

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра Машинобудування, транспорту і зварювання

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра


на тему

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з забезпечення якості поверхні шаруватих скловолоконних композитів при кінцевому фрезеруванні
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 5 курсу, групи ДІТ-
ПОМ23мг
спеціальності: 015.34 «Професійна освіта
(Машинобудування)»


(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


 /Олександр ПРИСЯЖНИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)


Керівник  /Антон СКОРКІН
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  /Світлана АРТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  /Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль  /Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК  /Валентина СКОРКІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання
Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)
Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

 О.С. Подоляк

“ 12 ” 10 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти
студенту (ці) Олександр ПРИСЯЖНОМУ
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підготовка фахівців машинобудівної галузі з забезпечення якості поверхні шаруватих скловолоконних композитів при кінцевому фрезеруванні

затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10.2024 р.

2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи “ 5 ” грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Зразки зубчастих коліс з евольвентною, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення..

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їй належить розробити): Вступ. Стан питання, мета, завдання дослідження. теоретичне обґрунтування та розробка сумещеної обробки шліфувально-полірувальними черв'ячними кругами. Дії та перспективні технології виготовлення абразивних інструментів на органічних терморезистивних зв'язках. Експериментальні дослідження впливу температури на півфабрикатів та спеціальних наповнювачів зв'язку абразивних інструментів на їхню якість проізоності іі. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням об'єктів з'язку в кресленнях, плакатів: У вигляді презентації PowerPoint.

6. Консультант:


Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Наталія РУБАН			

7. Дата видачі завдання « 12 » 10 20 24 р.

Керівник


 АНТОН СКОРКІН
 (підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

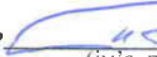

 ОЛЕКСАНДР ПРИСЯЖНИЙ
 (підпис) (ім'я, прізвище)
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.		
2.	Складання плану роботи. Підбор літератури й інших джерел		
3.	Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи		
4.	Підготовка аналітичної частини		
5.	Підготовка теоретичної частини		
6.	Розробка дослідницької частини		
7.	Розробка методичного розділу		
8.	Підготовка графічного матеріалу		
9.	Доробка проекту по зауваженнях наукового керівника		
10.	Доробка проекту по зауваженнях консультантів		
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.		
12.	Захист кваліфікаційної роботи		

Здобувач вищої освіти


 ОЛЕКСАНДР ПРИСЯЖНИЙ
 (підпис) (ім'я, прізвище)

Нормоконтроль


 ОЛЕГ ПОДОЛЯК
 (підпис) (ім'я, прізвище)

Додаток 2 до Порядку проведення перевірки наукових праць, навчально-методичних видань та дипломних робіт (проектів) працівників та здобувачів вищої освіти на наявність запозичень з інших документів (нова редакція)

Введено в дію:

наказ ректора № 0204 -1/088 від 27.02.2020 р.

Протокол контролю оригінальності дипломної роботи (проекту)

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з забезпечення якості поверхні шаруватих скловолоконних композитів при кінцевому фрезеруванні

(назва роботи)

студента

ПРИСЯЖНИЙ Олександр Євгенович

(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Скоркін Антон Олегович

(прізвище, ім'я та по батькові)

В результаті перевірки роботи в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com встановлено наступні значення Коефіцієнтів Подібності

Коефіцієнт Подібності 1: 0,00,

Коефіцієнт Подібності 2: 0,00 ,

Сигнал „Тривога!": – немає; – є, кількість разів у тексті _____.

Вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) затверджено наступні показники оригінальності (за значенням коефіцієнту K1):

не більше 20% – оригінальна робота,

від __% до __% – задовільно оригінальна робота,

від __% до __% – умовно оригінальна робота,

більше __% – неоригінальна робота.

Відповідно до цього, робота може бути класифікована як:

оригінальна,

задовільно оригінальна,

умовно оригінальна,

неоригінальна.

Висновок:

робота може бути допущена до захисту,

необхідно провести розгляд Повного Звіту Подібності із залученням фахівців із тематики дипломної роботи (проекту).

Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

Системний Оператор



(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

22.11.24

(дата)

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ	8
2. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ШАЛОВИХ СКЛОВОЛОКОННИХ КОМПОЗИТІВ	15
3. ВИВЧЕННЯ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ ЩОДО ШАЛОВИХ СКЛОВОЛОКОННИХ КОМПОЗИТІВ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗУВАННІ	26
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЦЕВОГО ФРЕЗУВАННЯ ШАЛОВИХ СКЛОВОЛОКОННИХ КОМПОЗИТІВ	38
5. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ШАЛОВИХ СКЛОВОЛОКОННИХ КОМПОЗИТІВ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗУВАННІ	47
РОЗДІЛ 6	56
РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ З ТЕМИ «ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ШАРУВАТИХ СКЛОВОЛОКОННИХ КОМПОЗИТІВ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ» ДЛЯ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

Реферат магістерської кваліфікаційної роботи з теми “ Підготовка фахівців машинобудівної галузі з забезпечення якості поверхні шаруватих скловолоконних композитів при кінцевому фрезеруванні”

РЕФЕРАТ

Робота містить 71с., 39 рис., 21 табл., 24 джерел.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт) присвячений науковому обґрунтуванню та вдосконаленню системи підготовки фахівців машинобудівної галузі з забезпечення якості поверхні шаруватих скловолоконних композитів при кінцевому фрезеруванні.

У першому розділі розглянуто актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі з забезпечення якості поверхні шаруватих скловолоконних композитів при кінцевому фрезеруванні.

У другому розділі виконано сучасний стан проблеми забезпечення якості поверхні шалових скловолоконних композитів.

У третьому розділі виконано вивчення формування поверхневого шару деталей щодо шалових скловолоконних композитів при кінцевому фрезеруванні.

У четвертого розділі експериментальне дослідження кінцевого фрезерування шалових скловолоконних композитів.

У п'ятому розділі виконано дослідження технологічних можливостей забезпечення якості поверхні шалових скловолоконних композитів при кінцевому фрезеруванні.

Запропонована методика може бути покладена в основу інноваційних технологій під час навчання для отримання кваліфікованих фахівців машинобудівної галузі.

Ключові слова: професійна підготовка, машинобудівна галузь, фахівець, фрезерування, поверхневий шар, методика практичного заняття.

Abstract of the master's qualification work on the topic "Training of specialists in the mechanical engineering industry to ensure the quality of the surface of laminated fiberglass composites during final milling"

ABSTRACT

The work contains 71 pages, 39 figures, 21 tables, 24 sources.

The qualification work (diploma project) is devoted to the scientific substantiation and improvement of the system of training specialists in the mechanical engineering industry to ensure the quality of the surface of laminated fiberglass composites during final milling.

The first section considers the relevance of professional training of specialists in the mechanical engineering industry to ensure the quality of the surface of laminated fiberglass composites during final milling.

The second section examines the current state of the problem of ensuring the quality of the surface of scrim fiberglass composites.

The third section studies the formation of the surface layer of parts for scrim fiberglass composites during final milling.

The fourth section presents an experimental study of the final milling of fiberglass composites.

The fifth section presents a study of the technological capabilities of ensuring the quality of the surface of fiberglass composites during final milling.

The proposed methodology can be used as the basis for innovative technologies during training to obtain qualified specialists in the mechanical engineering industry.

Keywords: professional training, mechanical engineering industry, specialist, milling, surface layer, practical training methodology.

ВСТУП

В даний час у промисловості широке застосування знайшли шаруваті композиційні матеріали. Вони дозволяють не тільки підвищити надійність та довговічність деталей та обладнання, а й суттєво знизити металомісткість, енергоємність, витрати на технічне обслуговування, виробництво запчастин та ремонт. Шаруваті композиційні матеріали застосовують у машинобудуванні, автомобілебудуванні, приладобудуванні, будівництві, хімічній та нафтохімічній промисловості та ряді інших галузей. Одним з найбільш поширених видів таких матеріалів є склотекстоліт – нетоксичний матеріал, що важко згоряється, одержуваний шляхом гарячого пресування шарів склотканини просочених термоактивним сполучним на основі епоксидних або епоксидно-фенольних смол. Його розмірна обробка ведеться переважно кінцевим фрезеруванням. Немеханічні методи формоутворення, такі як гідравлічне струменеве або лазерне різання, а також ультразвукова обробка, через технологічні особливості, мають обмежене застосування.

Недолік склотекстоліту обумовлений його структурною неоднорідністю та неузгодженістю фізико-механічних та хімічних властивостей склотканини та сполучного. Висока твердість скловолокон у поєднанні з низькою пластичністю та міцністю сполучного, а також низьким адгезійним зв'язком склотканини зі сполучним призводить при механічній обробці до специфічного виду руйнування – розшарування. Розшарування істотно впливає на якість обробки та подальшого збирання, а також на експлуатаційні характеристики готового виробу. Відсутність об'єктивних критеріїв оцінки величини розшарування, а також залежностей розшарування від режимів обробки потребує проектування технологій проведення пошукових експериментів і не дає можливості автоматизувати процес обробки. Найчастіше щоб уникнути розшарування призначаються «м'які» режими різання, що знижує продуктивність обробки, і зрештою позначається на собівартості продукції.

Тому дослідження впливу технологічних параметрів на якість поверхні шаруватих скловолоконних композитів при кінцевому фрезеруванні є актуальним завданням. Її рішення дасть можливість оптимального призначення технологічних властивостей при проектуванні фрезерних операцій.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Аналіз тенденцій розвитку машинобудівних підприємств у контексті сучасних соціально-економічних трансформацій показав її невідповідність пріоритетам розвитку національної економіки. У машинобудівному комплексі спостерігається зменшення обсягів діяльності, низький рівень рентабельності машинобудування та нестача коштів для фінансування техніко-технологічного оновлення, інноваційного та соціального-економічного розвитку. Таким чином, основою подальшого розвитку машинобудівної галузі України є подолання кризових явищ, стабілізація і стійкий розвиток галузі, який можливий шляхом технологічної і структурної перебудови виробництва, сфери послуг та інших галузей для випуску сучасної конкурентоспроможної продукції. Машинобудування відноситься до провідних галузей промисловості. На машинобудівельних підприємствах створюються засоби праці для підприємств інших галузей економіки, використовуючи досягнення наукових досліджень, передовий вітчизняний досвід та досвід розвинутих країн. Діяльність цих підприємств спрямована на виготовлення машин і обладнання, що забезпечують загальне зростання обсягів виробництва та продуктивності праці, зниження собівартості продукції.

Провідна роль у забезпеченні економічного зростання, соціального розвитку та науково-технічного прогресу України належить промисловості. У структурі промисловості України найбільшу питому вагу мають галузі важкої індустрії, особливо галузь машинобудування. Машинобудування є фундаментом економічного потенціалу країни, від рівня ефективності діяльності його підприємств залежить стан її соціально-економічного розвитку. Машинобудування – одна з найважливіших галузей виробництва, що значно впливає на продуктивність, ефективність і прогрес майже у всіх сферах людської діяльності. В Україні галузь машинобудування представлена

металургійним, гірничошахтним, підйомно-транспортним, енергетичним, судно-, авіа-, і автомобілебудуванням, виробництвом машин і механізмів для хімічної і нафтохімічної, легкої та харчової промисловості, сільськогосподарським, будівельно-дорожнім машинобудуванням та виробництвом машин для комунального господарства, виробництвом верстатів і інструментів та машин і обладнання для збройних сил. Стабільний розвиток машинобудування забезпечує рентабельність і конкурентоздатність більшості товарів і послуг, зростання інтелектуального й матеріального рівня населення, соціальний захист і розвиток економіки як окремих регіонів, так і держави. Таким чином, сприяння розвитку машинобудівної галузі є пріоритетним стратегічним напрямком щодо забезпечення стабільного соціально-економічного становища країни. Стан та розвиток машинобудування має важливе значення не лише для промисловості, а й для економіки в цілому. Адже, потенціал та наявні виробничі можливості даної галузі є основою стратегічної стійкості національної економіки.

Ефективність роботи підприємств машинобудівельної галузі залежить від сукупності організаційно-економічних та соціальних факторів. Серед них — спеціалізація та кооперування виробництва, їх розміщення на території окремих регіонів, впровадження у виробництво нових типів машин та устаткування, вдосконалення галузевої структури, наявність кваліфікованих кадрів.

На роботу підприємств впливають визначені державою умови для економічної самостійності в комерційній діяльності тощо. Важливе значення має територіальне розташування підприємств машинобудування, використовуючи позитивні умови для роботи підприємств на території окремих регіонів, окремих міст, враховуючи забезпеченість підприємств кваліфікованими кадрами, паливно-енергетичними ресурсами, можливостями для надійного та ефективного обслуговування тощо. У зв'язку з цим значна увага приділяється впровадженню спеціалізації та кооперування виробництва у машинобудуванні. Спеціалізація виробництва передбачає концентрацію

випуску конструктивно і технологічно подібних виробів, а також концентрацію на окремих підприємствах. Вона сприяє зростанню продуктивності праці за рахунок використання спеціалізованого високопродуктивного обладнання, раціональних технологічних процесів та організації праці. Підготовка та підвищення кваліфікації фахівців є актуальною і важливою складовою ринку праці. Саме тому ефективне функціонування будь-якої держави визначається насамперед ступенем підготовки її кадрів.

Професійна підготовка— це складова системи освіти України, вона є комплексом педагогічних та організаційно-управлінських заходів, спрямованих на забезпечення оволодіння громадянами знаннями, вміннями і навичками в обраній ними галузі професійної діяльності, на розвиток компетентності та професіоналізму, виховання загальної і професійної культури. У сучасних соціально-економічних умовах держава потребує цілісної системи безперервної професійної освіти, що відповідає національним інтересам і світовим тенденціям розвитку економіки, забезпечує підготовку кваліфікованих фахівців, спроможних навчатися впродовж життя, підвищувати рівень своєї кваліфікації, здобувати, при необхідності, іншу професію. На вирішення цих завдань і спрямована підготовка фахівців, які будуть готувати надію машинобудування нашої держави.

Протягом останніх років потенціал кваліфікованих фахівців в Україні значно знизився у порівнянні з розвинутими країнами. Це зумовлено падінням престижу робітничих професій, неефективним інформуванням населення щодо попиту на професії, недостатньою участю суб'єктів господарювання у розв'язанні проблем професійної освіти і навчання. Як наслідок, суб'єктів господарювання не задовольняє якість підготовки робітничих кадрів, що пов'язано із застарілою матеріально-технічною базою, недосконалістю кваліфікаційних характеристик на професії та види робіт, державних стандартів професійно-технічної освіти, недостатнім рівнем підготовки педагогічних працівників.

Подальший розвиток професійної освіти України неможливий без досягнення європейського рівня освітніх стандартів з урахуванням національних особливостей, що обумовлює необхідність модернізації, розширення функцій професійно-технічної освіти, її трансформації в професійну освіту і навчання.

Назріла необхідність якісних змін у взаємодії центральних і місцевих органів виконавчої влади та місцевого самоврядування щодо питань функціонування і розвитку професійної освіти і навчання. Потребує реформування система управління професійною освітою і навчанням.

Не сприяють оперативному і гнучкому реагуванню на попит у фахівцях діючі умови і процедура ліцензування освітньої діяльності професійно-технічних навчальних закладів, підприємств, організацій і установ, що здійснюють підготовку робітничих кадрів на виробництві.

На сьогоднішній час в нашій країні необхідно негайно удосконалювати професійну підготовку фахівців. Це є актуальним та необхідним на сьогоднішній день.

Високий рівень розвитку сучасних технологій призведе до витіснення з процесу виробництва низько кваліфікованих працівників та носіїв застарілих професій, викличе необхідність найму адаптованого до вимог сучасних технологій персоналу, який досить гнучко реагує на професійні зміни.

2 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ШАЛОВИХ СКЛОВОЛОКОННИХ КОМПОЗИТІВ

2.1 Область застосування та перспективи використання композиційних матеріалів

Застосування композитів нині найчастіше визначає конкурентоспроможність продукції багатьох галузях. Насамперед, це конструкційні, фрикційні та антифрикційні матеріали вузлів та механізмів машин, а також широка гама теплоізоляційних, електроізоляційних та інших компонентів різного призначення. Вони знайшли широке застосування:

- у машинобудуванні – для корпусів та деталей машин (шестірнів, втулок, роликів, кілець);
- в автомобілебудуванні – для деталей двигунів та кузовів автомобілів;
- у приладобудуванні – для корпусів приладів, як електроізоляційні та конструкційні матеріали при виготовленні клинів для пазової ізоляції статорних обмоток машин змінного струму, роторних обмоток генераторів та асинхронних двигунів, якірних обмоток машин постійного струму, панелей, шайб, планок з контактами, прокладок кілець в електрощитовому обладнанні, високовольтних вимикачів;
- у хімічній та нафтохімічній промисловості – для автоклавів, цистерн, апаратів сірчанокислотного виробництва, резервуарів для зберігання та перевезення нафтопродуктів, корозійностійких трубопроводів та деталей насосів;

Приклади застосування деталей з композиційних матеріалів різних галузях промисловості представлені рисунку 1.1.



Рисунок 2.1 – Застосування деталей із композиційних матеріалів у різних галузях промисловості

Склотекстоліти є однією з найбільш численних та перспективних груп склопластиків конструкційного (ГОСТ 10292-74) та електротехнічного (ГОСТ 12652-74) призначення [13, 14, 15]. У вітчизняній промисловості 35% від усіх матеріалів електротехнічного призначення, що виготовляються, є шаруватими пластиками, при цьому приблизно 30% з них – склотекстоліти. Ці матеріали відрізняються високою міцністю, пружністю, теплостійкістю та діелектричними властивостями. Вони зберігають свої механічні властивості за нормальної температури до 350°C, добре працюють за низьких температурах [38, 49, 71].

Листовий склотекстоліт марки 3240 (Китай) на основі епоксидно-фенольної смоли є сучасним аналогом склотекстоліту марок СТЕФ, СТЕФ-1, СТЕФ-У та відповідає вимогам ГОСТ 12652-74, «Склотекстоліт електротехнічний листовий марки СТЕФ. Він має хороші електроізоляційні властивості та широко застосовується при виготовленні конструктивних елементів електротехнічних виробів (рисунок 1.2).



Рисунок 2.2 – Приклади деталей, отриманих з листового склотекстоліту.

Для виробництва склотекстолітів використовують склотканини. Основними характеристиками тканин є товщина пряжі, вид переплетення та щільність [8, 27].

Товщина пряжі характеризується масою, що припадає на одиницю довжини.

Переплетенням називають певний порядок чергування поздовжніх ниток (основи) із поперечними нитками (качком) (рисунок 1.3). Основні види переплетень – полотняне, саржеве та сатинове.

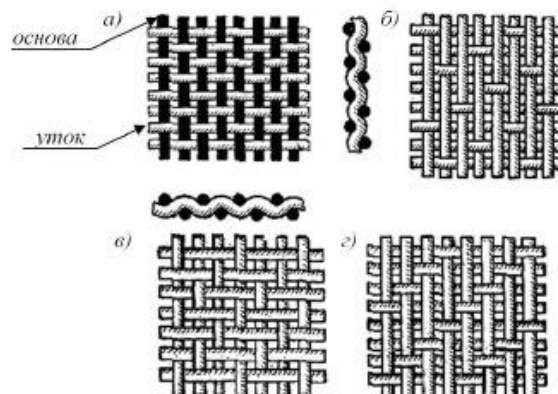


Рисунок 2.3 – Основні види переплетення тканин: а) полотняне; б) сатинове; в, г) саржеве

Найбільшого поширення набули матеріали на основі склотканини полотняного переплетення.

У сатиновому переплетенні зсув перекриттів при кожному перекиданні качка відбувається не менше ніж на дві нитки; в результаті ділянки перехрещування основних та уткових ниток розташовані рідше (рисунок 1.3б).

Саржеве переплетення дає на поверхні тканин характерні вузькі смуги – діагоналі під кутом 45° до краю тканини (Рисунок 1.3в та 1.3г). При однаковій щільності тканини саржевого переплетення мають меншу міцність ніж тканини полотняного переплетення.

Щільність склотканини значною мірою визначає ефективність її використання. Пориста склотканина має низьку щільність, що залежить від об'єму пор, що містяться в ній, що, з одного боку, значно полегшує композит, зменшує його теплопровідність, а з іншого - вимагає підвищеного вмісту сполучного.

В якості сполучного широко застосовуються різні смоли: поліефірні, епоксидні, фенольно-формальдегідні та їх модифікації. Класифікація за типом сполучного досить умовна, оскільки в деяких матеріалах сполучне є композицією смол, що відносяться до різних груп.

Для виробництва електротехнічного листового склотекстоліту СТЕФ-1 (ГОСТ 12652-74), що широко застосовується в промисловості, використовується сполучна, що складається з епоксидної смоли марки ЕД-16 і фенолформальдегідної смоли у співвідношенні 70:30. Як склонаповнювач використовується склотканина полотняного переплетення марки ЕЗ-100, з безлужного алюмоборосилікатного скла.

1.1 Чинники, що впливають на механічну обробку шаруватих скловолоконних композитів

Незважаючи на те, що шаруваті (плоскотектуровані) матеріали мають важливу властивість ізотропності в площині, що містить включення, їм присвячено трохи теоретичних робіт. У вивчених роботах відсутні відомості про встановлення взаємозв'язку розшарування та режимів обробки, а також

крутного моменту та розшарування при фрезеруванні шаруватих скловолоконних композитів. При цьому сфера застосування таких матеріалів безперервно зростає. Все це дає передумови для продовження досліджень у цій галузі.

Механічна обробка шаруватих скловолоконних композитів, на відміну від обробки металів, має деякі особливості [60, 61, 69, 102]. Дані особливості пояснюються особливими процесами, що протікають в зоні різання, і, зумовленими властивостями і структурою матеріалу, що обробляється:

1. Анізотропія властивостей шаруватих скловолоконних композитів зумовлює відмінність процесу різання при обробці вздовж і впоперек армуючих шарів. Істотно це позначається як оброблена поверхня. Тому при проектуванні операцій кінцевого фрезерування шаруватих скловолоконних композитів слід враховувати положення фрези щодо шарів скловолокна.

2. Структурна неоднорідність та неузгодженість фізико-механічних та хімічних властивостей склотканини та сполучного. Висока твердість скловолокон у поєднанні з низькою пластичністю та міцністю сполучного, а також низьким адгезійним зв'язком склотканини зі сполучним призводить при механічній обробці до специфічного виду руйнування – розшарування [92, 93, 97]. На рисунку 1.4 представлений зразок із характерними дефектами механічної обробки склотекстоліту.

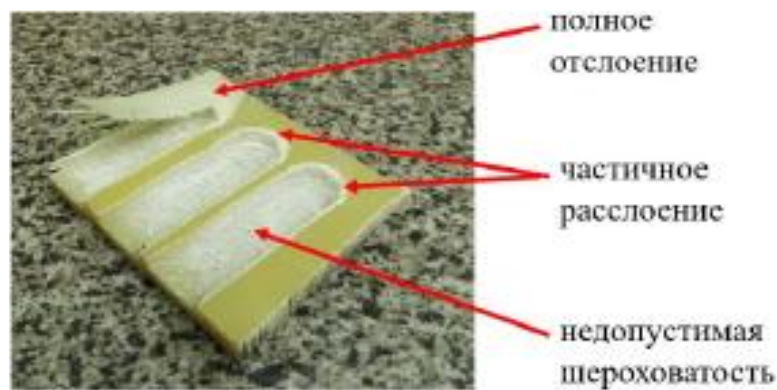


Рисунок 2.4 – Дефекти механічної обробки склотекстоліту

Розшарування істотно впливає на якість обробки та подальшого збирання, а також на експлуатаційні характеристики готового виробу.

3. Низька теплопровідність шаруватих скловолоконних композитів (у кілька сотень разів менше, ніж у металів) дуже впливає на співвідношення складових теплового балансу процесу різання. За даними В.І. Дрожжина [22] при обробці полімерних композитів теплові потоки, що утворюються під час різання (деформації $Q_{\text{деф}}$, тертя передньої $Q_{\text{тр.п}}$ і задньої $Q_{\text{тр.з}}$ поверхні), розподіляються наступним чином (рисунок 1.5):

$q_{\text{заг}}$ - тепловий потік, що йде в заготовлю - 5%;

$q_{\text{стр}}$ - тепловий потік, що йде в стружку - 5%;

$q_{\text{ін}}$ - тепловий потік, що йде в інструмент - 90%.

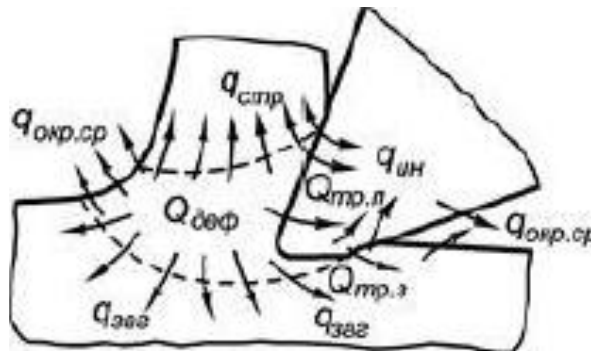


Рисунок 1.5 – Розподіл теплових потоків під час різання

Тепловий потік, що йде в навколишнє середовище $q_{\text{окр.Ср}}$. Це з тим, що у більшості випадків при обробці полімерних композитів забороняється застосування СОЖ, т.к. дані матеріали мають властивість вологопоглинання.

Такий розподіл при недостатньому тепловому потоці через інструмент призводить до високих температур у зоні різання.

2.2 Порівняльний аналіз методів обробки шаруватих скловолоконних композитів

Для розмірної обробки шаруватих скловолоконних композитів на сьогоднішній день застосовуються такі методи [6, 11, 27, 46]:

- ✓ Левійна;
- ✓ Абразивна;
- ✓ Ультразвукова;
- ✓ Лазерна;
- ✓ Гідравлічна.

Основними є різні методи механічної обробки: фрезерування, точення, свердління та ін.]

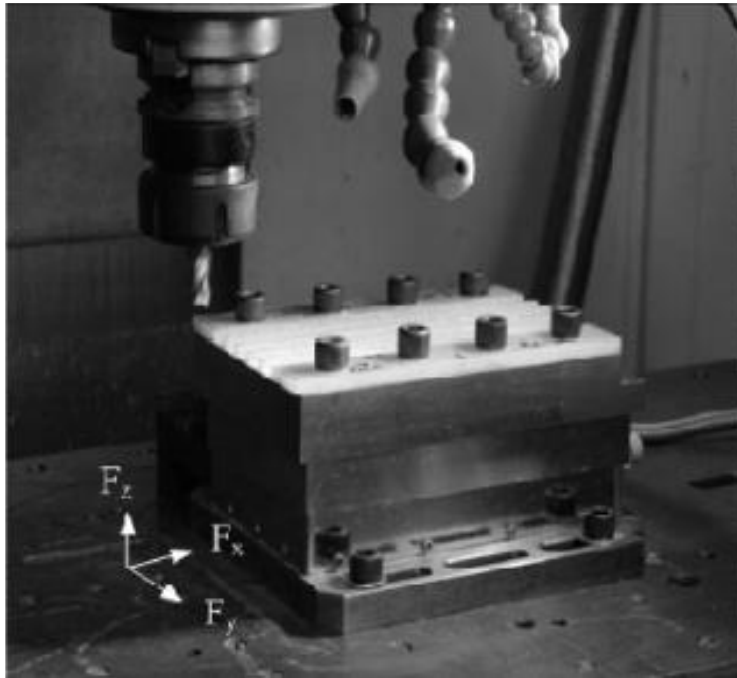


Рисунок 2.6 – Кінцеве фрезерування скловолоконних композитів

При лазерному різанні потужний промінь інфрачервоного випромінювання, що генерується в резонаторі, передається і фокусується на матеріал, що розрізається спеціальною лінзою. Промінь розігріває до високої температури невелику ділянку матеріалу (не більше 0,5 мм) на всю глибину листа. Випарений матеріал віддувається з різання газом високого тиску. При переміщенні ріжучої головки лазерний промінь доставляється до неї з допомогою рухомої системи дзеркал. Таким чином, проводиться розкрій матеріалу.

При гідроабразивному різанні струмінь рідини пропускається через твердосплавну фокусуючу трубку малого діаметра. Завдяки інжекції на вході до неї підсмоктується абразивний порошок. Кінетична енергія водяного струменя передається частинкам абразиву, які знімають мікростружку. Тиск рідини становить від тисячі до шести тисяч атмосфер, діаметр отвору, через який вона проходить 0,07-0,5 мм, а її швидкість досягне 400-1000 м/с. При таких тисках і швидкостях абразивно-рідинний струмінь здатний різати

матеріал завтовшки до 25 мм. У роботі [27] зазначено, що при різанні деталей зі склотекстолітів є проблема виникнення у матеріалі розшарування.

Базою для здійснення ультразвукової обробки є існуючі технологічні процеси механічної обробки: фрезерування, точення, свердління та ін. Найбільший ефект застосування ультразвуку спостерігається при різанні з невеликими перерізами зрізу та швидкостями різання, що не перевищують 20 м/хв.

2.3 Основні вимоги до різального інструменту для обробки шаруватих скловолоконних композитів

Для обробки шаруватих скловолоконних композитів широко використовують лезові ріжучі інструменти – фрези, свердла, різці. Спеціальні конструкції фрез представлені рисунку 1.7 [38].



Рисунок 1.7 – Фрези спеціальної конструкції для обробки композитів
Борфреза з перехресною насічкою, що утворює систему уривчастих ріжучих кромek, що забезпечують обробку при малих силах різання (рисунок 1.7а).

Борфреза з перехресною насічкою та свердлом (рисунок 1.7б).

Фреза шевронної конструкції з різноспрямованими спіральними канавками (рисунок 1.7в), що забезпечує при контурній обробці кромek дію на матеріал стискаючих зусиль.

Багатозуба фреза з великим кутом нахилу стружкових канавок (рисунок 1.7г)

Борфреза із зворотним різальним торцем (рисунок 1.7д).

Кінцева фреза з прямим зубом та стружкорозділювальними канавками (рисунок 1.7е).

Сферична кінцева фреза з перехресною насічкою конструкції «кукурудза» (рисунок 1.7ж).

Кінцева фреза для високошвидкісної чистової обробки з кількістю зубів $z = 1$ та прямим зубом (рисунок 1.7з).

Кінцева фреза для високошвидкісної обробки з кількістю зубів $z = 1$, правою спіраллю та переривчастою ріжучою кромкою (рисунок 1.7і).

Кінцева фреза з кількістю зубів $z = 3$, кутом нахилу спіралі 45° , з нерівномірним кроком ріжучих кромок представлена на рисунку 1.7к.

Як інструментальні матеріали для обробки склопластиків широко використовують швидкорізальні сталі типу Р6М5. Високі ріжучі властивості швидкорізальних сталей досягаються значним і комплексним легуванням їх такими елементами, як вольфрам, молібден, кобальт, ванадій, хром та ін. Найважливішим легуючим елементом швидкорізальних сталей є вольфрам, який надає їм жароміцності [52].

За потреби збільшення зносостійкості інструменту застосовують тверді сплави. Зношування твердих сплавів при обробці склопластиків відбувається головним чином за рахунок абразивного стирання кобальту та випадання внаслідок цього окремих зерен карбідів. Тому із зменшенням вмісту кобальту у твердому сплаві його зносостійкість збільшується, проте міцність при цьому знижується. З цієї ж причини дрібнозернисті сплави з досить високим вмістом кобальту мають підвищену зносостійкість, наприклад ВК6М. Крупнозернисті сплави з розміром зерен карбідів вольфраму 3...5 мкм, наприклад ВК8В, мають більшу міцність, ніж звичайні сплави, і рекомендуються для чорнової обробки та різання з ударами.

Так як теплопровідність однокарбідних вольфрамокобальтових твердих сплавів в 1,6 - 2,6 рази вище, ніж двокарбідних сплавів, їхня стійкість при однаковій твердості може різнитися до шести разів. Тому рекомендується

застосування однокарбідних вольфрамо-кобальтових твердих сплавів з малим вмістом кобальту типу ВК3М, ВК2, ВК4.

2.4 Комп'ютерне моделювання процесів різання

Комп'ютерне моделювання процесів різання вже давно досить успішно застосовується як у наукових дослідженнях, так і при вирішенні виробничих завдань [42, 46, 72, 77, 87, 103, 104]. Цьому сприяє різноманітність інженерних програмних пакетів (CAE систем), які умовно можна поділити на дві основні групи [12]:

- спеціалізовані, призначені для комп'ютерного моделювання фізичних процесів механічного оброблення, такі як DEFORM, ADVENTEDGE;

- універсальні, призначені для вирішення широкого спектра завдань, таких як ANSYS, ABAQUS, LSDYNA, AUTODYN та інші.

Загальні принципи моделювання процесів механообробки в системах CAE включають:

1. Проектування геометрії різального інструменту та заготівлі. Розташування створених об'єктів у просторі щодо один одного. Вибір матеріалів для заготівлі та інструменту.

2. Вибір режимів різання – глибина різання, подача, швидкість різання.

3. Моделювання методом кінцевих елементів різних фізичних процесів з виведенням результатів як полів температур, напруг тощо.

У роботі [42] використано кінцево-елементний пакет ANSYS Workbench для моделювання процесу різання при точенні конструкційної сталі 45 (рисунок 1.8).

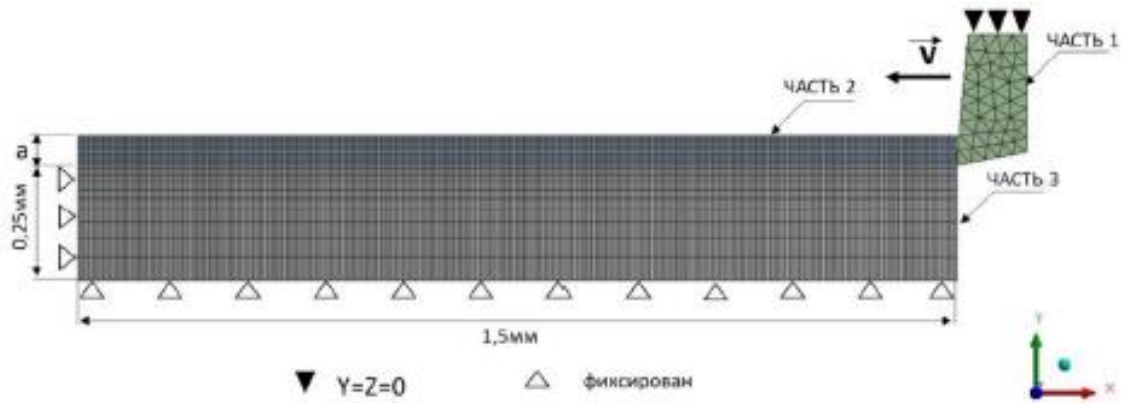


Рисунок 1.8 – Розрахункова схема імітаційної моделі процесу різання Імітувалося зведене різання, величина подачі інструменту враховувалася за рахунок ширини зрізу. Швидкість різання – 5 м/с. В результаті моделювання отримані поля напруги (рисунок 1.9), деформацій і температур оброблюваного матеріалу стружки та інструменту.

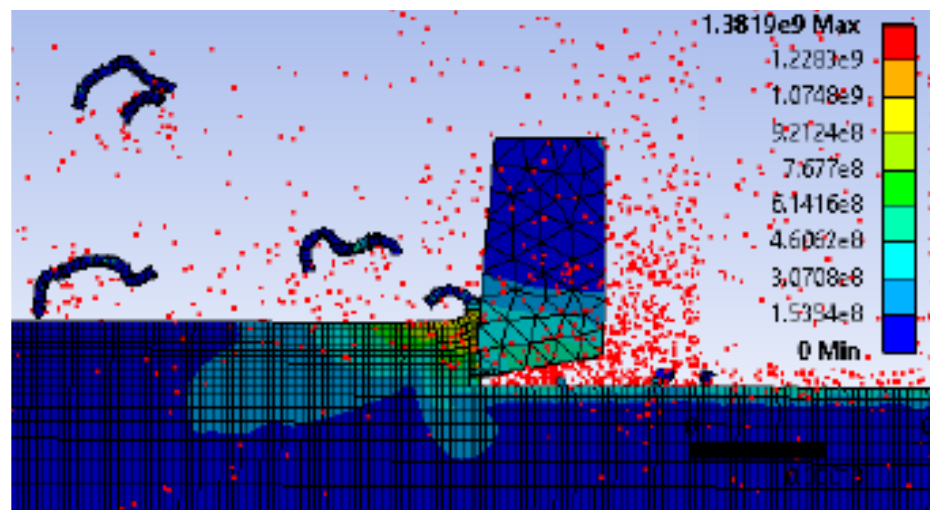


Рисунок 1.9 – Еквівалентна напруга Мізесу

Діяльність зазначено, що отримані результати добре узгоджуються з відомими у літературі експериментальними даними.

У роботі [72] проведено моделювання односпрямованого композитного волокнистого матеріалу з випадково розташованими прямолінійними волокнами на мікро- і мезоуровне (рисунок 1.10, 1.11).

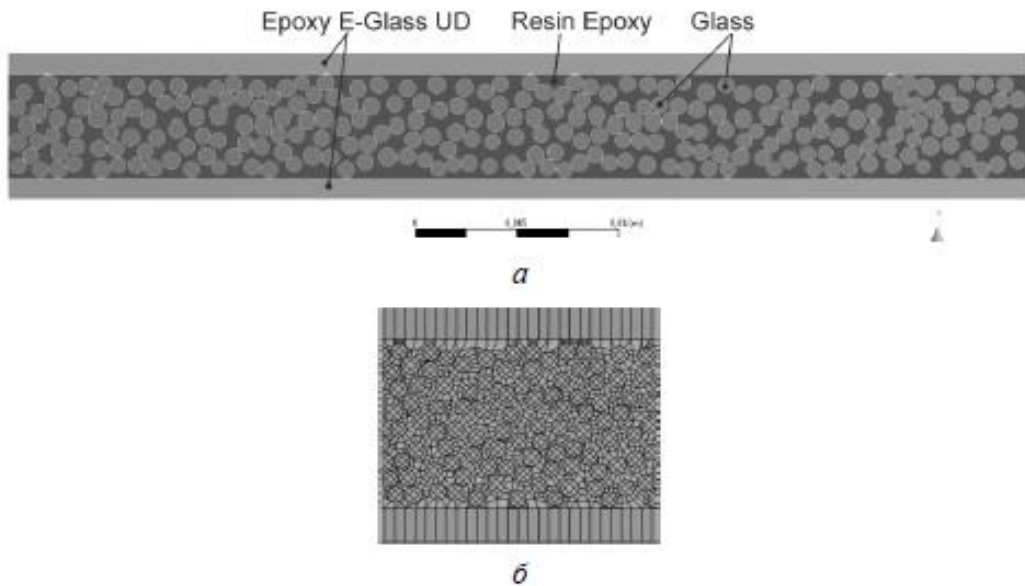


Рисунок 1.10 – Мікромодель (а) та кінцево-елементна мікромодель (б) односпрямованого волокнистого композитного матеріалу

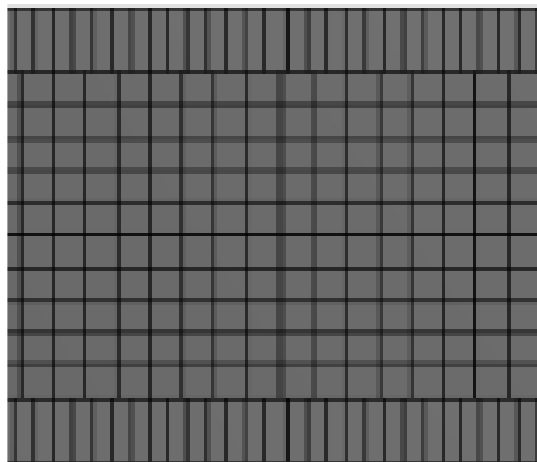


Рисунок 1.11 – Мезомодель (а) та кінцево-елементна мезомодель (б) односпрямованого волокнистого композитного матеріалу

Вказано, що мікромоделі вимагають великих обчислювальних ресурсів, що дозволяє використовувати цей підхід з метою оцінки поведінки реальних об'єктів. Тому було проведено моделювання однонаправленого композитного волокнистого матеріалу на мезоуровні. Механічні властивості односпрямованого композитного волокнистого матеріалу були запозичені з бази даних пакету ANSYS Workbench для односпрямованого склопластику Epoxy E-Glass UD. При цьому Epoxy E-Glass UD 0^0 та Epoxy E-Glass UD 90^0 відрізнялися напрямом армування.

У роботі [77] проведено моделювання процесу різання заготовок із композитного матеріалу із застосуванням методу кінцевих елементів на мікрорівні (рисунок 1.12).

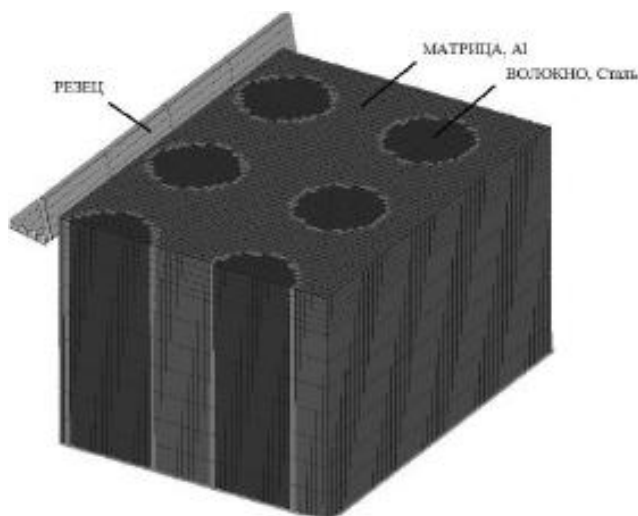


Рисунок 1.13 – Звичайно-елементна модель заготівлі з композиту

У роботі розглядалася тривимірна постановка для випадку вільного ортогонального різання. Швидкість різання – 0,1 м/с. Як матеріал розглянутий металокомпозит з матрицею з алюмінію та сталевими волокнами. Окремо задавалися властивості матриці, волокна та прикордонного шару. Різець у розрахунках приймався абсолютно жорстким. Проведено моделювання зняття стружки з епюрами розподілу еквівалентних напруг (рисунок 1.13).

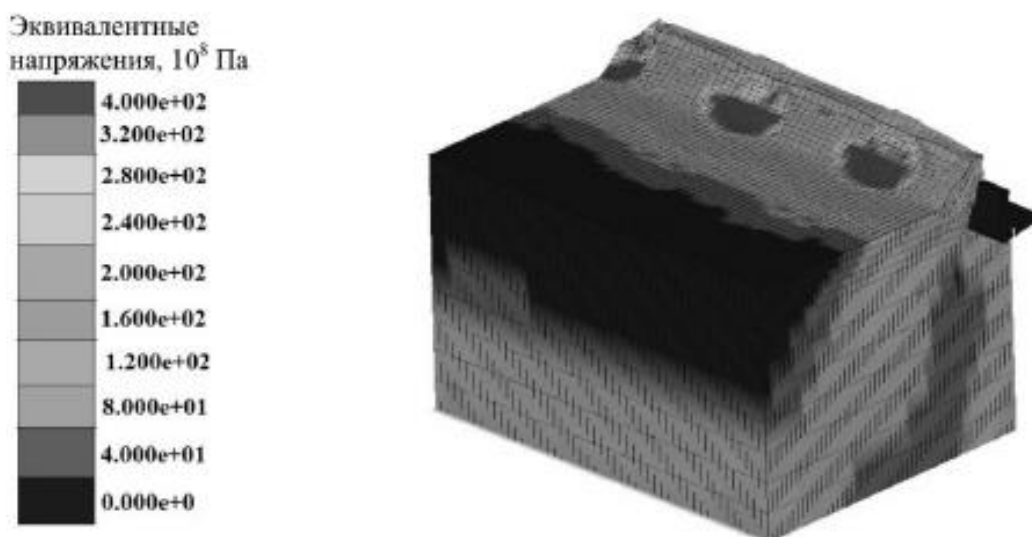


Рисунок 1.13 – Розподіл еквівалентних напруг Мізеса в зоні різання заготовки з композиту

Діяльність зазначено, що результати розрахунку мають якісну збіжність з експериментальними даними.

3 ВИВЧЕННЯ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ ЩОДО ШАЛОВИХ СКЛОВОЛОКОНИХ КОМПОЗИТІВ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗУВАННІ

3.1 Завдання досліджень. Експериментальні зразки та обладнання

Основні завдання експериментальних досліджень:

1. Комп'ютерне моделювання розподілу напруги в обсязі оброблюваного матеріалу в системі кінцево-елементного аналізу ANSYS (модуль Workbench Explicit Dynamics).

2. Вивчення мікроструктури поверхні експериментально опрацьованих зразків.

Сканування піддавали три характерні ділянки фрезерованого паза, з характерним дефектом у вигляді розшарування (рисунок 2.1).

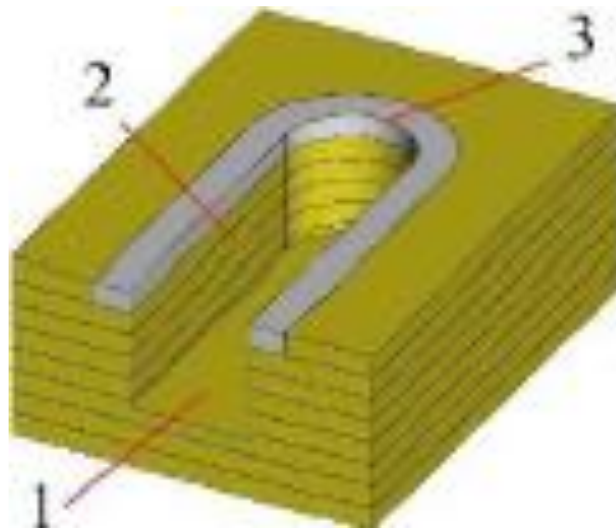


Рисунок 2.1 – Характерні ділянки сканування:

1 – нижня поверхня паза; 2 – бічна поверхня паза; 3 – кромка паза

Для вивчення мікроструктури поверхні використовувався скануючий електронний мікроскоп Quanta 250 компанії FEI Ltd представлений рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Скануючий електронний мікроскоп Quanta 250

Для попередньої підготовки зразків використали вакуумний апарат для магнетронного напилення MSP-1S Magnetron sputter представлений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Вакуумний апарат для магнетронного напилення MSP-1S

2.2 Комп'ютерне моделювання розподілу напруги в обсязі оброблюваного матеріалу в системі кінцево-елементного аналізу ANSYS (модуль Workbench Explicit Dynamics)

Як правило, у процесі обробки вісь кінцевої фрези розташована перпендикулярно шарам скловолокна (рисунок 2.4а). У цьому випадку головні різальні кромки, розташовані на циліндричній поверхні фрези, різатимуть перпендикулярно шарам скловолокна (рисунок 2.4б), а допоміжні торцеві різучі кромки – паралельно шарам скловолокна (рисунок 2.4в).

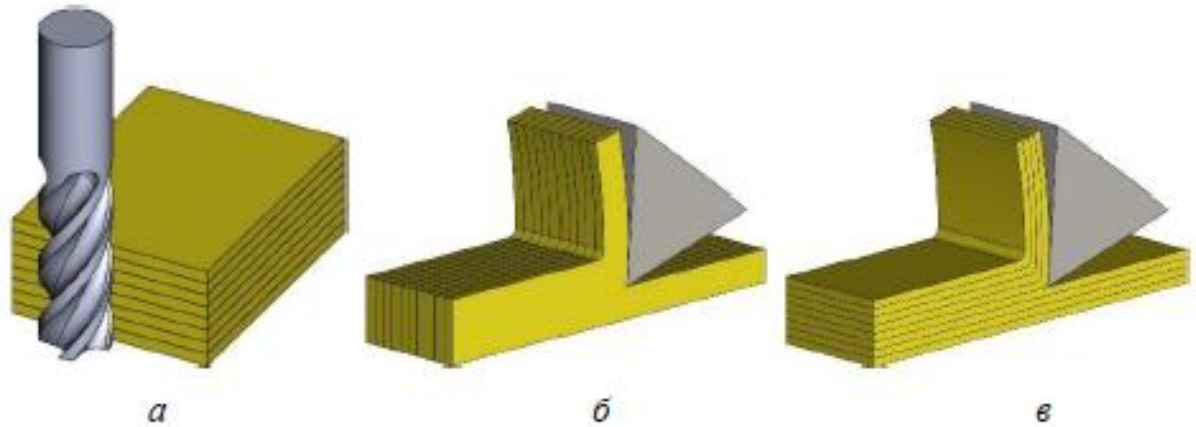


Рисунок 2.4 – Кінцеве фрезерування шаруватих скловолоконних композитів (а) та схеми обробки головними (б) і допоміжними (в) ріжучими кромками

Очевидно, що внаслідок анізотропії матеріалу, що обробляється, умови різання для них будуть різними. Тому різання головними та допоміжними ріжучими кромками моделювалось окремо.

Анізотропію матеріалу деталі було враховано шляхом завдання однакових властивостей у напрямку осей X і Y виходячи з того, що в площині XY розташовані шари скловолокна. У напрямку осі Z значення механічних властивостей були набагато нижчими, тому що в цьому напрямку відсутні армуючі волокна.

Завдання властивостей матеріалу проводилося діалоговому вікні системи ANSYS представленому рисунку 2.5.

Properties of Outline Row 3: Epoxy E-Glass UD (2d)				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	<input checked="" type="checkbox"/> Density	2000	kg m ⁻³	<input type="checkbox"/>
3	<input checked="" type="checkbox"/> Orthotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>
4	Young's Modulus X direction	4,5E+10	Pa	<input type="checkbox"/>
5	Young's Modulus Y direction	4,5E+10	Pa	<input type="checkbox"/>
6	Young's Modulus Z direction	1E+10	Pa	<input type="checkbox"/>
7	Poisson's Ratio XY	0,3		<input type="checkbox"/>
8	Poisson's Ratio YZ	0,3		<input type="checkbox"/>
9	Poisson's Ratio XZ	0,3		<input type="checkbox"/>
10	Shear Modulus XY	5E+09	Pa	<input type="checkbox"/>
11	Shear Modulus YZ	5E+09	Pa	<input type="checkbox"/>
12	Shear Modulus XZ	5E+09	Pa	<input type="checkbox"/>
13	<input checked="" type="checkbox"/> Orthotropic Stress Limits			<input type="checkbox"/>
14	Tensile X direction	1,1E+09	Pa	<input type="checkbox"/>
15	Tensile Y direction	1,1E+09	Pa	<input type="checkbox"/>
16	Tensile Z direction	3,5E+07	Pa	<input type="checkbox"/>
17	Compressive X direction	-6,75E+08	Pa	<input type="checkbox"/>
18	Compressive Y direction	-6,75E+08	Pa	<input type="checkbox"/>
19	Compressive Z direction	-1,2E+08	Pa	<input type="checkbox"/>
20	Shear XY	8E+07	Pa	<input type="checkbox"/>
21	Shear YZ	8E+07	Pa	<input type="checkbox"/>
22	Shear XZ	8E+07	Pa	<input type="checkbox"/>
23	<input checked="" type="checkbox"/> Orthotropic Strain Limits			<input type="checkbox"/>
24	Tensile X direction	0,0244		<input type="checkbox"/>
25	Tensile Y direction	0,0244		<input type="checkbox"/>
26	Tensile Z direction	0,0035		<input type="checkbox"/>
27	Compressive X direction	-0,015		<input type="checkbox"/>
28	Compressive Y direction	-0,015		<input type="checkbox"/>
29	Compressive Z direction	-0,012		<input type="checkbox"/>
30	Shear XY	0,016		<input type="checkbox"/>
31	Shear YZ	0,016		<input type="checkbox"/>
32	Shear XZ	0,016		<input type="checkbox"/>
33	<input checked="" type="checkbox"/> Tsai-Wu Constants			<input type="checkbox"/>
34	Coupling Coefficient XY	-1		<input type="checkbox"/>
35	Coupling Coefficient YZ	-1		<input type="checkbox"/>
36	Coupling Coefficient XZ	-1		<input type="checkbox"/>
37	<input checked="" type="checkbox"/> Puck Constants			<input type="checkbox"/>
38	Material Classification	Glass		
39	Compressive Inclination XZ	0,25		<input type="checkbox"/>
40	Compressive Inclination YZ	0,2		<input type="checkbox"/>
41	Tensile Inclination XZ	0,3		<input type="checkbox"/>
42	Tensile Inclination YZ	0,2		<input type="checkbox"/>
43	<input checked="" type="checkbox"/> Ply Type			<input type="checkbox"/>
44	Type	Regular		
45	<input checked="" type="checkbox"/> Additional Puck Constants			<input type="checkbox"/>
46	Interface Weakening Factor	0,8		<input type="checkbox"/>
47	Degradation Parameter s	0,5		<input type="checkbox"/>
48	Degradation Parameter M	0,5		<input type="checkbox"/>

Рисунок 2.5 – Завдання властивостей матеріалу у системі ANSYS

Після цього в системі ANSYS проводилося побудова імітаційної моделі процесу різання представленої на рисунку 2.6.

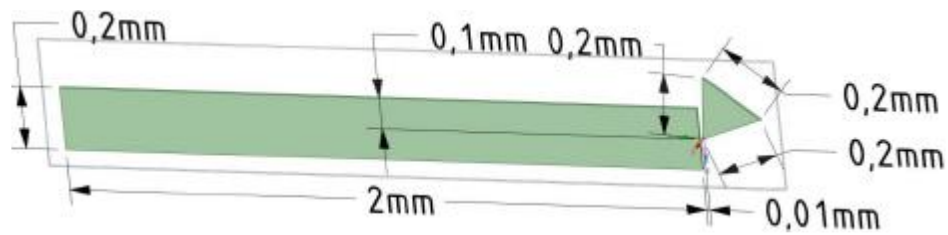


Рисунок 2.6 – Імітаційна модель процесу різання

Геометричні параметри різальної частини:

передній кут $\gamma = 5^\circ$;

задній кут $\alpha = 20^\circ$.

Режими обробки:

глибина різання $t = 0,1$ мм;

подача $S = 0,01$ мм/зуб.

Розмір подачі враховувалася з допомогою ширини зрізу.

Після завдання розміру ребер кінцевих елементів (Element size), що дорівнює 0,01 мм системою ANSYS, була автоматично згенерована кінцево-елементна імітаційна модель процесу різання 2.7.



Рисунок 2.7 – Звичайно-елементна імітаційна модель процесу різання

Для моделювання різання головними та допоміжними ріжучими кромками були створені дві незалежні моделі, що відрізняються напрямом переміщення ріжучого клина. Для моделювання різання головними різальними кромками ріжучий клин переміщався вздовж осі X у площині XY, а для моделювання різання допоміжними ріжучими кромками – вздовж осі Y у площині YZ.

Подальше завдання низки параметрів, що остаточно визначають характер взаємодії ріжучого клина та оброблюваної деталі, дало розрахункову схему імітаційної моделі. Серед цих параметрів:

- ❖ розрахунковий інтервал часу (End Time) = 0,00015 с. Обумовлений обчислювальними ресурсами та тривалістю проведення розрахунків;

❖ швидкість (Velocity), що повідомляється ріжучому клину і визначає швидкість різання $V = 30$ м/хв;

❖ жорстке закріплення (Fixed Support), що передбачає заборону переміщень по всіх напрямках стосовно площини основи і лівої бічної площини моделі;

❖ переміщення (Displacement), що дозволяє задати заборону на переміщення всіх площин ріжучого клину в напрямках, що не співпадають зі швидкістю різання.

Після завдання всіх необхідних параметрів було здійснено розрахунок методом кінцевих елементів та отримано графіки (рисунок 2.8).

Розподіл напруг у площині YZ при моделюванні різання паралельно шарам скловолокна представлено рисунку 2.8а. Даний розподіл відповідає обробці допоміжними ріжучими крайками кінцевої фрези нижньої поверхні паза. Однак унаслідок нахилу стружкових канавок частково воно відповідає і обробці головними ріжучими кромками кінцевої фрези бічної поверхні та кромки паза.

Розподіл напруг у площині XY при моделюванні різання перпендикулярно шарам скловолокна представлено рисунку 2.8б. Даний розподіл відповідає обробці головними різальними крайками кінцевої фрези бічної поверхні та кромки паза.

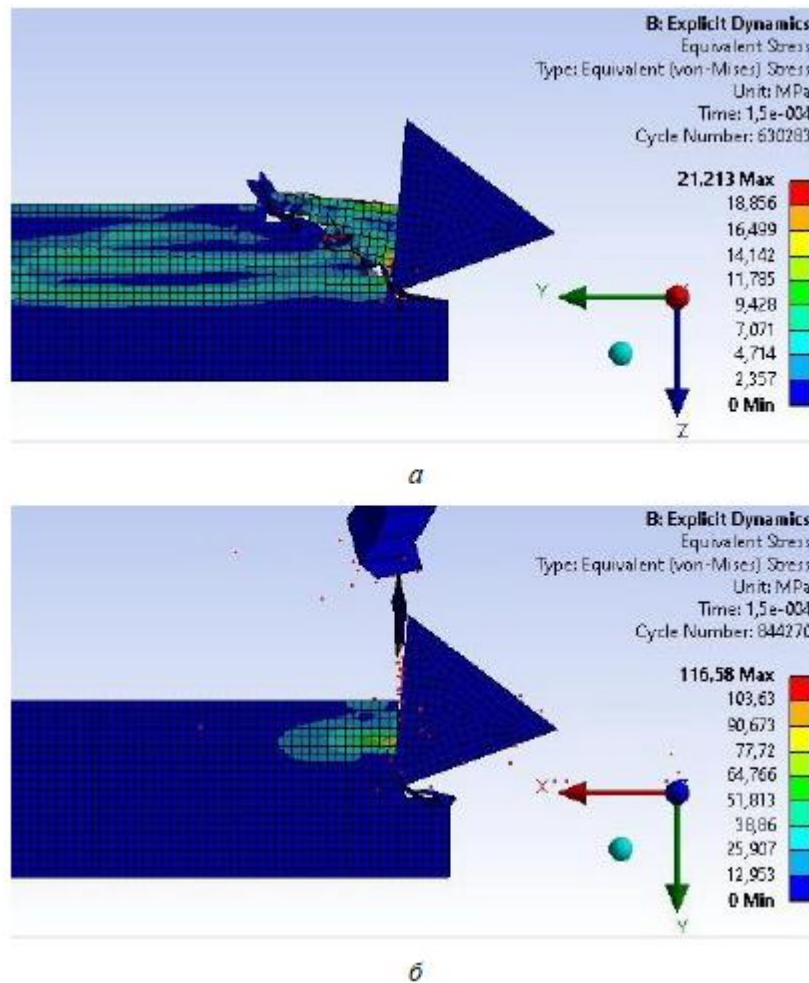


Рисунок 2.8 – Розподіл напруг в обсязі оброблюваного матеріалу при моделюванні різання паралельно (а) та перпендикулярно (б) шарам скловолокна

Аналіз отриманих даних на рисунку 2.8а показує, що напруги, що виникають, викликають крихке руйнування оброблюваного матеріалу в площині зсуву.

2.3 Аналіз мікроструктури поверхні експериментально оброблених зразків

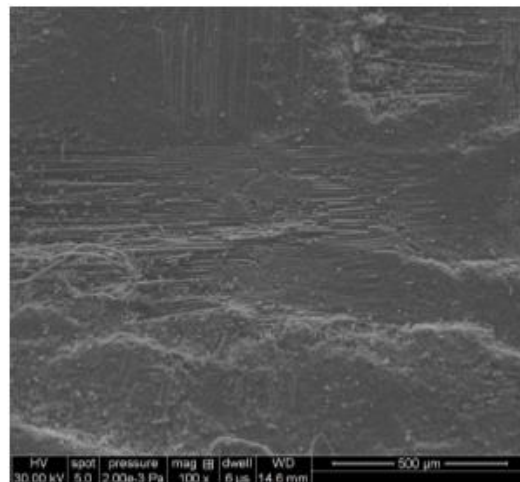
Для проведення сканування зразки піддавалися напиленню тонкого провідного шару. Нанесене на поверхню тонке металеве покриття дозволяє уникати ефекту заряджання поверхні під дією пучка електронів, а також підвищує вихід вторинних електронів. Як матеріал провідних покриттів використовувалося золото з паладієм (Au-Pd), яке оптимальне для спостереження з низьким збільшенням та хорошим контрастом.

Експериментальний зразок із нанесеним покриттям (Au-Pd) представлений на рисунку 2.9.

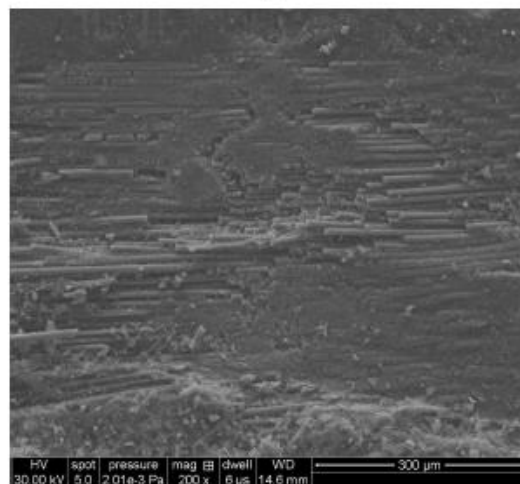


Рисунок 2.9 – Експериментальний зразок із нанесеним покриттям (Au-Pd)

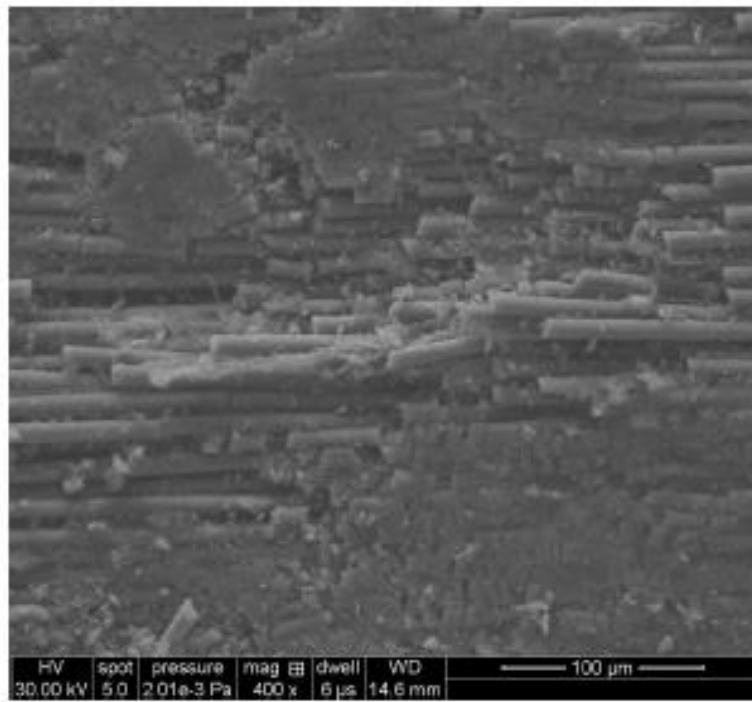
Для зручності сканування після фрезерування зразки розрізалися. Мікрофотографії нижньої поверхні паза, що проходить у склотканині на ділянці з орієнтацією скловолокон уздовж паза, з різним ступенем збільшення представлені на рисунку 2.10.



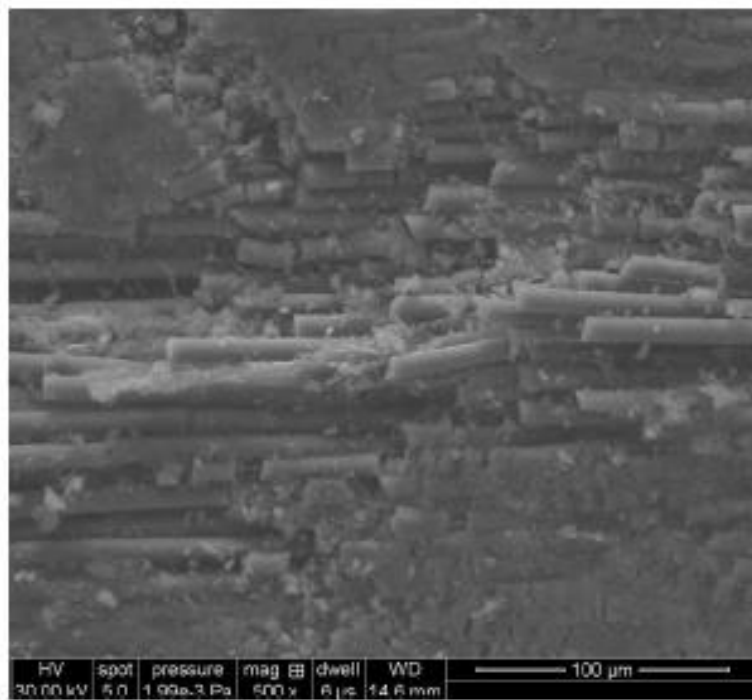
a



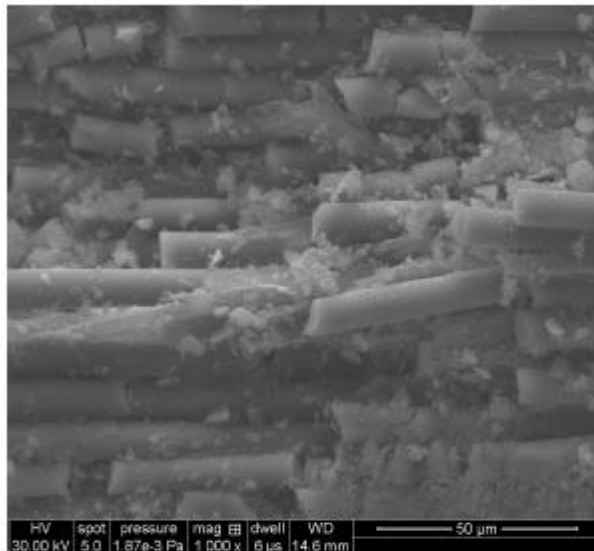
б



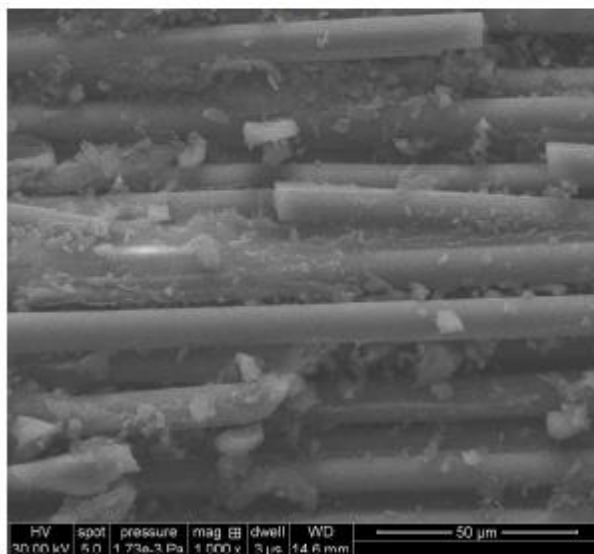
6



2



а

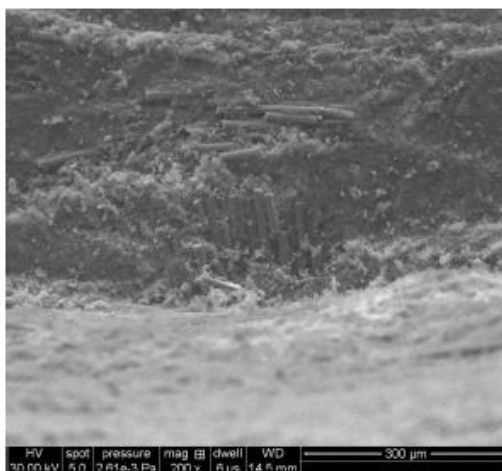


б

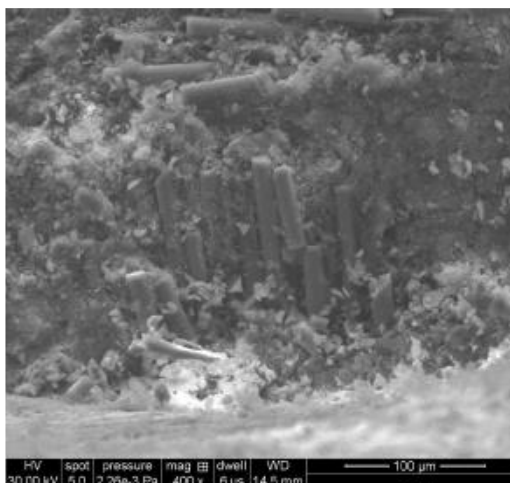
Рисунок 2.10 – Мікрофотографії нижньої поверхні паза, що проходить у склотканини на ділянці з орієнтацією скловолокон уздовж паза, зі збільшенням у 100 разів (а), у 200 разів (б), у 400 разів (в), у 500 разів (г), в 1000 разів (д, е)

На мікрофотографіях малюнка 2.10 чітко помітна спрямована структура скловолокна. Довгі та тонкі скловолокна розташовані близько один до одного. У деяких місцях є поодинокі розриви скловолокон, перпендикулярні до волокон. Це призводить до зменшення ефективної довжини волокна, а отже, зниження його міцності. На поверхні, що розглядається, в основному, відбувається деформація сполучного і поділ шарів скловолокна. Якість поверхні хороша, дефекти відсутні.

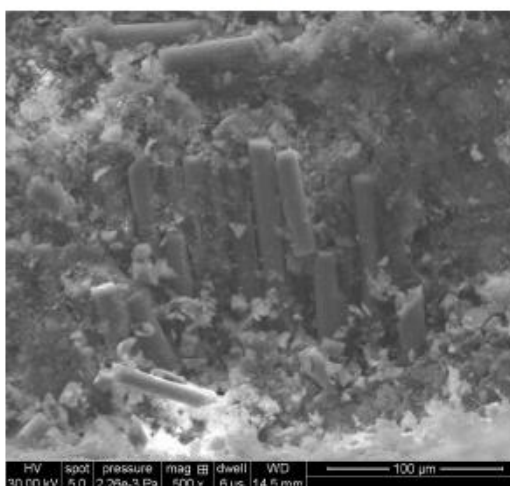
Мікрофотографії нижньої поверхні паза, що проходить у склотканини на ділянці з орієнтацією скловолокон упоперек паза, з різним ступенем збільшення представлені на рисунку 2.11.



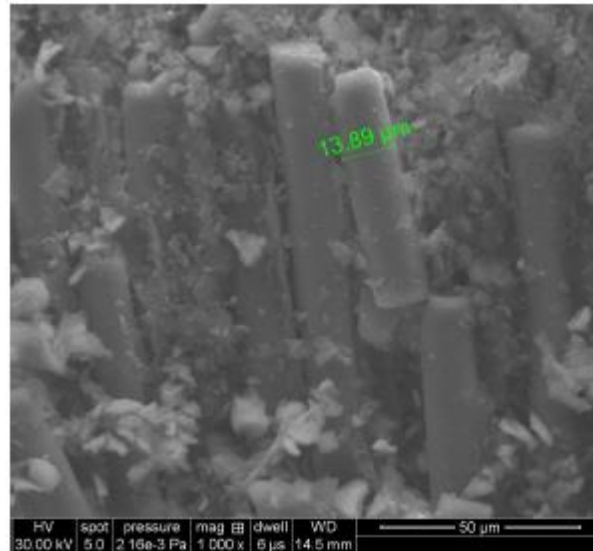
a



б



в



2

Рисунок 2.11 – Мікрофотографії нижньої поверхні паза, що проходить у склотканині на ділянці з орієнтацією скловолокон упоперек паза, зі збільшенням у 200 разів (а), у 400 разів (б), у 500 разів (в), у 1000 разів (г)

Виходячи з мікрофотографій малюнків 2.10 і 2.11 можна зробити висновок, що в процесі різання ушкодження отримують як скловолокна, розташовані вздовж паза, так і скловолокна, розташовані впоперек паза. Виходячи з цього, напрямок переміщення інструменту щодо скловолокон не має значення.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЦЕВОГО ФРЕЗУВАННЯ ШАЛОВИХ СКЛОВОЛОКОНИХ КОМПОЗИТІВ

4.1 Вплив режимів обробки на відносний коефіцієнт розшарування, крутний момент і шорсткість поверхні

Для проведення експериментальних досліджень на базі фрезерного верстата моделі ГФ2171С5 було розроблено та зібрано експериментальну установку, принципову схему якої представлено на рисунку 3.1.

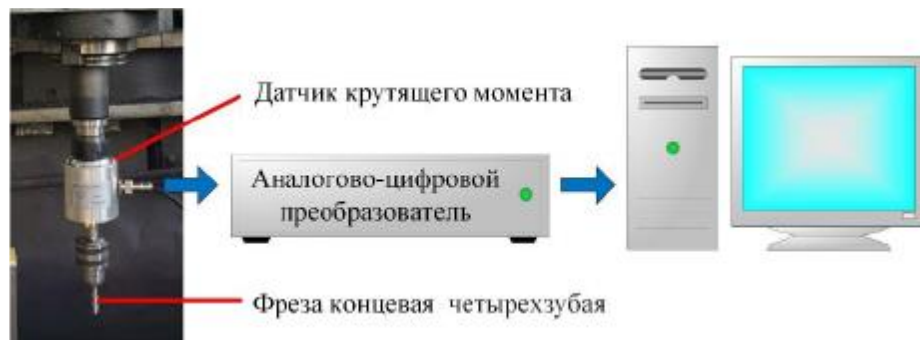


Рисунок 3.1 – Принципова схема експериментальної установки

Для вимірювання крутного моменту використовувався п'єзоелектричний датчик динамічного крутного моменту компанії China Botong Electric, здатний фіксувати крутний момент, що сприймається валом, що обертається в процесі роботи (рисунок 3.2). Діапазон вимірювання датчика 0 – 50 Нм, похибка вимірювання 0,5%.



Рисунок 3.2 – П'єзоелектричний датчик динамічного моменту, що крутить, компанії China Botong Electric

Шорсткість R_a контролювалася на профілограф-профілометр моделі HOMMEL TESTER W55.

Для оцінки величини розшарування запропоновано використати відносний коефіцієнт розшарування. Він дозволяє встановлювати який

відсоток від номінального розміру паза становить розмір області розшарування та є показником для оцінки якості обробки. Відносний коефіцієнт розшарування визначається за формулою:

$$\delta = \frac{B_{max} - B}{B} \cdot 100\% = \frac{(B + 2\Delta) - B}{B} \cdot 100\% = \frac{2\Delta}{B} \cdot 100\%.$$

де B_{max} - максимальна ширина паза по межах області розшарування, мм;

B – номінальна ширина паза, мм;

Δ – максимальна ширина області розшарування, мм.

На рисунку 3.3 представлена модель обробленої деталі з характерним дефектом у вигляді розшарування, де зазначені дані розміри.

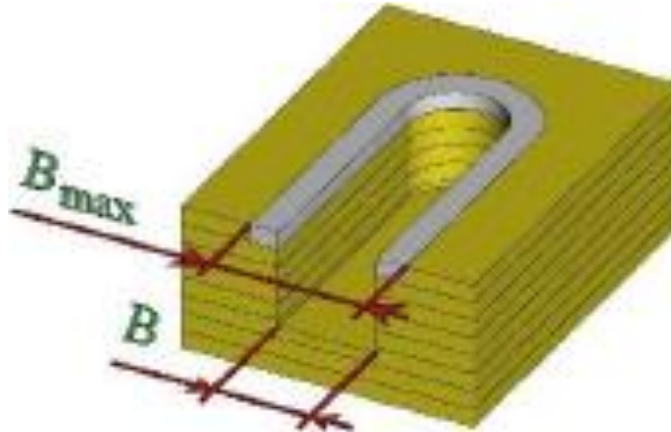


Рисунок 3.3 – Модель обробленої деталі із розшаруванням

Максимальна ширина області розшарування вимірювалася з використанням мікроскопа малого інструментального ММІ-2 (рисунок 3.4)



Рисунок 3.4 – Мікроскоп малий інструментальний ММІ-2 із встановленим зразком

Для цього одна з візирних ліній окулярної головки встановлювалася на межі області розшарування (рисунок 3.5) та фіксувалося числове значення на барабані мікрогвинта. Потім стіл переміщався мікрогвинтом до тих пір, поки та ж лінія не збігалася з іншим краєм області розшарування. Різниця числових значень барабані була шуканим розміром Δ .

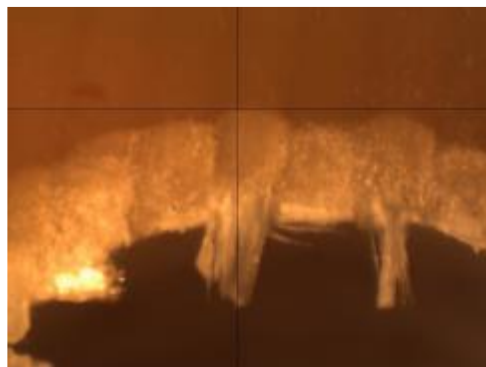


Рисунок 3.5 – Вимірювання максимальної ширини області розшарування Δ окулярною головкою на мікроскопі малому інструментальному ММІ-2

Як інструмент використовувалася фреза кінцева чотиризуба зі швидкорізальної сталі Р6М5 діаметром 10 мм. Незважаючи на те, що інструмент із швидкорізальної сталі поступається за своїми характеристиками

твердосплавного інструменту, він широко застосовується на виробництві через невисоку вартість [58].

Обов'язковою умовою під час проведення експериментальних досліджень був контроль гостроти ріжучих кромок інструменту з допомогою мікроскопа ММИ-2. Відомо, що зношування інструменту при обробці шаруватих скловолоконних композитів відбувається переважно по задній поверхні шляхом заокруглення ріжучої кромки. Типові технологічні операції механічної обробки різанням величина зносу по задній поверхні не повинна перевищувати 0,3 мм.

Для контролю гостроти ріжучих крайок кінцева фреза встановлювалася на стіл мікроскопа (рисунок 3.6). Порівняння задніх поверхонь головних різальних кромок нової фрези (рисунок 3.7а) та фрези, використаної в експериментах (рисунок 3.7б) показало відсутність майданчика зношування.

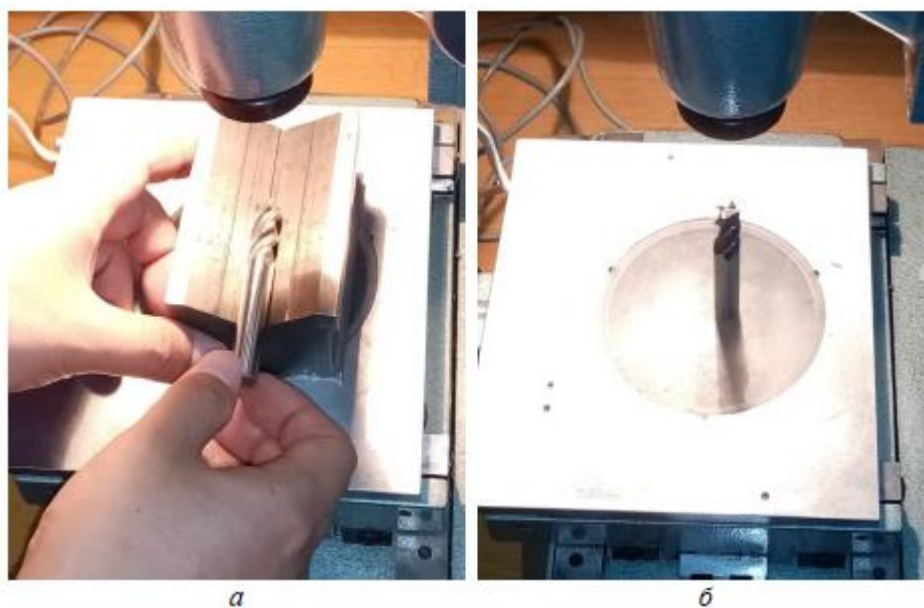


Рисунок 3.6 – Контроль гостроти головних ріжучих кромок (а) та допоміжних ріжучих кромок (б) кінцевої фрези

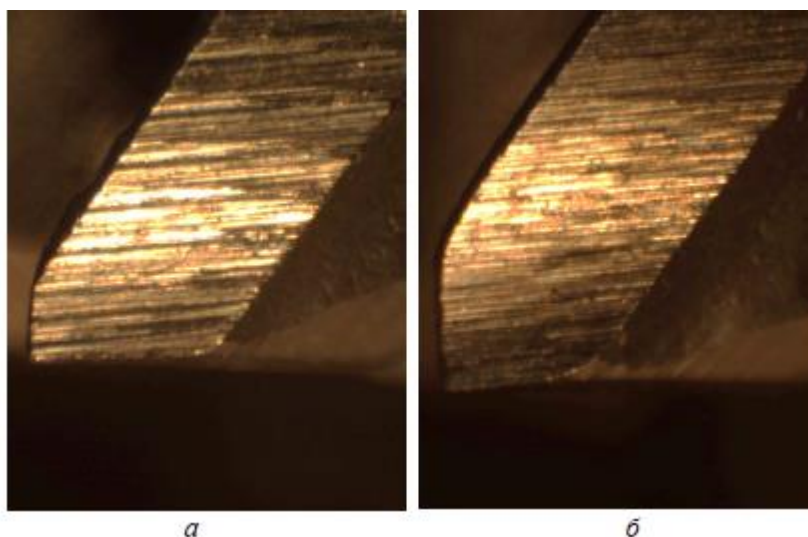


Рисунок 3.7 – Порівняння задніх поверхонь головних різальних кромок нової фрези (а) та фрези, використаної в експериментах (б)

Порівняння задніх поверхонь допоміжних ріжучих кромок нової фрези (Рисунок 3.8а) та фрези, використаної в експериментах (Рисунок 3.8б) показало відсутність майданчика зносу.

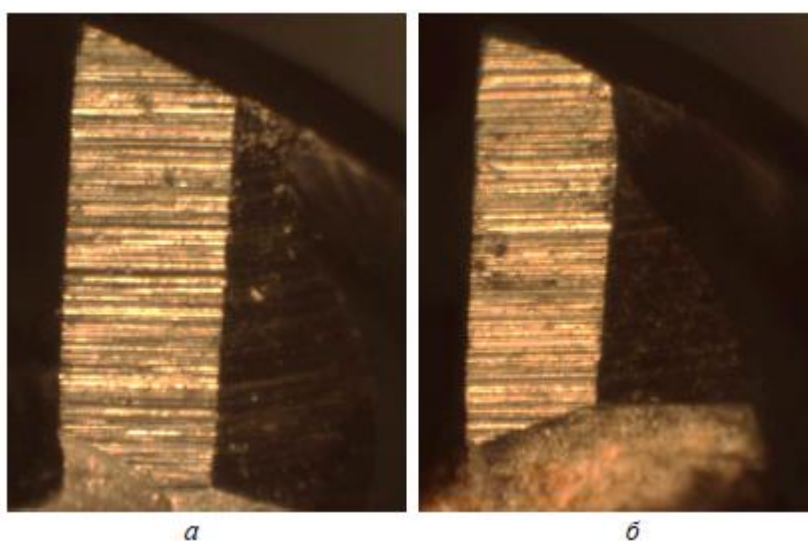


Рисунок 3.8 – Порівняння задніх поверхонь допоміжних різальних кромок нової фрези (а) та фрези, використаної в експериментах (б)

Як експериментальні зразки використовувалися пластини розміром 500×40×8 мм.

При проведенні експериментів вісь кінцевої фрези розташовувалась перпендикулярно шарам скловолокна. Режими обробки варіювалися в наступних діапазонах:

глибина різання від 1 до 5 мм;

подача зуба S_z від 0,06 до 0,25 мм/зуб;

швидкість різання V від 126 до 314 м/хв.

Залежність крутного моменту M (Н×м) від режимів фрезерування:

$$M = 9,2t^{2,292}S_z^{0,614}V^{-1,139}.$$

Залежність шорсткості Ra (мкм) від режимів фрезерування:

$$Ra = 3,5t^{-0,116}S_z^{0,369}V^{0,261}.$$

Залежність відносного коефіцієнта розшарування δ (%) від режимів фрезерування:

$$\delta = 88,6t^{0,454}S_z^{0,495}V^{-0,318}.$$

За допомогою критерію Фішера [1] було встановлено їх адекватність.

На рисунку 3.9 представлені графічні залежності, отримані за формулами при значенні глибини різання t дорівнює 5 мм.

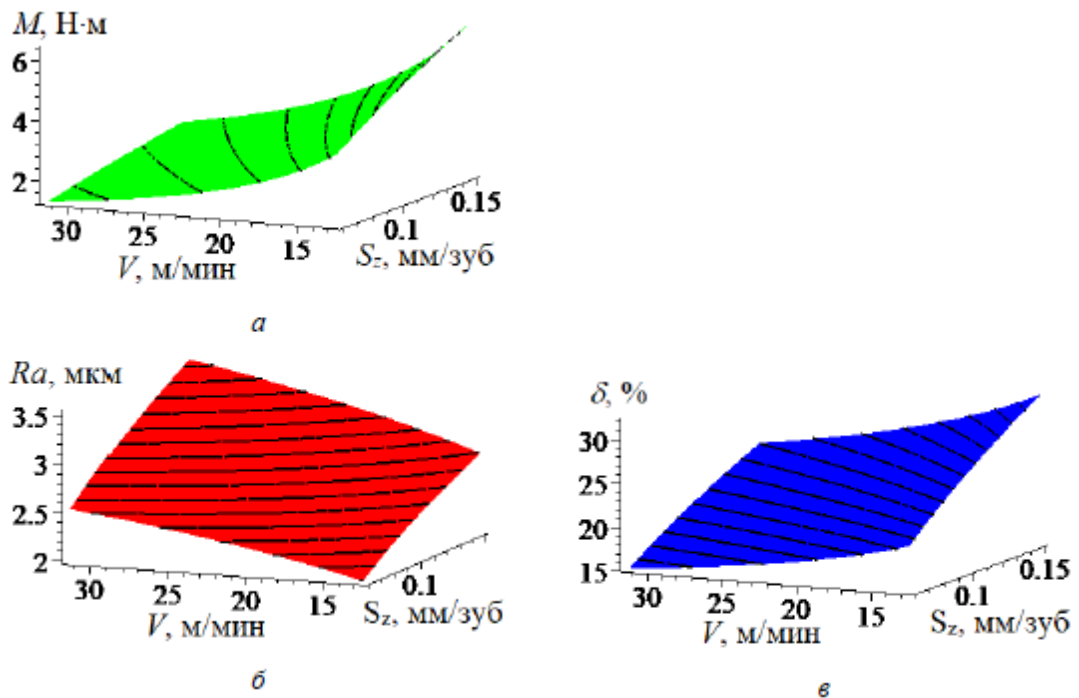


Рисунок 3.9 – Графічні залежності крутного моменту (а), шорсткості (б) та відносного коефіцієнта розшарування (в) від режимів обробки при кінцевому фрезеруванні

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ШАЛОВИХ СКЛОВОЛОКОННИХ КОМПОЗИТІВ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗУВАННІ

Експериментальні дослідження проводились на вертикально-фрезерному обробному центрі VMC750. Керуючі програми були підготовлені з використанням системи SprutCAM

Як досліджуваний композиційний матеріал був обраний склотекстоліт марки 3240 (Китай), властивості якого представлені в першому розділі.

У процесі обробки експериментальні зразки закріплювалися на столі верстата за допомогою притисків, забезпечуючи достатню жорсткість.

Для порівняльної оцінки продуктивності різних варіантів обробки було прийнято рішення стабілізувати глибину різання t на максимальному рівні в діапазоні досліджуваному рівному 5 мм з метою забезпечення найбільшої продуктивності при наступних експериментах. Інші режими варіювалися в наступних діапазонах:

подача зуба S_z від 0,06 до 0,15 мм/зуб;

швидкість різання V від 126 до 314 м/хв.

При проведенні експериментів вісь кінцевої фрези розташовувалась перпендикулярно шарам скловолокна.

5.1 Вплив режимів обробки на відносний коефіцієнт розшарування при фрезеруванні з притискною пластиною та без неї

Проведено експериментальну перевірку впливу притискних пластин на розшарування при кінцевому фрезеруванні шаруватих скловолоконних композитів (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Зона обробки при фрезеруванні з притискною пластиною





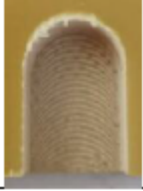



Для цього використовувалася металева притискна пластина з канавками різної ширини в діапазоні від 10 до 16 мм.

Як експериментальні зразки використовувалися пластини розміром 150×40×8 мм.

Як інструмент використовувалася фреза кінцева чотиризуба зі швидкорізальної сталі Р6М5 діаметром 10 мм.

Отримані результати було зведено до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати експериментальних досліджень при кінцевому фрезеруванні з притискною пластиною

№ дослід	Фактори			Умови дослідження			δ (середнє по 3-м вим.), %	Фото
	X_1	X_2	X_3	S_z , мм/зуб	V , м/хв	h , мм		
1	-	-	-	0,06	12,6	10	18,7	
2	-	-	+	0,06	12,6	16	21,3	
3	-	+	-	0,06	31,4	10	10,6	
4	-	+	+	0,06	31,4	16	13,0	
5	+	-	-	0,15	12,6	10	25,7	
6	+	-	+	0,15	12,6	16	25,7	
7	+	+	-	0,15	31,4	10	15,7	
8	+	+	+	0,15	31,4	16	13,0	

Після отримання експериментальних даних було проведено їх обробку з допомогою математичного апарату методу ПФЭ [1].

Залежність відносного коефіцієнта розшарування (%) від режимів фрезерування при обробці з притискною пластиною:

$$\delta = 24,596 + 45,556S_z - 0,519V.$$

Коефіцієнт регресії, що відповідає ширині канавки в притискній пластині h виявився незначним, тобто таким, що не суттєво впливає на коефіцієнт розшарування δ .

Для порівняння було проведено експериментальну обробку без притискної пластини (рисунок 4.2).

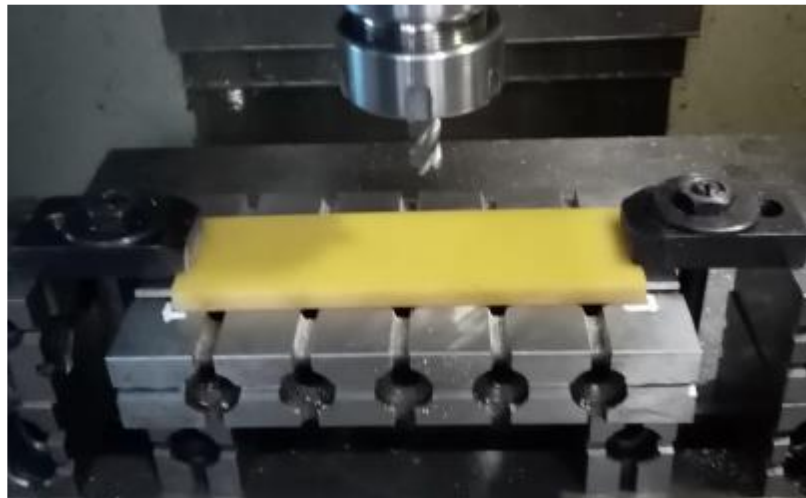


Рисунок 4.2 – Зона обробки при кінцевому фрезеруванні без притискної пластини

Процес експериментальної обробки представлений рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 – Кінцеве фрезерування без притискної пластини

Оброблений зразок представлений рисунку 4.4.

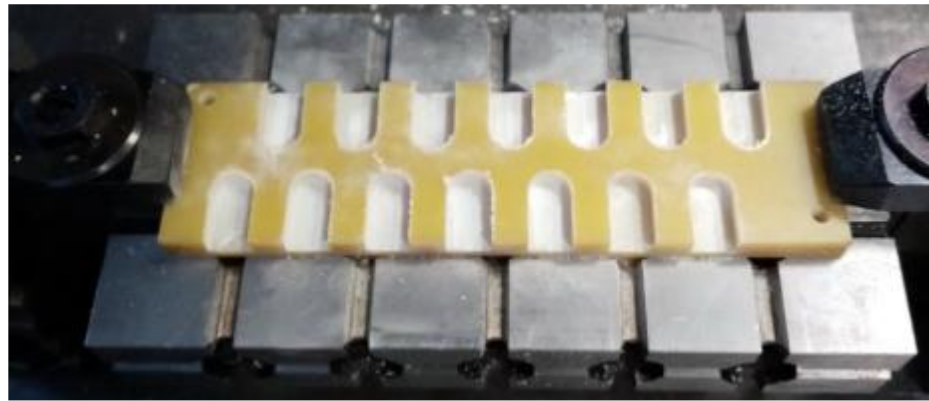






Рисунок 4.4 – Зразок, оброблений кінцевим фрезеруванням без притискної пластини

Отримані результати було зведено до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Результати експериментальних досліджень при кінцевому фрезеруванні без притискної пластини

№ дослід	Фактори		Умови дослідження		δ (середнє по 3-м вим.), %	Фото
	X_1	X_2	S_z , мм/зуб	V , м/хв		
1	-	-	0,06	12,6	21.8	
2	-	+	0,06	31,4	14.4	
3	+	-	0,15	12,6	27.8	
4	+	+	0,15	31,4	24.6	

Після отримання експериментальних даних було проведено їх обробку з допомогою математичного апарату методу ПФЭ [1].

Залежність відносного коефіцієнта розшарування (%) від режимів фрезерування при обробці без притискної пластини:

$$\delta = 18,902 + 90S_z - 0,282V.$$

Формули отримані внаслідок апроксимації експериментальних даних наведених у табл. 4.1 та 4.2. Аналіз цих даних показує, що суттєва відмінність відносних коефіцієнтів розшарування в табл. 4.1 та 4.2 при однакових режимах обробки спостерігається тільки при рівності діаметра фрези та ширини канавки у притискній пластині. При відмінності діаметра фрези та ширини канавки у притискній пластині різниця між величинами відносних коефіцієнтів розшарування у табл. 4.1 та 4.2 несуттєва. Це дозволяє вважати, що вплив притискної пластини на відносний коефіцієнт розшарування проявляється, головним чином, при рівності діаметра фрези і ширини канавки в притискній пластині. Для досягнення такого результату потрібна точна прив'язка інструменту до оброблюваної деталі та притискної пластини з канавкою, ширина якої повинна дорівнювати діаметру кінцевої фрези. Це призведе до збільшення часу налаштування та зростання собівартості операції.

5.2 Вплив режимів обробки на відносний коефіцієнт розшарування при фрезеруванні за контуром паза з попереднім центральним проходом і без нього

У зв'язку з тим, що найбільше розшарування спостерігалось на радіусній частині кромки паза, де час контакту зубів фрези з оброблюваним матеріалом найбільше, було зроблено припущення про те, що кінцеве фрезерування контуру паза забезпечить зменшення розшарування. Для його підтвердження була проведена експериментальна перевірка кінцевого фрезерування по контуру паза меншою фрезою діаметра на розшарування шаруватих скловолоконних композитів.

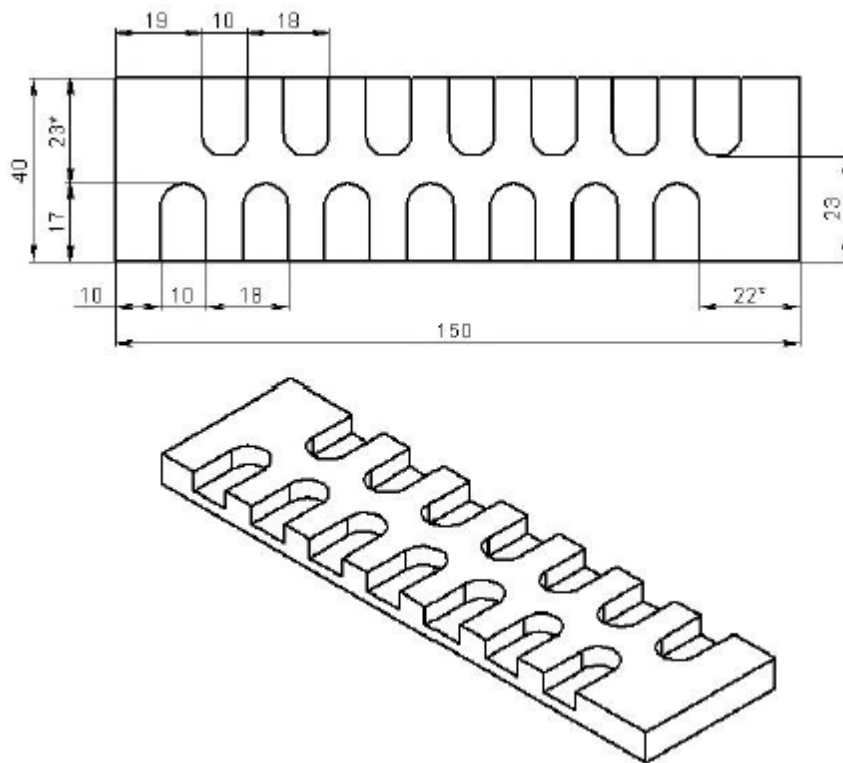


Рисунок 4.5 – Модель експериментального зразка для складання керуючої програми обробки

Як експериментальні зразки використовувалися пластини розміром 150×40×8 мм. Модель експериментального зразка підготовки керуючої програми у системі SprutCAM представлена рисунку 4.5.

Траєкторію переміщення фрези в процесі обробки експериментального зразка, задану в системі SprutCAM, представлено на рисунку 4.6.

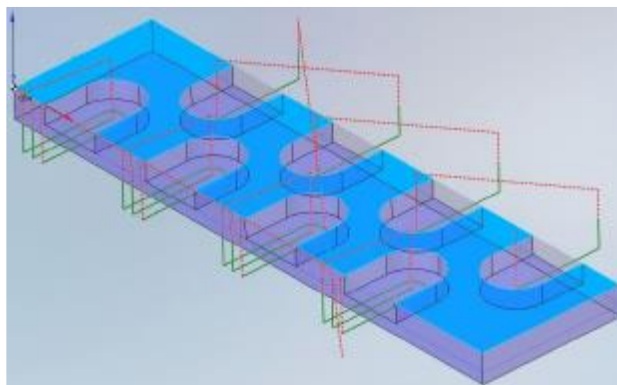


Рисунок 4.6 – Траєкторія переміщення фрези в процесі обробки експериментального зразка, задана в системі SprutCAM

Як інструмент використовувалася фреза кінцева чотиризуба зі швидкорізальної сталі P6M5 діаметром 6 мм.

Спочатку фрезерувався центральний паз шириною 6 мм, а потім оброблявся по контуру в розмір 10 мм (рисунок 4.7).

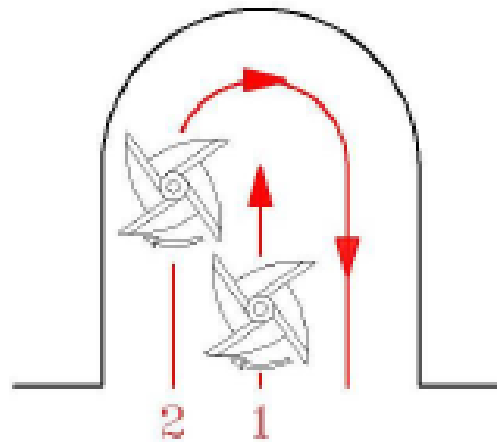


Рисунок 4.7 – Фрезерування за контуром паза з попереднім центральним проходом

Процес експериментальної обробки представлений рисунку 4.8.

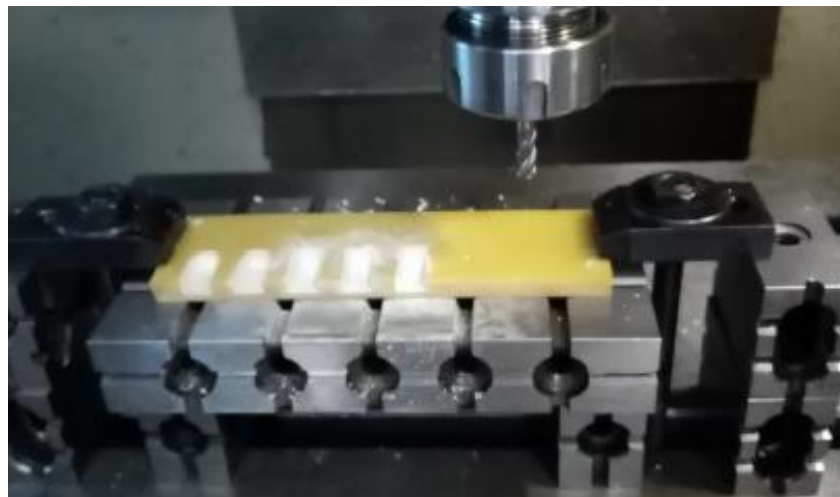
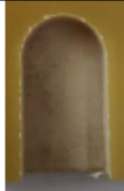

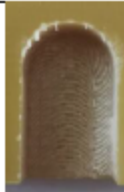



Рисунок 4.8 – Кінцеве фрезерування за контуром паза фрезою меншого діаметра

Отримані результати було зведено до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Результати експериментальних досліджень при фрезеруванні за контуром паза з попереднім центральним проходом

№ дослід	Фактори		Умови дослідження		δ (середнє по 3-м вим.), %	Фото
	X_1	X_2	S_z , мм/зуб	V , м/хв		
1	-	-	0,06	12,6	6,2	
2	-	+	0,06	31,4	8,2	
3	+	-	0,15	12,6	15,4	
4	+	+	0,15	31,4	15,2	

Після отримання експериментальних даних було проведено їх обробку з допомогою математичного апарату методу ПФЕ [1].

Залежність відносного коефіцієнта розшарування δ (%) від режимів обробки при фрезеруванні за контуром паза з попереднім центральним проходом:

$$\delta = 1,8 + 90S_z.$$

Експерименти показали, що при однакових режимах кінцеве фрезерування по контуру паза забезпечує кращу якість поверхні шаруватих скловолоконних композитів, ніж однопрохідний варіант обробки паза. У цьому коефіцієнт регресії, відповідний швидкості різання V , виявився незначним, тобто. не надають істотного впливу коефіцієнт розшарування δ .

Проведено перевірку можливості здійснення фрезерування за контуром паза без попереднього центрального проходу (рисунок 4.9).

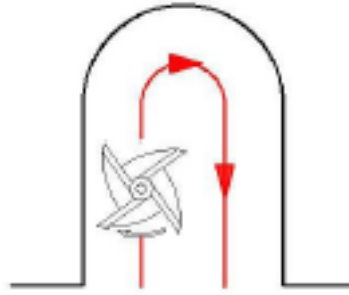


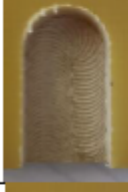
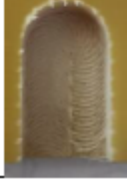


Рисунок 4.9 – Фрезерування за контуром паза без попереднього центрального проходу

Отримані результати було зведено до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Результати експериментальних досліджень при фрезеруванні за контуром паза без попереднього центрального проходу

№ дослід	Фактори		Умови дослідження		δ (середнє по 3-м вим.), %	Фото
	X_1	X_2	S_z , мм/зуб	V , м/хв		
1	-	-	0,06	12,6	6,2	
2	-	+	0,06	31,4	7,4	
3	+	-	0,15	12,6	10,6	
4	+	+	0,15	31,4	15	

Після отримання експериментальних даних було проведено їх обробку з допомогою математичного апарату методу ПФЭ [1].

Залежність відносного коефіцієнта розшарування δ (%) від режимів обробки при фрезеруванні за контуром паза без попереднього центрального проходу:

$$\delta = -0,477 + 66,667S_z + 0,149V.$$

Дані експерименти показали, що при однакових режимах кінцеве фрезерування по контуру паза без попереднього центрального проходу не поступається за якістю обробки з центральним проходом, а за продуктивністю перевершує її.

На рисунку 4.10 подано графічні залежності відносного коефіцієнта розшарування від режимів обробки.

Їхня адекватність була встановлена за допомогою критерію Фішера [1].

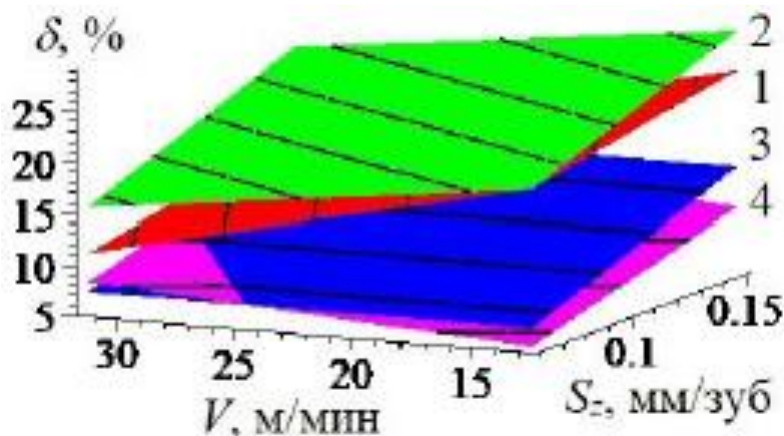


Рисунок 4.10 – Залежність відносного коефіцієнта розшарування від режимів обробки:

1. при кінцевому фрезеруванні з притискною пластиною
2. при кінцевому фрезеруванні без притискної пластини
3. при кінцевому фрезеруванні за контуром паза з попереднім центральним проходом
4. при кінцевому фрезеруванні за контуром паза без попереднього центрального проходу

Порівняльний аналіз отриманих даних показує, що вплив притискної пластини на відносний коефіцієнт розшарування проявляється, головним чином, при рівності діаметра фрези і ширини канавки в притискній пластині. Для досягнення такого результату потрібна точна прив'язка інструменту до

оброблюваної деталі та притискної пластини з канавкою, ширина якої повинна дорівнювати діаметру кінцевої фрези. Це призведе до збільшення часу налаштування та зростання собівартості операції. При однакових режимах обробки кінцеве фрезерування контуру паза забезпечує кращу якість поверхні шаруватих скловолоконних композитів, ніж однопрохідний варіант обробки паза. Кінцеве фрезерування по контуру паза без попереднього центрального проходу не поступається якістю обробці з центральним проходом, а за продуктивністю перевищує її.

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ З ТЕМИ «ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ШАРУВАТИХ СКЛОВОЛОКОННИХ КОМПОЗИТІВ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ» ДЛЯ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

6. Вихідні дані:

4.1. Назва спеціальності – Професійна освіта. Машинобудування;

6.2. Назва навчального закладу – Українська інженерно-педагогічна академія;

6.3. Освітній рівень, ступінь вищої освіти – другий (магістерський) рівень вищої освіти, магістр;

6.4. Стратегічні цілі підготовки:

– застосовувати глибокі знання у галузі сучасних технологій машинобудівного виробництва для вирішення міждисциплінарних інженерних завдань;

– ставити та вирішувати інноваційні завдання інженерного аналізу, пов'язані зі створенням та обробкою матеріалів та виробів, з використанням системного аналізу та моделювання об'єктів та процесів машинобудування;

– розробляти технологічні процеси, проектувати та використовувати нове обладнання та інструменти для обробки матеріалів та виробів, конкурентоспроможних на світовому ринку машинобудівного виробництва;

– проводити теоретичні та експериментальні дослідження в галузі сучасних технологій обробки матеріалів, нанотехнологій, створення нових матеріалів у складних та невизначених умовах.

6.5. Назва навчальної дисципліни – Проектування і програмування обробки на верстатах з ЧПК.

6.2. Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей).

Опис оперативних цілей з навчальної теми представлено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Оперативні цілі вивчення теми

Цілі факультативного заняття	Цілі-задачі навчального матеріалу	Умови досягнення	Результат у вигляді дій студентів
1	2	3	4
Сформувані у здобувачів освіти вміння оптимізації режимів вібраційного точіння, виражених через узагальнену функцію вібраційного впливу, для досягнення мінімуму шорсткості обробленої поверхні; підвищення ефективності механічної обробки з випереджаючим пластичним деформуванням (ВПД) оброблювальної поверхні при обробці легованих та вуглецевих сталей на основі вивчення фізичних явищ,	<p>– аналізувати підходи в теорії і практиці точіння з випереджаючим деформуванням деталей типу тіл обертання, в результаті якого встановлені фізичні явища, які відбуваються під час стружкоутворення, формування поверхневого шару обробленої поверхні зношування ріжучого інструменту;</p> <p>– встановити взаємозв'язок параметрів шорсткості оброблювальної поверхні і зносу інструменту з технологічними режимами обробки легованих та вуглецевих сталей та розробляти практичні рекомендації щодо застосування ВПД для підвищення ефективності процесу різання для напівчистового та чистового точіння.</p>	Базові знання: Теорія різання та інструмент, автоматизовані виробничі системи та технологічне оснащення верстатів, деталі машин, обладнання автоматизованого виробництва.	Правильно здійснювати оптимізацію режимів вібраційного точіння, виражених через узагальнену функцію вібраційного впливу, для досягнення мінімуму шорсткості обробленої поверхні; підвищення ефективності механічної обробки з випереджаючим пластичним деформуванням (ВПД) оброблювальної поверхні при обробці легованих та вуглецевих сталей на основі вивчення

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4
що супроводжують процес різання.			фізичних явищ, що супроводжують процес різання.

6.3. Перелік літературних джерел з теми.

1. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування : навчальний посібник / С.Г. Бондаренко. – Львів : «Магнолія 2006», 2014. – 500 с.
2. Горбатюк Є.О. Технології машинобудування : навчальний посібник / Є.О. Горбатюк, М.П. Мазур, А.С. Зенкін, В.Д. Каразей. – Львів : «Новий Світ – 2000», 2015. – 358 с.
3. Жигуц Ю.Ю. Технологія машинобудування. Збірник лабораторних робіт : Навчальний посібник / Ю.Ю. Жигуц, В.Ф. Лазар. – К. : «Кондор-Видавництво», 2013. – 352 с.
4. Юрчишин І.І. Технологія машинобудування : Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт : Навч. посібник / І.І. Юрчишин, Я.М. Литвиняк, І.Є. Грицай, М.Л. Кукляк, Я.М. Кусий, В.В. Ступницький, В.А. Яцюк, А.М. Кук, Є.М. Махоркін, В.П. Свізінський / Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 528 с.

6.4. Конструювання дидактичних матеріалів:

План

1. Аналіз способів підвищення ефективності лезвійної обробки металів.
2. Дослідження особливостей процесу різання з випереджаючим пластичним деформуванням.
3. Методи дослідження ВПД.
4. Дослідження поверхневого шару виробів з легованих т вуглецевих сталей після механічної обробки точіння з ВПД та без.

6.5. Аналіз базових умов навчання. Вибір способів актуалізації базових знань і способів дій представлено в табл.6.2.

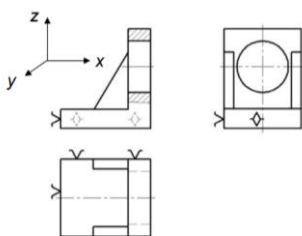
Продуктом цієї діяльності є розроблена на підставі аналізу система визначення й вирівнювання початкових вимог до необхідного рівня, представлена у вигляді карти міжтемних зв'язків. У ній перелічуються базовий матеріал і засоби його реалізації, засоби й методи організації та здійснення вхідного контролю, які мусять охоплювати всі необхідні базові знання й уміння, критерії їхньої оцінки, а також засоби формування базового матеріалу.

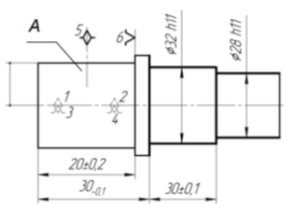
Як уже відзначалося, способи формування базового матеріалу реалізують міжтемні зв'язки. До цих способів висуваються вимоги повного охоплення базового матеріалу й швидкості його засвоєння. Відповідно до цього формування базового матеріалу має здійснюватися шляхом швидкого й чіткого відтворення необхідної інформації з метою її відновлення в пам'яті учнів. Для цього викладачеві необхідно попередньо подати певну інформацію у вигляді опорного конспекту або логічної структури.

Таблиця 6.2

Аналіз базового матеріалу і способи актуалізації базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3
Теорія різання та інструмент	<p>Методи: письмове опитування.</p> <p>Форми: фронтальна.</p> <p>Засоби: тестові завдання.</p> <p>1. До показників точності вертикально-свердлильного верстата не відносять</p> <p>....</p> <p>1) площинність робочої поверхні столу.</p> <p>2) перпендикулярність напрямку руху гільзи шпинделя щодо плоскості столу.</p> <p>3) шорсткість напрямної поверхні гільзи шпинделя.</p> <p>4) шорсткість робочої поверхні столу.</p>	<p>При відсутності базових знань у здобувачів освіти формуємо методом пояснення-бесіда протягом 10 хвилин.</p>

1	2	3
	<p>2. Для завдання положення будь-якої деталі щодо іншої деталі, необхідно і достатньо мати</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) три опорні точки. 2) чотири опорні точки. 3) п'ять опорних точок. 4) шість опорних точок. <p>3. Для завдання положення будь-якої деталі щодо іншої деталі, необхідно і достатньо</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) однієї конструкторської основної бази. 2) двох конструкторських основних баз. 3) трьох конструкторських основних баз. 4) шести конструкторських допоміжних баз. <p>4. Показані на малюнку опорні точки позбавляють заготовлю можливість</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) переміщуватися в напрямку осі Y, обертатися навколо осі Y та обертатися навколо осі X. 2) обертатися навколо осі X, переміщуватися в напрямку осі Z та обертатися навколо осі Y. 3) обертатися навколо осі Y, переміщуватися в напрямку осі Z і переміщуватися в осі X. 4) переміщуватися в напрямку осі X, обертатися навколо осі Z і переміщуватися в осі Y.  <p>5. За призначенням бази поділяють на ...</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) підвійні напрямні, напрямні та опорні. 2) установні, опорні та приховані. 3) конструкторські, технологічні та вимірювальні. 4) підвійні опорні, явні та приховані. 	

1	2	3
	<p>6. За кількістю ступенів вільності, що відбираються базами, бази поділяють на</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) конструкторські, технологічні та вимірювальні. 2) явні та приховані. 3) конструкторські основні та конструкторські допоміжні. 4) установні, напрямні, опорні, підвійні напрямні та підвійні опорні. <p>7. Установна база відбирає у заготовки або виробу</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) одна ступінь вільності. 2) два ступені вільності. 3) три ступені вільності. 4) чотири ступені вільності. <p>8. На операції механічної обробки валу вісь циліндричної поверхні А є ...</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) конструкторською підвійною опорною явною базою. 2) технологічною підвійною напрямною явною базою. 3) конструкторською напрямною явною базою. 4) технологічною підвійною напрямною похованою базою. 	

6.6. Проєктування мотиваційних технологій навчання з теми факультативу, характеристика і текст мотивації, використання якої доцільно при вивченні навчального матеріалу представлено в табл. 4.3.

Обрання методів мотивації навчальної діяльності

Вид і методи мотивації	Вступна мотивація
1	2
Мотивуючий вступ	<p>Доброго дня! В даний час в машинобудуванні широко використовуються нові матеріали, що мають високі характеристики міцності, в'язкості та пластичності, з підвищенням яких погіршується оброблюваність: збільшуються сили різання та ефективна потужність, що витрачаються на різання; погіршується якість шорсткості поверхні; знижується період стійкості різального інструменту; збільшується кількість теплоти утвореної в зоні різання та змінюється характер її розподілу на поверхнях заготовки та інструменту процес утворення стружки, її усадка та тип; інтенсивність процесу утворення наросту та його форма. У зв'язку з цим виникає питання про пошуки раціональних способів обробки, зокрема механічної обробки різанням на токарних верстатах. Механічна обробка різанням на токарних верстатах є основним видом механічної обробки деталей з подібних матеріалів. В даний час існує декілька різновидів токарної обробки з введенням в зону різання додаткового впливу, механічного, термічного, хімічного та ін.: вібраційне різання з різними частотами коливань ріжучого інструменту; обробка з використанням випереджаючого пластичного деформування; плазмово-механічна обробка; обробка з попереднім підігрівом; обробка з використанням в процесі різання поверхнево-активних матеріалів. Кожен з перерахованих методів обробки має свої недоліки, що обмежують його застосування. Менше число недоліків має вібраційне різання. Дослідження в даному напрямку є актуальними і полягають в необхідності оптимізації технологічних параметрів вібраційного різання для забезпечення вимог, що задаються конструкторською документацією, до оброблюваного виробу, що дозволить застосовувати вібраційне різання на всіх стадіях виготовлення виробів з важкооброблюваних матеріалів.</p>

6.7. Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті (табл.4.4).

Іноді викладач може сам на підставі наявних логіко-змістових матеріалів розкрити зміст діяльності. У цьому разі учні одержують інформацію в готовому вигляді. Але в ряді випадків процес засвоєння нового матеріалу може перетворитися на «самостійне відкриття», що є надзвичайно важливим для оптимізації навчання. Майбутньому викладачеві слід володіти інформацією про можливі способи побудови орієнтовної основи діяльності та порядок взаємодії її компонентів.

На початковій стадії формування ООД викладач виділяє всі знання про предмет діяльності, а також умови, яких необхідно дотримуватися для вирішення завдання, крім цього розглядає процес діяльності (з чого почати, що виконувати й у якому випадку?).

Відповідно до цих положень провідною метою розробки технологій формування нових знань є проектування та реалізація оптимальної орієнтовної основи діяльності, що дозволить сформуванню необхідних якостей професійних дій.

Таблиця 4.4

Способи формування ООД на факультативному занятті

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
Сформуванню здатності щодо оптимізації режимів вібраційного точіння, виражених через узагальнену функцію вібраційного впливу, для досягнення мінімуму шорсткості обробленої	Фронтальна	Словесні (бесіда, оповідання, пояснення). Наочні (демонстрація презентації, плакатів та інших об'єктів).	План для обговорення: 1. Аналіз способів підвищення ефективності лезвійної обробки металів. 2. Дослідження особливостей процесу різання з випереджаючим пластичним деформуванням. 3. Методи дослідження ВПД.

1	2	3	4
поверхні; підвищення ефективності механічної обробки з випереджаючим пластичним деформуванням (ВПД) оброблювальної поверхні при обробці легованих та вуглецевих сталей на основі вивчення фізичних явищ, що супроводжують процес різання.			4. Дослідження поверхневого шару виробів з легованих та вуглецевих сталей після механічної обробки точіння з ВПД та без.

4.8. Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
Закріпити здатності у здобувачів освіти щодо оптимізації режимів вібраційного точіння, виражених через узагальнену функцію вібраційного впливу, для досягнення мінімуму шорсткості обробленої поверхні; підвищення ефективності механічної обробки з випереджаючим пластичним деформуванням (ВПД) оброблювальної поверхні при обробці легованих та вуглецевих	Фронтальна	Закріплююча бесіда.	Для закріплення нового навчального матеріалу викладач ставить усні запитання. 1. У чому полягає сутність дослідження температурно-деформаційних закономірностей високошвидкісного деформування? 2. Яким чином впливає пластичні

Продовження табл. 4.5

1	2	3	4
сталей на основі вивчення фізичних явищ, що супроводжують процес різання.			деформація на теплопровідність металу? 3. Назвіть інструментальні та оброблювальні матеріали. 4. Яким чином здійснюється оцінка мікрорельєфу поверхневого шару?

6.9. Проектування контрольних дій з теми (табл. 6.6).

Контроль формування професійної діяльності є однією з основних складових системи управління процесом навчання. За даними доктора педагогічних наук І. І. Тихонова, час у навчальному процесі розподіляється в такий спосіб: «повідомлення інформації – 40%, засвоєння інформації – 40%, контроль засвоєння – 10–15%, корекція узгодження – 5–10%». Таким чином, на контроль навчальної діяльності в навчальному процесі відводиться до 20% часу. І це виправдано, оскільки наявність технологій контролю сприяє визначенню успішності навчання кожного учня, причин незадовільного засвоєння навчального матеріалу, включенню раціональних прийомів і способів навчання для ліквідації недоліків управління навчальною діяльністю. Саме тому без відповідного блоку методів контролю та корекції сформованих умінь система управління навчанням є неповноцінною і незавершеною.

Засоби контролю з теми факультативного заняття

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
Проконтролювати здібності у здобувачів освіти щодо оптимізації режимів вібраційного точіння, виражених через узагальнену функцію вібраційного впливу, для досягнення мінімуму шорсткості обробленої поверхні; підвищення ефективності механічної обробки з випереджаючим пластичним деформуванням (ВПД) оброблювальної поверхні при обробці легованих та вуглецевих сталей на основі вивчення фізичних явищ, що супроводжують процес різання.	фронтальна	Письмове опитування	Контрольні питання: 1. Що називають інструментальним вимірюванням? 2. Яким чином впливає ВПД на шорсткість під час обробки легованих та вуглецевих сталей? 3. Опишіть дослідження зношення різального інструменту під час механічної обробки легованих та вуглецевих сталей точіння з ВПД та без. 4. Опишіть ризики виконання робіт на робочому місці 5. Яким чином здійснюється оцінка ризиків на робочому місці?

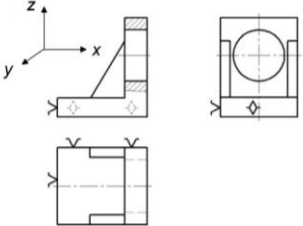
6.10. Розробка сценарію факультативного заняття. Сценарій заняття, його структура й зміст структурних елементів представлені у вигляді табл. 4.7.

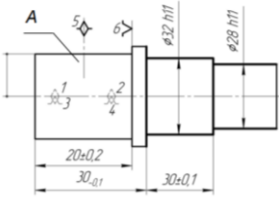
Планування навчального процесу (розбивання на уроки, визначення їхньої структури і типів) у нашому випадку є завершальним етапом методичної діяльності, тоді як більшість традиційних програм методичної підготовки розглядає урок як основу педагогічного проектування, головну змістову одиницю дидактичного проекту.

Сценарій навчання з теми заняття

№ п/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
1	Організаційний момент	Заняття починається з вступної організаційної частини, перевірки присутніх за журналом, повідомлення теми та цілей заняття.
2	Повідомлення теми і мети заняття	Повідомлення теми заняття: «Підвищення ефективності механічної обробки за допомогою випереджального пластичного деформування». Мета: Сформувати у здобувачів освіти вміння: вміння оптимізації режимів вібраційного точіння, виражених через узагальнену функцію вібраційного впливу, для досягнення мінімуму шорсткості обробленої поверхні; підвищення ефективності механічної обробки з випереджаючим пластичним деформуванням (ВПД) оброблювальної поверхні при обробці легованих та вуглецевих сталей на основі вивчення фізичних явищ, що супроводжують процес різання.
3	Мотивація мети	Повідомлення важливості вивчення даної теми: Доброго дня! В даний час в машинобудуванні широко використовуються нові матеріали, що мають високі характеристики міцності, в'язкості та пластичності, з підвищенням яких погіршується оброблюваність: збільшуються сили різання та ефективна потужність, що витрачаються на різання; погіршується якість шорсткості поверхні; знижується період стійкості різального інструменту; збільшується кількість теплоти утвореної в зоні різання та змінюється характер її розподілу на поверхнях заготовки та інструменту процес утворення стружки, її усадка та тип; інтенсивність процесу утворення наросту та його форма. У зв'язку з цим виникає питання про пошуки раціональних способів обробки, зокрема механічної обробки різанням на токарних верстатах. Механічна обробка різанням на токарних верстатах є основним видом механічної обробки деталей з подібних матеріалів. В даний час існує декілька різновидів токарної обробки з введенням в зону різання додаткового впливу, механічного, термічного, хімічного та ін.:

1	2	3
		<p>вібраційне різання з різними частотами коливань ріжучого інструменту; обробка з використанням випереджаючого пластичного деформування; плазмово-механічна обробка; обробка з попереднім підігрівом; обробка з використанням в процесі різання поверхнево-активних матеріалів. Кожен з перерахованих методів обробки має свої недоліки, що обмежують його застосування. Менше число недоліків має вібраційне різання. Дослідження в даному напрямку є актуальними і полягають в необхідності оптимізації технологічних параметрів вібраційного різання для забезпечення вимог, що задаються конструкторською документацією, до оброблюваного виробу, що дозволить застосовувати вібраційне різання на всіх стадіях виготовлення виробів з важкооброблюваних матеріалів.</p>
4	Актуалізація базових знань	<p>Проведення письмового опитування, за допомогою тестових завдань:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. До показників точності вертикально-свердлильного верстата не відносять <ol style="list-style-type: none"> 1) площинність робочої поверхні столу. 2) перпендикулярність напрямку руху гільзи шпинделя щодо плоскості столу. 3) шорсткість напрямної поверхні гільзи шпинделя. 4) шорсткість робочої поверхні столу. 2. Для завдання положення будь-якої деталі щодо іншої деталі, необхідно і достатньо мати <ol style="list-style-type: none"> 1) три опорні точки. 2) чотири опорні точки. 3) п'ять опорних точок. 4) шість опорних точок. 3. Для завдання положення будь-якої деталі щодо іншої деталі, необхідно і достатньо <ol style="list-style-type: none"> 1) однієї конструкторської основної бази. 2) двох конструкторських основних баз. 3) трьох конструкторських основних баз. 4) шести конструкторських допоміжних баз. 4. Показані на малюнку опорні точки позбавляють заготівлю можливості

1	2	3
		<p>1) переміщуватися в напрямку осі Y, обертатися навколо осі Y та обертатися навколо осі X.</p> <p>2) обертатися навколо осі X, переміщуватися в напрямку осі Z та обертатися навколо осі Y.</p> <p>3) обертатися навколо осі Y, переміщуватися в напрямку осі Z і переміщуватися в осі X.</p> <p>4) переміщуватися в напрямку осі X, обертатися навколо осі Z і переміщуватися в осі Y.</p>  <p>5. За призначенням бази поділяють на ...</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) підвійні напрямні, напрямні та опорні. 2) установні, опорні та приховані. 3) конструкторські, технологічні та вимірjuвальні. 4) підвійні опорні, явні та приховані. <p>6. За кількістю ступенів вільності, що відбираються базами, бази поділяють на</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) конструкторські, технологічні та вимірjuвальні. 2) явні та приховані. 3) конструкторські основні та конструкторські допоміжні. 4) установні, напрямні, опорні, підвійні напрямні та підвійні опорні. <p>7. Установна база відбирає у заготовки або виробу</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) одна ступінь вільності. 2) два ступені вільності. 3) три ступені вільності. 4) чотири ступені вільності. <p>8. На операції механічної обробки валу вісь циліндричної поверхні A є ...</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) конструкторською підвійною опорною явною базою. 2) технологічною підвійною напрямною явною базою. 3) конструкторською напрямною явною базою. 4) технологічною підвійною напрямною похованою базою.

1	2	3
		 <p>The drawing shows a shaft with several sections. From left to right: a section with diameter $\varnothing 3$ and length 20 ± 0.2; a section with diameter $\varnothing 4$ and length 30 ± 0.1; a section with diameter $\varnothing 2$ and length 30 ± 0.1; and a section with diameter $\varnothing 28$ and length 30 ± 0.1. There are also labels 'A', '5', '6', and '7' pointing to specific features on the shaft.</p>
5	Формування ООД	<p>Викладач викладає новий навчальний матеріал за планом.</p> <p>При поясненні нового навчального матеріалу викладач використовує словесні методи: усний виклад нового матеріалу, бесіду; використовує наочні методи: показ натуральних (інструменти, прилади, деталі та вузли обладнання, зразки матеріалів, виробів тощо); образотворчих (плакати, моделі, макети, схеми) засобів наочності.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Аналіз способів підвищення ефективності лезвійної обробки металів. 2. Дослідження особливостей процесу різання з випереджаючим пластичним деформуванням. 3. Методи дослідження ВПД. 4. Дослідження поверхневого шару виробів з легованих т вуглецевих сталей після механічної обробки точіння з ВПД та без.
6	Формування ВД	<p>Викладач видає групі здобувачів освіти з нової теми, ставить завдання, підбиває підсумки про виконану роботу.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. У чому полягає сутність дослідження температурно-деформаційних закономірностей високошвидкісного деформування? 2. Яким чином впливає пластична деформація на теплопровідність металу? 3. Назвіть інструментальні та оброблювальні матеріали. 4. Яким чином здійснюється оцінка мікрорельєфу поверхневого шару?
7	Формування КД	<p>Викладач проводить студентам перевірку їх знань та вмій з вивченої теми за допомогою запитань:</p> <p>Контрольні питання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Що називають інструментальним вимірюванням? 2. Яким чином впливає ВПД на шорсткість під час обробки легованих та вуглецевих сталей?

1	2	3
		3. Опишіть дослідження зношення різального інструменту під час механічної обробки легованих та вуглецевих сталей точіння з ВПД та без. 4. Опишіть ризики виконання робіт на робочому місці 5. Яким чином здійснюється оцінка ризиків на робочому місці?
8	Підбиття підсумків	Викладач підбиває підсумки по пройденій темі. Виявляє педагогічну ефективність проведеного заняття.

Висновки до розділу 6

В цьому розділі ми розробили дидактичний проєкт на тему «Підвищення ефективності механічної обробки за допомогою випереджального пластичного деформування», а саме: сформулювали дидактичні цілі по темі, виділили перелік базового матеріалу та розробили методи, засоби, форми контролю базового матеріалу, сформулювали план проведення практичної роботи. Відповідно до плану були обрані та обґрунтовані методи та засоби проведення орієнтовної основи діяльності, виконавчих дій студентів та контрольних дій. Результатом проєктування складових факультативного заняття є розробка сценарію проведення факультативного заняття, який представлений у вигляді дій викладача та студентів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Захаркін О.У. Технологічні основи машинобудування (основні способи обробки поверхонь та сучасні Т-системи для їх реалізації): навчальний посібник./ О.У. Захаркін.– Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 137 с.
2. Технологія конструкційних матеріалів : підручник для студ. мех. спец. вищ. навч. закл. / [М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз, та ін.] під ред. М. А. Сологуба., 2-е вид., перероб. і доп. — Київ : Вища школа, 2002. — 374 с.
3. Базров Б.М. Основи технології машинобудування: підручник для вузів. - М .: Машинобудування, 2005. -736 с.
4. Гольдшмідт М.Г. Методологія конструювання: навчальний посібник. - Томськ: Вид-во ТПУ, 2007. - 160 с.
5. Дунаєв П.Ф., Льоліком О.П. Розрахунок допусків розмірів. - М .: Машинобудування, 2001. - 304 с.
6. Колесов І.М. Основи технології машинобудування: підручник для машинобудівних спеціальностей вузів. - М .: Вища школа, 1999.-591 с.
7. Розмірний аналіз технологічних процесів / В.В. Матвеев, М.М. Товариський, Ф.І. Бойков і ін. - М .: Машинобудування, 1982. - 264 с.
8. Солонін І.С., Солонін С.І. Розрахунок складальних і технологічних розмірних ланцюгів. - М .: Машинобудування, 1980. - 110 с.
9. Довідник технолога-машинобудівника. У 2-х т. Т. 2 / під РСД. А.М. Дальського, А.Г. Сулова, А.Г. Косилової, Р.К. Мещерякова. - М .: Машинобудування-1, 2003. - 944 с.
10. Бєлова О.К., Брюханова Н.О. Методичні вказівки з виконання методичної частини дипломних робіт. – Харків: УПА, 2017. – 54 с.
11. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для

студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 204 с.

12. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 174 с.