.

Поліуретан низької щільності розрахований на створення виробів будь-якого призначення: дизайн або майстер моделей, шаблонів, що застосовуються для калібрування, технічного оснащення, вихідних форм для незначних партій товару (вакуум-формуванням або за технологією RIM), моделей, за якими надалі виконується лиття.

Отримання необхідної продукції із пластику за допомогою фрезерування передбачає використання різних вихідних матеріалів. Найчастіше застосовувані:

– HLP. Це маркування паперово-шаруватого декоративного пластику. Є конструкційним та облицювальним матеріалом високого тиску. До властивостей, що зумовили його затребуваність, належать:

- наявність декоративної поверхні;
- можливість застосування всередині та зовні приміщень;
- висока стійкість до механічних пошкоджень, прямого УФД, несприятливих погодних умов.

Виготовляється з кількох аркушів спец. папери (крафт), за допомогою їх просочення синтетичними смолами, що належать до групи термореактивних. Останні, при виготовленні матеріалу, запресовуються під великою температурою в структуру вихідних аркушів папери. Волокна останньої заповнюються та змінюється хімічний склад матеріалу. На виході виходить монолітний пластик, з дуже привабливими експлуатаційними характеристиками. Пропонується у широкому діапазоні товщин від 0,6 мм до 2,5 мм. Пластик цього типу допускає широкий спектр декорування: під натуральний камінь, деревину будь-якої породи, метал;

– АБС. Обробка цього пластику на фрезерних верстатах з ЧПК повністю безпечна і дуже популярна в таких галузях виробництва, як випуск електроінструменту, автомобілебудування, виробництво побутових електроприладів, іграшок, одноразового посуду, акумуляторів.

Це термопластичний полімер із високим ступенем еластичності. При цьому має належну стійкість до навантажень механічного характеру. Поверхня матеріалу – шорстка [9].

Область застосування акрилу практично не має жодних обмежень. Оскільки матеріал є полімером, у процесі обробки завжди є можливість надавати йому різноманітні форми. Професійне фрезерування акрилу вимагає грамотного налаштування обладнання, що застосовується. Спосіб підбору та використання якісних витратних матеріалів (фрез) дає можливість у результаті отримувати вироби чудової якості. Звичайний листовий акрил залежно від властивостей поділяється на два основні види: екструдований і литий. Візуально ці матеріали практично нічим не відрізняються, але технологія їх виготовлення завжди має враховуватися у процесі різання [10].

Фрезерування дерев'яних заготовок зазвичай проводиться в три етапи: один-два чорнові проходи, коли циліндрична кінцева фреза знімає значний шар матеріалу (припуск на обробку), і завершальний чистовий прохід – коли кінцева сферична або конусна фреза забезпечує необхідну чистоту поверхні. При обробці деревини фреза повинна мати можливість, подібно до свердла, порівняно глибоко занурюватися в матеріал. Щоб уникнути засмічення та поломки фрези, стружка повинна відводитися швидко, і тим інтенсивніше – чим більша швидкість обробки. Глибокі пази рекомендується проходити в кілька етапів. Оскільки обробка деревини призводить до рясного утворення стружки і дрібного пилу, рекомендується використовувати систему уловлювання стружки – щоб уникнути забруднення рухомих деталей і виходу верстата з ладу.

Твердими породами деревини вважаються бук, ясен, акації та інші. Вироби з цих матеріалів мають достатню міцність і довговічність, а їх фактура визначає привабливий зовнішній вигляд готового виробу. Швидкість фрезерування, особливо при чорнових проходах, може встановлюватись високою. Однак її надмірне збільшення веде до задирів волокон та погіршення якості поверхні (що може і не бути ліквідовано при подальшій чистовій

обробці). Працюючи з деревиною твердих порід завжди слід враховувати, чи відбувається різання вздовж волокон, чи поперек (так зване попутне, чи зустрічне) – особливо при фрезеруванні пазів. Існують спеціальні фрези, що дозволяють нівелювати цю відмінність, але лише частково. Енергетичні витрати на фрезерування твердої деревини виявляються вищими, що може позначитися на вартості готових виробів. Приклад фрезерування деревини наведений на рисунку 1.15.

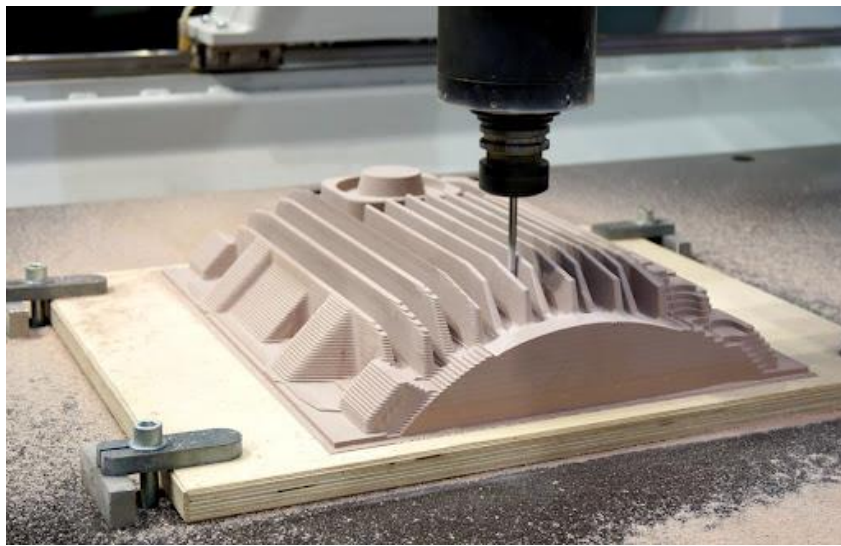


Рисунок 1.15 – Фрезерування деревини

Обробка м'яких порід деревини на верстаті з ЧПК має низку особливостей. По-перше, програма обробки виходить досить складною. Вона має містити безліч вкладень точного визначення позицій фрези кожному етапі обробки. Швидкість фрезерування встановлюється мінімальною, продуктивність випуску також знижується.

По-друге, незважаючи на загальну точність верстатного комплексу, фреза має неминучий люфт та отримання гострих граней, вершин (характерних для геометричного різьблення по дереву) неможливо. Крім того, обробка м'яких порід призводить до утворення найдрібнішого ворсу, який слід своєчасно видаляти, щоб уникнути порушень геометрії малюнка. Тим не менш, виконати якісне рельєфне або скульптурне різьблення в автоматичному

режимі на верстаті з ЧПК можливо.

Для цього необхідна точна 3D-модель готового виробу, на основі якої у таких програмах як ArtCAM, SprutCAM створюється програма обробки верстата. Складну тривимірну модель виробу можна створювати у програмах 3DMax, Rhinoceros тощо, або скористатися зйомкою прототипу з натури за допомогою тривимірного лазерного сканера [11].

1.6 Аналіз параметрів режимів обробки матеріалів

Правильний підбір режимів різання заготовок із того чи іншого матеріалу на фрезерному верстаті – дуже важливий аспект успішної експлуатації обладнання. Від правильного підбору цих режимів, відображених у технологічній карті обробки заготовки, багато в чому залежить термін експлуатації та цілісність інструменту та обладнання загалом.

У режими різання для фрези входять такі параметри:

- глибина різання;
- швидкість різання;
- подача;
- ширина фрезерування.

Швидкість різання V (м/хв) – це окружна швидкість переміщення ріжучих край фрези. Ця величина визначає ефективність обробки і лежить у рекомендованих кожному інструментального матеріалу межах. За один оберт фрези точка ріжучої кромки, що знаходиться на колі фрези діаметра D (мм), зможе пройти шлях, що дорівнює довжині кола, тобто πD . Для того щоб визначити довжину шляху, пройденого точкою за одну хвилину, потрібно помножити довжину шляху за один оберт на частоту обертання фрези, тобто πDN (мм/хв).

Частота обертання шпинделя N (об/хв) дорівнює числу оборотів фрези хвилину.

При фрезеруванні розрізняють хвилинну подачу, подачу на зуб та подачу на зуб оборот фрези. Подача на зуб F_Z (мм/зуб) – величина переміщення фрези чи робочого столу із заготовкою під час повороту фрези однією зуб. Подача на оборот F_O (мм/об) – величина переміщення фрези або робітника столу із заготовкою за один оборот фрези. Подача на оберт дорівнює добутку подачі на зуб на число зубів фрези Z :

$$F_O = F_Z Z. \quad (1.1)$$

Хвилинною подачею F_m (мм/хв) називається величина відносного переміщення фрези або робочого столу із заготовкою за одну хвилину. Хвилинна подача дорівнює добутку подачі на оборот на частоту обертання фрези:

$$F_m = F_O N = F_Z Z N. \quad (1.2)$$

Глибиною фрезерування h (мм) називається відстань між обробленою та необробленою поверхнями, що вимірюється вздовж осі фрези.

Шириною фрезерування b (мм) називається величина припуску, що зрізається, виміряна в радіальному напрямку, або ширина контакту заготовки та інструменту.

Продуктивність зняття матеріалу Q (см³) – це обсяг матеріалу, що видаляється в одиницю часу, який визначається глибиною, шириною обробки і величиною подачі [4].

1.7 Висновки до розділу 1

У першому розділі розглянуто різні види верстатів, їх особливості та типи матеріалів, які можуть оброблятися на цих верстатах. Проаналізовані

параметри режимів обробки матеріалів.

Дослідивши різні матеріали, що можуть оброблятися на фрезерних верстатах з ЧПК, для подальшого дослідження було обрано саме акрил через те, що відсутність термічного впливу не впливає на властивості матеріалу. Контури будуть виходити чіткими та без слідів нагару і напливів. До того ж акрил має дуже великий спектр застосування.

Таким чином, на основі проведеного аналізу сформульовано завдання для подальших досліджень, а саме: для проведення експерименту необхідно провести додатковий аналіз факторів, що впливають на якість оброблюваної поверхні, обрати верстат з ЧПК, на якому проводитимуться дослідження, та провести дослідження впливу параметрів фрезерування на якість оброблюваних деталей.

2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ФРЕЗЕРУВАННЯ НА ПАРАМЕТРИ ВИРОБІВ

2.1 Аналіз методів моделювання параметрів технологічних процесів

2.1.1 Сутність моделювання та види моделей

Моделювання – це побудова (або вибір із вже існуючих) моделі, її вивчення та використання з метою отримання нових знань про досліджуваний об'єкт. Моделі характеризуються трьома основними ознаками:

- належністю до певного класу завдань (наприклад, керування технологічними процесами, керування технічними об'єктами, планово-економічні завдання тощо);
- належністю до певного класу об'єктів (фізичні, біологічні тощо);
- способом реалізації.

Формальна модель є представленням концептуальної моделі за допомогою формальних чи алгоритмічних мов. До формальних належать математичні та інформаційні моделі.

З загальнонаукового погляду математичне моделювання – це ідеальне наукове знакове формальне моделювання, у якому опис об'єкта складається мовою математики, а дослідження моделі проводиться за допомогою тих чи інших математичних методів.

Щоб математичну модель можна було використати для дослідження реального об'єкта, вона має задовольняти таким вимогам:

- бути практично корисною;
- бути адекватною реальному об'єкту;
- бути адекватною розв'язуваним завданням.

Математичні моделі класифікуються за такими ознаками:

- складність об'єкта моделювання. Усі об'єкти моделювання можна розділити на дві групи: прості об'єкти та об'єкти-системи. При моделюванні

простих об'єктів не розглядається внутрішня будова об'єкта, не виділяються елементи, що його складають, або підпроцеси. Для складних систем характерна наявність великої кількості взаємозалежних та взаємодіючих елементів. Їхня поведінка багатоваріантна. При моделюванні об'єктів-систем виникають великі проблеми. Моделі об'єктів-систем, що враховують властивості та поведінку окремих елементів, а також взаємозв'язки між ними, називаються структурними моделями;

- оператор моделювання (підмодель). Оператор моделі визначається сукупністю рівнянь. Якщо оператор забезпечує лінійну залежність вихідних чинників від вхідних, математична модель називається лінійною. В іншому випадку модель називається нелінійною;

- вхідні та вихідні параметри моделі. Залежно від виду використовуваних множин параметрів моделі поділяються на якісні та кількісні, дискретні та безперервні, змішані;

- цілі моделювання. Залежно від мети моделювання виділяють дискриптивні, оптимізаційні, управлінські моделі. Метою дискриптивних моделей є встановлення законів зміни параметрів моделі. Оптимізаційні моделі призначені для визначення оптимальних (найкращих) з погляду деякого критерію параметрів об'єкта та технологічних режимів. Управлінські моделі використовуються для прийняття ефективних управлінських рішень;

- метод реалізації моделі. Залежно від методу реалізації виділяють аналітичні й алгоритмічні математичні моделі. Метод є аналітичним, якщо він дозволяє одержати вихідні фактори у вигляді аналітичних виразів. Аналітичні методи бувають алгебраїчними та наближеними. У алгоритмічних моделях математичні співвідношення об'єкта дослідження замінюються алгоритмом. Алгоритмічні моделі бувають чисельними та імітаційними.

Моделювання може бути статичним та динамічним. Статичним називається моделювання, при якому серед параметрів об'єкта та моделі відсутній час і самі параметри об'єкта з часом не змінюються. При динамічному моделюванні об'єкт дослідження та його параметри у часі суттєво змінюються.

Моделювання може бути детермінованим та стохастичним. Детерміноване моделювання відображає детерміновані процеси, тобто процеси, в яких передбачається відсутність будь-яких випадкових впливів; стохастичне моделювання відображає імовірнісні процеси та події.

Технологічні процеси виробництва, особливо процеси обробки різанням матеріалів, дуже складні за своєю фізико-хімічною природою. Найчастіше для побудови моделей об'єктів за результатами експериментальних досліджень використовують математичний апарат регресійного та кореляційного аналізу.

Основне завдання кореляційного аналізу – виявлення значущості зв'язку між значеннями різних випадкових величин. Залежність між величинами (у тому числі і випадковими), при яких одному значенню однієї величини (аргументу) відповідає одне або кілька цілком визначених значень іншої величини, називається відповідно однозначною або багатозначною функціональною залежністю.

Математичний апарат регресійного аналізу дозволяє:

- оцінити невідомі параметри запропонованої для дослідження регресійної моделі;
- перевірити статистичну значущість параметрів моделі;
- перевірити адекватність моделі;
- оцінити точність моделі.

Вигляд регресійної моделі пропонує сам дослідник, причому він виходить із наступного:

- фізичної сутності досліджуваного об'єкта чи явища;
- характеру експериментального матеріалу;
- аналізу апріорної інформації [12].

2.1.2 Множинна лінійна регресія

Модель, побудована на основі рівняння регресії, є регресійною моделлю. Оскільки у нас у роботі буде регресійний аналіз, то розглянемо основи побудови регресійних моделей для об'єкта з кількома змінними вхідними (рисунок 2.1).

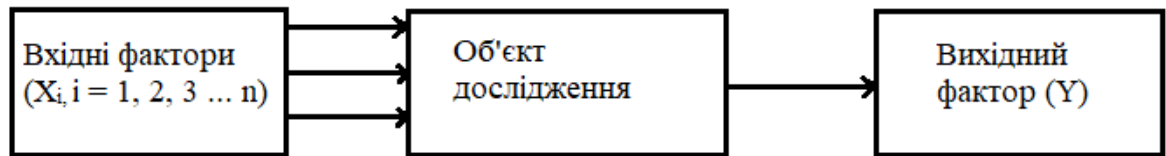


Рисунок 2.1 – Об'єкт дослідження з кількома вхідними факторами

Для побудови моделі необхідно мати дані експериментальних досліджень об'єкта, представлені у вигляді таблиці, де кожна комбінація значень вхідних факторів відповідає значенням вихідного фактора.

Моделювання об'єкта зі складним зовнішнім впливом у вигляді кількох вхідних факторів, як і для об'єкта з одним вхідним фактором, починається з лінійної моделі. Якщо мати необмежено велику кількість експериментальних точок, то лінійна регресійна модель із кількома вхідними змінними має такий вигляд:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3, \quad (2.1)$$

де Y – відгук, що описує відхилення геометричних розмірів заготовки;
 b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти лінійної регресії впливу факторів на відгук;
 x_1, x_2, x_3 – параметри впливу на відгук.

2.1.3 Оцінка адекватності та точності багатфакторної лінійної моделі

Адекватність моделі характеризує відповідність моделі експериментальним даним та статистичну значущість рівняння регресії. Адекватність регресійної моделі оцінюється коефіцієнтом Фішера за формулою

$$F_{\text{розр}} = \frac{\sum_{i=1}^m (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2}. \quad (2.2)$$

Розрахункове значення коефіцієнта ($F_{\text{розр}}$) необхідно порівняти з

табличним значенням ($F_{табл}(m, a)$), де m – загальна кількість експериментальних спостережень, а – рівень значущості – ймовірність, з якою правильна гіпотеза про модель може бути відкинута як неправильна. Зазвичай у моделюванні використовують значення $a = 0,05; 0,01$. Однак для багатофакторних моделей табличне значення F -критерію залежить ще й від числа вхідних змінних. Якщо $F_{розра} > F_{табл}$, то модель вважається адекватною, а регресія статистично значущою. Якщо $F_{розра} < F_{табл}$, то регресійна модель неадекватна і регресія статистично незначна.

Для оцінки точності регресійних моделей із кількома вхідними змінними використовується множинний коефіцієнт кореляції (R^2), що визначається за формулою

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2}. \quad (2.3)$$

Відношення R^2 характеризує тісноту зв'язку між вихідною змінною та вхідними змінними. Область визначення відношення R^2 лежить у межах від 0 до 1. При $R^2 = 0$ вихідний фактор Y лінійно не залежить від вхідних факторів x_1, x_2, \dots, x_k – можна сказати, що кореляційний зв'язок між вихідним фактором та вхідними факторами відсутній.

При $R^2 = 1$ вихідний фактор Y лінійно залежить від вхідних факторів x_1, x_2, \dots, x_k – є сильний кореляційний зв'язок. Чим вище значення R^2 , тим тісніше зв'язок у моделі між вихідною змінною (фактором) і вхідними змінними (факторами), тим точніше, а отже, краще математична модель. Якщо модель має низьке значення R^2 , вона має низьку точність оцінки та передбачення поведінки чи властивостей об'єкта. Використовувати таку модель для дослідження, опису та передбачення об'єкта не рекомендується. З кількох моделей для дослідження вибирається та, у якої відношення R^2 має найбільше значення [13].

Таким чином, для побудови регресійної моделі необхідно провести аналіз режимів фрезерної обробки матеріалів та показників якості обробки матеріалів.

2.2 Параметри режиму різання при фрезеруванні

Щоб досягти стабільної, високопродуктивної роботи фрезерного верстата та зберегти інструмент від передчасного зношування, потрібно правильно вибрати режим різання. Для різних видів матеріалів необхідно задавати різні параметри обробки, тобто переналаштовувати величину подачі, швидкість різання, частоту обертання заготовки/інструмента верстата.

Параметри різання – це комплекс характеристик, які необхідно встановити для обробки заготовки відповідно до технологічного маршруту конкретним різальним інструментом.

Основними параметрами різання є:

- частота обертання n , об/хв;
- діаметр інструменту d_c , мм;
- швидкість різання v_c , м/хв – рівняння 1;
- швидкість подачі v_f , мм/хв – рівняння 2;
- подача на оборот f_n , мм/об;
- подача на полотно/зуб f_z , мм/зуб – рівняння 3;
- ширина a_e та глибина різання a_p , мм.

До додаткових параметрів відносяться: матеріал заготовки, кількість ріжучих кромки та інші характеристики, що впливають на кінцевий результат фрезерування [14].

Швидкість подачі розраховується за формулою:

$$v_f = f_z \cdot n \cdot Z, \quad (2.4)$$

де Z – кількість пазів.

Швидкість подачі в основному залежить від вимог до точності обробки та шорсткості поверхні деталей, а також від вибору матеріалу інструменту та заготовки. Максимальна швидкість подачі обмежена жорсткістю верстата та можливостями системи подачі [15].

Швидкість різання розраховується за формулою

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000}. \quad (2.5)$$

Швидкість шпинделя розраховується за формулою

$$n = \frac{v_f \cdot 1000}{\pi \cdot D_c}. \quad (2.6)$$

Подача на полотно/зуб розраховується за формулою

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z}. \quad (2.7)$$

Подача на оборот розраховується за формулою

$$f_n = \frac{v_f}{n}. \quad (2.8)$$

Швидкість знімання металу розраховується за формулою

$$Q = \frac{AP \cdot a_e \cdot v_f}{1000}, \quad (2.9)$$

де AP – осьова глибина різання;

a_e – радіальна глибина різання.

Корисна потужність розраховується за формулою:

$$P_c = \frac{a_e \cdot AP \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6}, \quad (2.10)$$

де k_c – питома сила різання.

Обертаючий момент розраховується за формулою [16]

$$M_c = \frac{P_c \cdot 30 \cdot 10^3}{\pi \cdot n} . \quad (2.11)$$

2.3 Показники якості обробки поверхні

Чистота поверхні – це характер поверхні, що визначається трьома характеристиками: укладання, шорсткість поверхні та хвилястість. Термін чистота поверхні не визначений правильно і, як правило, використовується дизайнерами та інженерами як синонім шорсткості поверхні, текстури поверхні та топографії поверхні.

Під обробкою поверхні мається на увазі загальний опис поверхні, включаючи текстуру поверхні, дефекти поверхні, добавки до матеріалів та будь-які покриття. Що стосується виробничих процесів, таких як обробка на верстаті з ЧПК та лиття металу, виробники зазвичай використовують обробку поверхні для позначення текстури поверхні.

Текстура поверхні вимірює загальну текстуру поверхні, що визначається її рельєфом, шорсткістю та хвилястістю. Рисунок 2.2 ілюструє, як слід розуміти зв'язок між хвилястістю, укладанням та шорсткістю.



Рисунок 2.2 – Характеристики поверхні текстури

Шорсткість поверхні вимірює близько розташовані нерівності або зміни, такі як сліди різального інструменту та сліди шліфувального кола на текстурі поверхні. Відхилення вимірюються від ідеальної площинності чи гладкості поверхні. Зазвичай, його кількісно виражають у термінах середнього відхилення профілю поверхні від середньої лінії або площини.

У той час як шорсткість поверхні відноситься до близьких нерівностей на поверхні, хвилястість поверхні відноситься до ширших нерівностей або хвиль, які можна побачити і відчувати на дотик. Відхилення хвилястості вимірюється від ідеальної поверхні і повторюється через довгі інтервали, ніж глибина.

Surface Lay – це термін, який використовується для позначення напрямку домінуючого текстурного малюнка на поверхні.

Дефекти обробки поверхні – це випадкові нерівності, що виникли в процесі виробництва, такі як вм'ятини, сліди від вібрації інструменту, подряпини, отвори та тріщини.

Залежно від конкретного виробничого процесу текстура поверхні і час виробництва можуть бути пов'язані між собою декількома способами.

Загалом досягнення певного рівня текстури поверхні може вимагати додаткового часу і зусиль під час виробництва. Наприклад, якщо для продукту потрібна полірована поверхня, для досягнення бажаної текстури можуть знадобитися додаткові етапи, такі як шліфування, полірування або полірування. Ці додаткові кроки можуть збільшити час виробництва продукту. Залежність шорсткості від часу виготовлення зображена на рисунку 2.3.

Важливо відзначити, що взаємозв'язок між текстурою поверхні і часом виробництва варіюватиметься в залежності від конкретного виробничого процесу, що використовується, і вимог до текстури поверхні продукту [17].

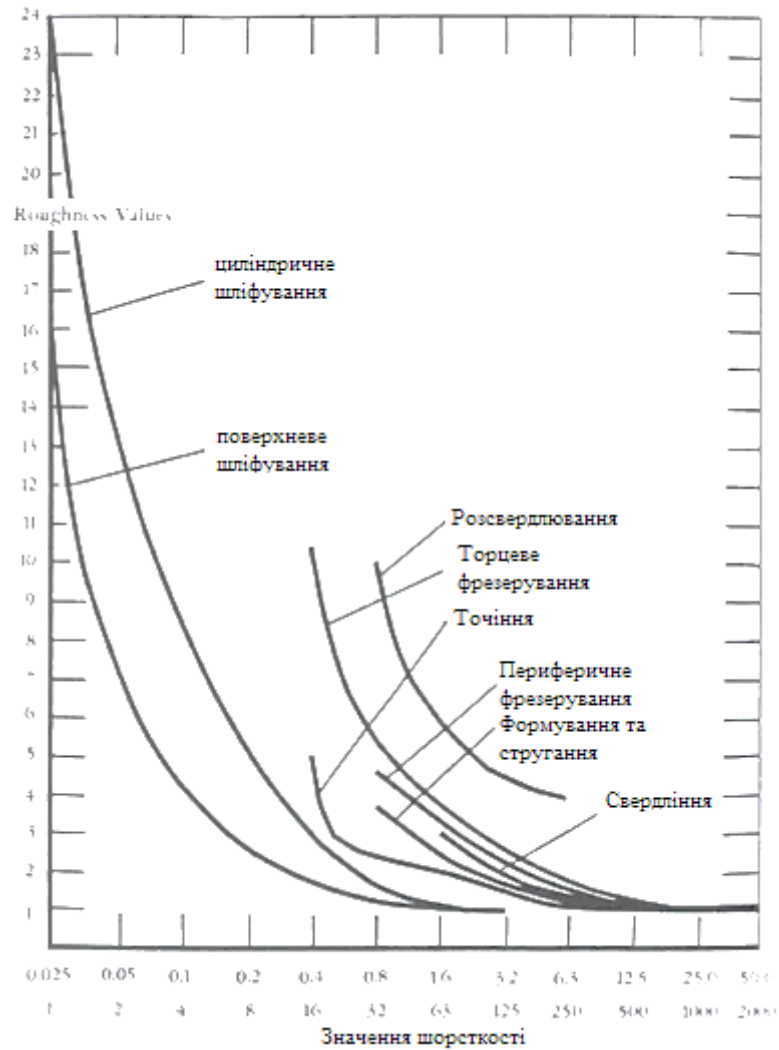


Рисунок 2.3 – Шорсткість поверхні в залежності від часу виготовлення

Щоб визначити фактичне значення шорсткості, деталь, візуально або органолептичним методом (на дотик) порівнюють з еталонною версією. Кожен зразок маркується. На ньому проставляються величини параметра R_a у мкм, вказується вид обробки (у нашому випадку, фрезерування). Візуально, з прийнятною точністю доступна оцінка поверхні, у якої $R_a \geq (6/10 - 8/10)$ мкм. Якщо потрібна висока точність, застосовуються мікроскопи порівняння (варіант, щупи) [18]. На рисунку 2.4 зображений складний набір зразків шорсткості від Руберту для порівняння оброблених поверхонь шляхом візуального та тактильного порівняння із зразками.

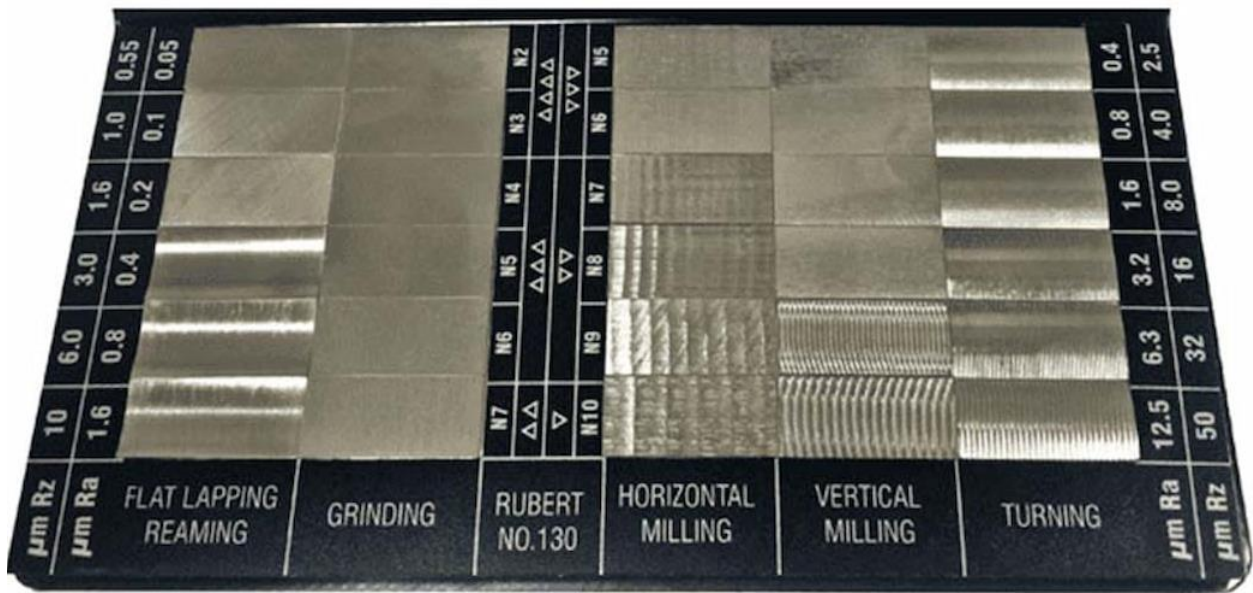


Рисунок 2.4 – Складний набір зразків шорсткості від Руберту [19]

Нормування та кількісна оцінка шорсткості передбачає 6 базових параметрів: трьох висотних – з першого по третій, пари крокових – 4, 5, одного, що задає опорну довжину профілю, що розглядається (відносно):

- перший параметр R_a – так позначають середнє арифметичне, що вказує на величину відхилення профілю;
- другий, R_z – висота наявних нерівностей;
- третій, R_{max} – максимальна висота профілю;
- четвертий, S – позначається середній крок, який мають місцеві виступи досліджуваного профілю;
- п'ятий, S_m – аналогічний показник для нерівностей, які має профіль;
- шостий, t_p – позначає опорну довжину профілю, що оцінюється (опорного). Літера « p » – величина перерізу профілю.

Комплекс вимог, що висуваються до шорсткості (Ш), задається з урахуванням функціонального призначення поверхні, що оцінюється, заданих конструктивних особливостей і відмінностей деталі, можливості отримання подібних параметрів методами обробки виробу, іменованими раціональними. Вибираючи конкретні параметри (Ш), що нормуються, слід брати до уваги вплив, який виявляється ними на експлуатаційні характеристики поверхні.

Першочерговим, у всіх випадках, вважається нормування висотних характеристик (параметрів). Найбільш часто застосовується R_a , в силу його максимальної інформативності і забезпечення високоточними засобами вимірювання.

R_z використовується, коли нормуються:

- незначні нерівності, величина яких укладається в діапазон, що вимірюється в мікрометрах – від 0,025 до 0,10;
- на поверхнях, що мають незначні розміри, на яких прилади, що обмацують, використовувати неможливо;
- якщо мова йде про нормування вимог, що висувуються до грубих (значних) нерівностей поверхні (мкм) – (від 10 до 1600).

Перехідні формули цих параметрів виглядають так:

- при величині R_z від 8 мкм і вище – $R_a 0,25 \approx R_z$;
- у випадках, коли цей показник менш зазначеного значення, $R_a \approx 0,20R_z$.

Причиною появи шорсткості при фрезеруванні є:

- ріжучий клин фрези сколює матеріал із заготовки нерівномірно;
- ріжуча кромка може мати дефекти (включаючи природне зношування);
- сила різку, що підвищилася в місці обробки температура, інші фактори зовнішнього характеру можуть порушити правильний контакт інструменту та заготовки, деформували систему взаємодії вузлів та елементів верстата, пристосування для закріплення інструменту, фрези, заготовки [18].

2.4 Висновки до розділу 2

У даному розділі були розглянуті параметри режимів різання у процесі фрезерування та проаналізовано, на які характеристики виробу вони впливають.

Виявлено, що для різних матеріалів потрібно точно підбирати параметри фрезерування, тому що вихідна якість виготовленої продукції напряму залежить від того, як налаштувати верстат.

Таким чином, на основі проведеного аналізу для проведення експерименту були обрані наступні параметри:

- частота обертання;
- швидкість подачі;
- глибина різання.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ФРЕЗЕРУВАННЯ

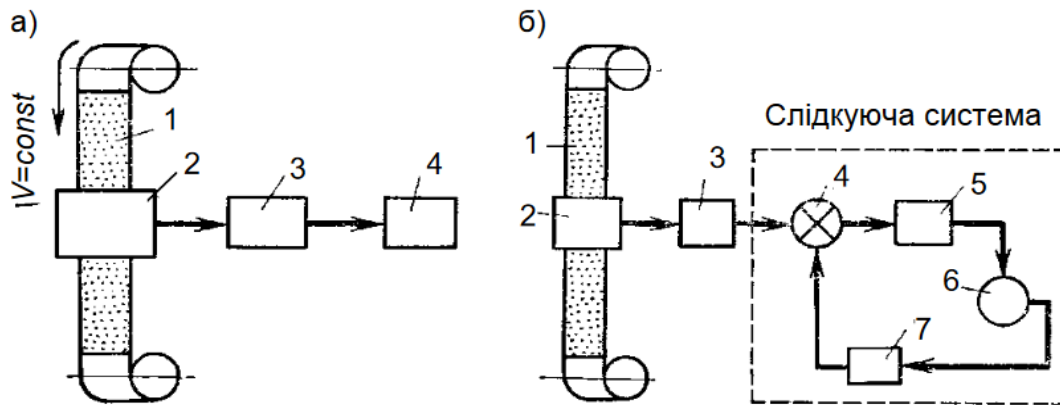
3.1 Методи керування верстатами з ЧПК

Система ЧПК базується на автоматичному переміщенні робочих органів верстата за програмою, записаною визначеним кодом на носіях програм. Програму записують поза верстатом відповідно до кресленика та структури оброблюваної деталі. Програмоносії переміщається із постійною швидкістю відносно зчитувального пристрою. Після подачі сигналу робочий орган починає переміщатися по своїх напрямних із визначеною швидкістю руху доти, поки не надійде наступний сигнал на зупинку, зміну швидкості чи напрямку руху робочого органу. Застосування систем із ЧПК дозволяє також одержувати різні (оптимальні) режими різання для кожного з переходів обробки деталі. Верстати з ЧПК забезпечують високу якість деталей, що на них оброблюються, не вимагають часу та засобів на виготовлення упорів, копирів та інших складних металевих деталей. Використання ЕОМ для підготовки програми дозволяє централізувати складання програми й автоматизувати підготовку самих програм [20].

Розглянемо можливі методи керування верстатами з ЧПК:

- метод із прямим зв'язком;
- метод зі зворотнім зв'язком;
- методи адитивних, інтелектуальних та робастних систем керування [21].

У системі з ЧПК без зворотного зв'язку (рисунок 3.1, а) програмоносії 1 із записаною програмою вводиться в дешифратор 2 (зчитувальний пристрій). На виході з дешифратора виникають сигнали, що надходять у проміжний пристрій 3 і далі – у виконавчий 4 (привод робочого органу). Відповідність дійсного переміщення робочого органу та заданого програмою не контролюється.



а – без зворотного зв'язку; б – зі зворотним зв'язком

Рисунок 3.1 – Схема роботи системи ЧПК

У системі ЧПК зі зворотним зв'язком (рисунок 3.1, б) ведеться неперервне зіставлення дійсного переміщення робочого органу (чи дійсного розміру деталі) із заданим програмою. Програмоносії 1 вводиться в дешифратор 2, що подає сигнал через проміжний пристрій 3 у порівняльний пристрій 4, підсилювач 5 і двигун виконавчого пристрою 6. Рух робочого органу контролюється вимірювачем – перетворювачем 7 (датчик зворотного зв'язку). Перетворені результати вимірювання подаються у пристрій 4, де вони порівнюються із сигналами, що надходять від дешифратора 2. За різниці між фактичним значенням переміщення робочих органів і заданим за програмою, на вихід порівняльного пристрою 4 подається сигнал неузгодженості. Цей сигнал надходить у підсилювач 5 і у виконавчий пристрій 6, що проводить зміну (регулювання) руху робочого органу відповідно до програми [20].

Далі САУ класифікуються за:

– алгоритмом функціонування;

1) системи стабілізації – підтримання регульованого параметра на заданому рівні;

2) програмне управління – алгоритм заданий у функції часу, де вихідна величина змінюється в часі за заданим законом;

3) слідкуючі системи – алгоритм функціонування заздалегідь не відомий, де регульована величина має відтворювати зміну деякої зовнішньої

величини;

4) екстремальні системи – показник якості або ефективності процесу може бути виражений у вигляді функції параметрів системи, а сама функція має екстремум (максимум чи мінімум) [22];

5) системи оптимального управління – система автоматичного керування, що здійснює найкраще керування за яким-небудь показником якості при заданих обмеженнях;

6) адаптивні системи – деякі параметри об'єкту управління та інших елементів системи можуть змінюватися;

– за видом диференціальних рівнянь, що описують систему:

1) лінійні (статичні характеристики всіх елементів є прямолінійними);

2) нелінійні (статична характеристика є нелінійною).

– за характером сигналів в основних елементах:

1) безперервні;

2) дискретні – безперервний вхідний сигнал перетворюється на виході у послідовність імпульсів [23].

3.2 Опис використовуваних компонентів верстата

Для проведення дослідження було використано готовий саморобний фрезерний верстат з ЧПК. Для переміщення робочого органу ЧПК-верстата використовується двофазний кроковий двигун NEMA 17 (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Двигун Nema 17

Технічні характеристики Nema 17 17HS4401:

- кутовий крок: $1,8 \pm 5 \%$ (1 оборот – 200 кроків);
- кількість фаз: 2;
- діапазон робочих температур: від $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+85 \text{ }^\circ\text{C}$;
- номінальний струм: 1,5 А;
- номінальна напруга: 3,6 В DC;
- опір фази: $1,5 \pm 15 \%$ Ом;
- індуктивність фази: $2,8 \pm 20 \%$ мГн;
- крутний момент: $40 \text{ Н} \cdot \text{см}$ ($4,1 \text{ кг} \cdot \text{см}$);
- опір ізоляції: 100 МОм;
- діаметр валу: 5 мм;
- довжина валу: 24 мм;
- з'єднувач: 4 PIN;
- габарити корпусу: $42 \text{ мм} \times 42 \text{ мм} \times 40 \text{ мм}$;
- відстань між отворами для фіксації: 31 мм;
- вага: 0,28 кг.

Його переваги – довговічність, висока точність, надійність, здатність швидкого старту, реверсу чи зупинки, а також здатність позиціонування без зворотного зв'язку [24]. Як робочий інструмент буде використовуватися шпиндель на базі двигуна RS-775 із патроном цанговим C16-ER11A-35L (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Шпиндель фрезерного верстата

Технічні характеристики:

- потужність – 120 Вт;
- максимальний струм – 5 А;
- оберти до 12000 об/хв;
- діаметр корпусу – 45 мм;
- довжина корпусу – 125 мм;
- цанговий патрон – ER 11 [25].

Для перетворення струму у даному проєкті був обраний частотний перетворювач (рисунок 3.4).

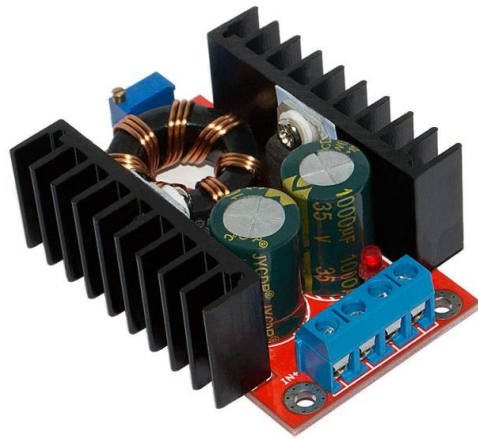


Рисунок 3.4 – Частотний перетворювач

Технічні характеристики:

- вхідна напруга – від 10 В до 32 В;
- вихідна напруга – від 12 В до 35 В;
- максимальна вихідна потужність – 150 Вт;
- ефективність – 94 %;
- максимальна вихідна сила струму – 10 А;
- струм споживання холостого ходу – 25 мА;
- регулювання напруги – 0,5 %;
- регулювання навантаження – 2,5 %;
- робочий діапазон температур – від -40 °С до +85 °С [26].

3.3 План проведення дослідження

Виходячи зі сказаного раніше у процесі фрезерної обробки різанням одними з основних впливових параметрів для якості виробу є:

- частота обертання;
- швидкість подачі;
- глибина різання;
- фізичні властивості оброблюваного матеріалу.

У цьому дослідженні серед фізичних параметрів найбільше уваги буде приділено анізотропії (однорідності матеріалу). Тому як зразок було обрано матеріал акрил (рисунок 3.5). На сьогодні область застосування акрилового пластику досить широка. Він використовується на господарських будівлях, ним перекривають теплиці, огорожують територію, зводять прозорі перегородки та використовують у зовнішній рекламі. Досліджувалася обробка заготовок розмірами 120 мм × 150 мм.



Рисунок 3.5 – Досліджувані зразки з акрилу

Також, якщо не правильно обрати оптимальні параметри частоти обертання шпинделя та швидкість обробки, які є суттєво вужчими, ніж під час обробки дерева або пластику, то це може призвести до прискореного зношування ріжучого інструменту та істотного зниження якості обробки.

Отже, суть дослідження полягає у виявленні найбільш відповідних значень параметрів фрезерної обробки, враховуючи такі параметри готових виробів, як:

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

Виходячи з доступних технічних характеристик верстата, був обраний наступний спектр параметрів:

- частота обертання шпинделя – від 1500 об/хв до 6000 об/хв зі зростанням на 1500 об/хв для кожного вимірювання;
- швидкість подачі – від 100 мм/хв до 200 мм/хв зі зростанням на 20 мм/хв для кожного вимірювання;
- глибина різання буде 0,5 мм та 1 мм.

3.4 Хід дослідження

Згідно з планом проведення експерименту було оброблено 48 зразків акрилу (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Обробка експериментального зразка акрилу на фрезерному верстаті з ЧПК

Після цього за допомогою мікрометра були виміряні геометричні розміри кожного зразка, результати вимірювань наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань

№	Відхилення, мм	Швидкість подачі, мм/хв	Частота обертання, об/хв	Глибина різь, мм
1	0,0114	100	1500,00	0,5
2	0,0116	120	1500,00	0,5
3	0,0126	140	1500,00	0,5
4	0,0125	160	1500,00	0,5
5	0,0121	180	1500,00	0,5
6	0,011	200	1500,00	0,5
7	0,011	100	1500,00	1,0
8	0,0117	120	1500,00	1,0
9	0,0124	140	1500,00	1,0
10	0,0129	160	1500,00	1,0
11	0,0118	180	1500,00	1,0
12	0,0129	200	1500,00	1,0
13	0,0131	100	3000,00	0,5
14	0,0113	120	3000,00	0,5
15	0,0123	140	3000,00	0,5
16	0,0121	160	3000,00	0,5
17	0,0115	180	3000,00	0,5
18	0,0119	200	3000,00	0,5
19	0,0135	100	3000,00	1,0
20	0,0122	120	3000,00	1,0
21	0,0122	140	3000,00	1,0
22	0,0125	160	3000,00	1,0
23	0,013	180	3000,00	1,0
24	0,0109	200	3000,00	1,0
25	0,0131	100	4500,00	0,5
26	0,0116	120	4500,00	0,5
27	0,0117	140	4500,00	0,5
28	0,0119	160	4500,00	0,5
29	0,0119	180	4500,00	0,5
30	0,0128	200	4500,00	0,5
31	0,013	100	4500,00	1,0
32	0,013	120	4500,00	1,0
33	0,0109	140	4500,00	1,0
34	0,0112	160	4500,00	1,0
35	0,0116	180	4500,00	1,0
36	0,0112	200	4500,00	1,0

Продовження таблиці 3.1

№	Відхилення, мм	Швидкість подачі, мм/хв	Частота обертання, об/хв	Глибина різь, мм
37	0,0124	100	6000,00	0,5
38	0,0121	120	6000,00	0,5
39	0,0109	140	6000,00	0,5
40	0,0111	160	6000,00	0,5
41	0,0124	180	6000,00	0,5
42	0,0133	200	6000,00	0,5
43	0,0107	100	6000,00	1,0
44	0,0113	120	6000,00	1,0
45	0,0139	140	6000,00	1,0
46	0,0111	160	6000,00	1,0
47	0,0135	180	6000,00	1,0
48	0,0125	200	6000,00	1,

Дані, які були отримані, оброблені за допомогою програми IBM SPSS Statistics для проведення базового лінійного регресійного аналізу параметрів фрезерування. Описові статистики (Descriptive Statistics) наведені на рисунку 3.7.

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
Deviations_mm	,0120729	,00081938	48
Processing_speed_mm_min	150,0000	34,51796	48
RPM_n_min	12500,0000	3389,59610	48
Depth_of_cut_mm	,7500	,25265	48

Рисунок 3.7 – Описові статистики

Використовуючи розрахунки Model Summary^b, ми маємо значення коефіцієнта детермінації $R = 0,971$. Це показник відповідності розрахованих моделлю значень та отриманих експериментальних результатів.

Значення R при повторному розрахунку дорівнює 0,971, що свідчить, що кореляція отриманих і передбачених значень існує (рисунок 3.8).

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	,971 ^a	,943	,938	,00020406	,943	178,703	4	43	,000

a. Predictors: (Constant), Depth_of_cut_mm, RPM_n_min, Processing_speed_mm_min
b. Dependent Variable: Deviations_mm

Рисунок 3.8 – Розрахунки Model Summary^b

Коефіцієнт множинної детермінації R^2 приймає значення 0,943. Це означає, що включені в систему параметри на 94,3 % впливають на результат. Скоригований коефіцієнт R^2 дорівнює 0,938 або 93,8 %. Стандартна помилка оцінки 0,00020406.

За таблицею ANOVA перевіряємо гіпотезу про те, що значення $R^2 = 0$. Оскільки рівень значущості менший за 0,05, то підтверджується правильність попередніх результатів (рисунок 3.9).

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,000	4	,000	178,703	,000 ^b
	Residual	,000	43	,000		
	Total	,000	47			

a. Dependent Variable: Deviations_mm

b. Predictors: (Constant), Depth_of_cut_mm, RPM_n_min, Processing_speed_mm_min

Рисунок 3.9 – Результати розрахунків значущості факторів

Аналіз кореляції між змінними показує наявність статистично значимого зв'язку. Результати розрахунку коефіцієнтів кореляції Пірсона факторів на відгук наведені на рисунку 3.10.

		Correlations			
		Deviations_m m	Processing_s peed_mm_m in	RPM_n_min	Depth_of_cut _mm
Pearson Correlation	Deviations_mm	1,000	-,008	,020	,059
	Processing_speed_mm_ min	-,008	1,000	,000	,000
	RPM_n_min	,020	,000	1,000	,000
	Depth_of_cut_mm	,059	,000	,000	1,000
Sig. (1-tailed)	Deviations_mm		,478	,445	,345
	Processing_speed_mm_ min	,478		,500	,500
	RPM_n_min	,445	,500		,500
	Depth_of_cut_mm	,345	,500	,500	
N	Deviations_mm	48	48	48	48
	Processing_speed_mm_ min	48	48	48	48
	RPM_n_min	48	48	48	48
	Depth_of_cut_mm	48	48	48	48

Рисунок 3.10 – Результати розрахунків кореляції Пірсона

Графіки залежності впливу технологічних параметрів на геометричні розміри акрилової заготовки наведено на рисунку 3.11. Зокрема, показано результати відхилень геометричних розмірів заготовки за збільшення значень параметрів: частоти обертання, глибини різання та швидкості подачі.

Виходячи з отриманих значень можемо зробити висновки:

- збільшення швидкості подачі на 20 мм/хв впливає на збільшення значення відхилення розмірів на -0,008;
- збільшення частоти обертання шпинделя на 1500 об/хв впливає на збільшення значення відхилення розмірів на 0,020;
- зміна глибини різання на 0,5 мм впливає на збільшення значення відхилення на 0,059.

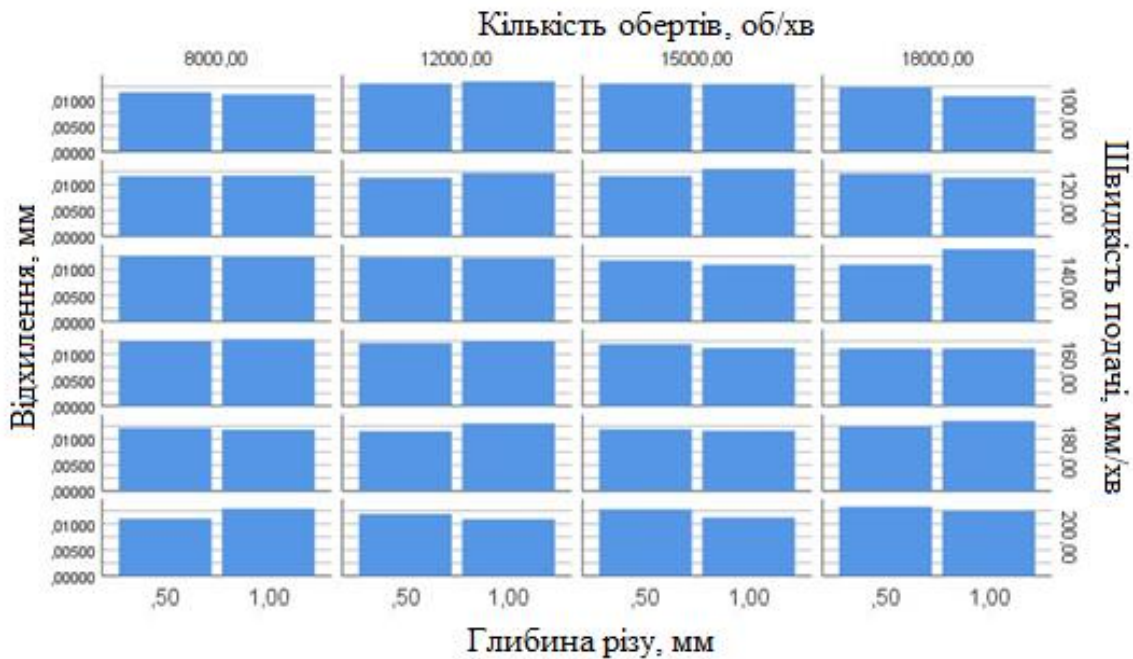


Рисунок 3.11 – Вплив параметрів фрезерування на відхилення на акриловій заготовці

На основі проведеного дослідження отримуємо рівняння регресії у такому вигляді:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3, \quad (3.1)$$

де Y – відгук, що описує відхилення геометричних розмірів заготовки;
 b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти лінійної регресії впливу факторів на відгук;
 x_1, x_2, x_3 – параметри впливу на відгук (x_1 – швидкість подачі, x_2 – частота обертання, x_3 – глибина різь).

Отже, підсумкове рівняння регресії матиме вигляд:

$$Y = 0,0000688 - 0,008x_1 + 0,020x_2 + 0,059x_3.$$

F -критерій Фішера – це один з важливих статистичних критеріїв, використовуваних під час перевірки значущості як рівняння регресії загалом, так і окремих його коефіцієнтів. Для оцінки статистичної значущості

використовують так звані часткові F -критерії Фішера. Оскільки фактичне значення F -критерію Фішера 178,703 більше від табличного (2,81), то отримане рівняння регресії та показники тісноти зв'язку є статистично значущими.

Таким чином, побудована регресійна модель дозволяє нам зробити висновок, що вхідні параметри підібрані правильно і всі вони впливають на відхилення отриманих деталей.

3.5 Висновки до розділу 3

У даному розділі проведено дослідження впливу швидкості подачі, частоти обертання робочого інструменту та глибини різання на відхилення геометричних розмірів заготовки від початкового зображення виробу. Для тестування було обрано заготовки з акрилу, з якого було виготовлено 48 зразків.

Отримано рівняння регресії, що описує вплив перелічених параметрів на результат.

Проведено кореляційний, дисперсійний і регресійний аналіз отриманих даних. Отримані результати статистичної обробки результатів експерименту свідчать про надійність отриманої математичної моделі.

З коефіцієнтів, що ми отримали, можливо зробити висновок, що найбільш вагомим фактором є глибина різання. Чим менша глибина занурення, тим чистішою є поверхня та меншим значення відхилення розмірів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС РОБОТИ З ВЕРСТАТОМ

4.1 Охорона праці під час роботи з фрезерним верстатом

Робота на фрезерному верстаті може супроводжуватися низкою шкідливих і небезпечних виробничих факторів, у тому числі:

- електричний струм;
- дрібна стружка та аерозолі мастильно-охолоджувальних рідин;
- шматочки матеріалу, що відлітають;
- висока температура поверхонь оброблювальних деталей і робочого інструменту;
- підвищений рівень вібрації;
- рухомі машини та механізми, заготовки, вироби, матеріали;
- недостатня освітленість робочої зони.

4.1.1 Загальні положення

До самостійної роботи на фрезерних верстатах допускається навчений персонал, який пройшов медичний огляд, інструктаж з охорони праці, ознайомлений із правилами пожежної безпеки.

Фрезерувальнику дозволено працювати тільки на верстатах, до яких він допущений, і виконувати роботу, яку йому дозволив керівник цеху.

Фрезерувальнику заборонено:

- працювати за відсутності на підлозі під ногами дерев'яної решітки по довжині верстата;
- працювати на верстаті за умови пошкодженого проводу заземлення, а також за відсутності або несправності блокуючих пристроїв.

Про кожен нещасний випадок негайно доповісти майстру та звернутися до медичного пункту.

4.1.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи фрезерувальник зобов'язаний:

- прийняти верстат від змінщика;
- одягнути спецодяг і головний убір;
- перевірити наявність і справність захисного екрану та захисних окулярів, запобіжних пристроїв від стружки й охолоджувальної рідини;
- відрегулювати освітлення так, щоб робоча зона була достатньо освітленою;
- перевірити наявність мастила.

4.1.3 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку несправності верстата або відмови у роботі пульта управління треба відключити верстат і доповісти майстру.

У випадку загорання обладнання або виникнення пожежі необхідно негайно відключити верстат, доповісти про випадок адміністрації та іншим працівникам цеху.

У випадку виникнення аварійної ситуації, небезпеки для свого здоров'я або здоров'я інших людей – вимкнути верстат, покинути небезпечну зону та доповісти про небезпеку керівнику [27].

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи проведено дослідження впливу режимів фрезерування на верстаті з ЧПК на параметри оброблюваних виробів.

Фрезерування є дуже поширеним і необхідним видом обробки. Принцип такої обробки полягає у впливі на деталь технології різання. Проаналізовані різні види верстатів, їх особливості та типи матеріалів, які можуть оброблятися на цих верстатах.

Як зразок для дослідження був використаний лист акрилу з габаритами 120 мм × 150 мм. Для отримання більш точних даних виготовлено 48 зразків.

Розглянуті параметри режимів різання у процесі фрезерування та проаналізовано, на які характеристики виробу вони впливають, на основі проведеного аналізу для проведення експерименту були обрані наступні параметри: частота обертання, швидкість подачі та глибина різання.

Проведено кореляційний, дисперсійний і регресійний аналіз отриманих даних. Отримані результати статистичної обробки результатів експерименту свідчать про надійність отриманої математичної моделі.

З одержаних значень відхилень за різних значень режимів обробки отримано такі значення коефіцієнтів регресії:

- збільшення швидкості подачі на 20 мм/хв впливає на збільшення значення відхилення розмірів на -0,008;
- збільшення частоти обертання шпинделя на 1500 об/хв впливає на збільшення значення відхилення розмірів на 0,020;
- зміна глибини різання на 0,5 мм впливає на збільшення значення відхилення на 0,059.

З коефіцієнтів, що ми отримали, можливо зробити висновок, що найбільш вагомим фактором є глибина різання. Чим менша глибина занурення, тим чистіша поверхня та менше значення відхилення розмірів. Оптимальна глибина різку 0,5 мм.

За умови збільшення частоти обертів шпинделя збільшуються і відхилення заготовки. Оптимальні значеннями частоти обертів 6000 об/хв.

Таким чином, отримані дані можуть бути застосовані для виробництва зовнішньої реклами, сувенірної продукції, нагородних виробів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому що, знаючи, за яких значень режимів фрезерування будуть мінімальні відхилення на тому матеріалі, що досліджувався, можливо зробити готовий продукт із потрібним рівнем допуску.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.

2. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.

3. Жарікова І. В., Нетис В. О. Вплив режимів фрезерування на верстаті з ЧПК на параметри виробів // Modern research in science and education. Proceedings of the 5th International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Chicago, USA. 2024. Pp. 301-303. URL: <https://sciconf.com.ua/v-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-modern-research-in-science-and-education-11-13-01-2024-chikago-ssha-arhiv/>.

4. Основні види механічної обробки металу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://metal-holding.ua/ua/blog/osnovnye-vidy-mehaniceskoj-obrabotki-metalla>.

5. Фрезерна обробка заготовок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://stud.com.ua/36359/tovaroznavstvo/frezerna_obrobka_zagotovok.

6. Фрезерна обробка заготовок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cncmasters.com/types-of-milling-machine/>.

7. Пульт управління для CNC верстата [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/f4440f8c-cd81-4e3d-99c0-b3a106c44e3b/content>.

8. Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням : навч. посіб. Київ: КПІ, 2020. 158 с.

9. Фрезерування пластику на ЧПК верстаті [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mirtels.com.ua/ua/statti/frezeruvannya-plastiku-na-chpk-verstati>.

10. Фрезерування акрилу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vector8.com.ua/portfolio/frezerovka-akrila/>.

11. 3Д Фрезерування й верстат фрезерний з ЧПУ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rocketmen.com.ua/ua/article/3dfreser>.

12. Technological process modeling aiming to improve its operations management [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/267150153_Technological_process_modeling_aiming_to_improve_its_operations_management.

13. What is a regression model? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.scribbr.com/frequently-asked-questions/what-a-regression-model/>

14. Milling – selection of machining parameters [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://technologicalprocess.com/milling-machining-parameters/>.

15. What is the formula for calculate cutting speed in CNC machining? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.3qmachining.com/what-is-the-formula-for-calculate-cutting-speed-in-cnc-machining/>.

16. Milling Formulas and Definitions [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/machiningformulas-definitions/milling-formulas-definitions>.

17. Surface finish [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/surface-finish/>.

18. Surface Roughness Explained [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://get-it-made.co.uk/resources/surface-roughness-explained>.

19. NO. 130: COMPOSITE SET OF ROUGHNESS SPECIMENS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.generaltechshop.com/product/no-130-composite-set-of-roughness-specimens>.

20. Системи автоматизації обладнання приладобудівного виробництва [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/АВП%20В%20ПБ%20PDF%201/other/tema_3_sistemi_avtomatizacziyi_obladnannya_priladobudivnogo_virobnicztva.pdf.

21. Волошин Д. Є. Розроблення автоматизованої системи керування фрезерним верстатом з ЧПК : пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Д. Є. Волошин ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки – Харків, 2021 – 71 с.

22. Малінін Є. Є. Автоматизація процесу фрезерування для верстатів з ЧПК : пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Є. Є. Малінін ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки, кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки . – Харків, 2020. – 90 с.

23. Вибір каналу управління адаптивної системи верстата з ЧПК [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/141443015.pdf>.

24. Stappenmotor 17HS4401 Nema 17 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.benselectronics.nl/stappenmotor-17hs4401-nema-17.html>.

25. Шпиндель для ЧПК верстата 120 Вт із цангою ER11 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p1257591149-shpindel-dlya-chpu.html>

26. 1PC engraving machine frequency converter FC300-3.0G-S2-B4C 3.0KW 220V [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ebay.com/itm/166371053379>.

27. 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.