

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з удосконалення процесу різання
розмірних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування
жесткого наповнювача

Виконав: студент 6 курсу, групи ДІТ-ПОМ23мг
спеціальності: 015.34 Професійна освіта

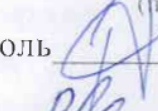
 /Олександр ІЩЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник  /Юрій СИЧОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  /Наталья АНТОНЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

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

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

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

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.Л. Подоляк

“ 12 ” 10 20 24 р.

ЗАВДАННЯ

**на кваліфікаційну роботу (дипломну роботу/дипломний проєкт)
 другого (магістерського) рівня вищої освіти**

студенту (ці) Олександр ІЩЕНКО

(прізвище, ім'я по батькові)

1. Тема роботи: Підготовка фахівців машинобудівної галузі з удосконалення процесу різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача

2. Затверджена наказом по академії № 461-5/3345 від “ 12 ” 10 2024 р.

3. Термін здачі магістрантом закінченої роботи “ 10 ” грудня 2024 р.

4. Вихідні дані до роботи: Матеріали літературного огляду за темою дослідження, мета та завдання дослідження, що сформульовані керівником магістерської роботи, нормативно-довідницька література.

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Особливості процесу різання волокнистих полімерних композитів. Механіка різання і процес стружкоутворення. Проблеми, що виникають в процесі різання волокнистих композитів. Особливості руйнування волокнистих полімерних композитів при різанні. Методична частина. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів): Класифікація виробів із волокнистих полімерних композитів. Концепція ефективного різання ВПК. Особливості руйнування волокнистих полімерних композитів при різанні. Схематична модель руйнування волокнистого полімерного композиту при різанні. Вплив геометричних параметрів різучої частини і зносу на якість поверхневого шару

6. Консультант:

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

7. Дата видачі завдання «02» 09 2024 р.

Керівник

(підпис)

Юрій СИЧОВ
(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Олександр ІЩЕНКО
(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи (дипломної роботи/дипломного проєкту)

№	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 дипломного проєкту. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.		
2	Особливості процесу різання волокнистих полімерних композитів.		
3	Механіка різання і процес стружкоутворення.		
4	Проблеми, що виникають в процесі різання волокнистих композитів		
5	Особливості руйнування волокнистих полімерних композитів при різанні.		
6	Підготовка графічного матеріалу		
7	Доробка дипломного проєкту по зауваженнях наукового керівника		
8	Доробка дипломного проєкту по зауваженнях консультантів		
9	Оформлення дипломного проєкту. Підготовка до захисту.		
10	Захист дипломного проєкту		

Здобувач вищої освіти

Нормоконтроль

(підпис)

(підпис)

Олександр ІЩЕНКО
(ім'я, прізвище)Антон СКОРКІН
(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 удосконалення процесу різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача
(назва роботи)

студента

ЩЕНКО Олександр Ігорович

(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Сичов Юрій Іванович

(прізвище, ім'я та по батькові)

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

Коефіцієнт Подібності 1: 17,93,

Коефіцієнт Подібності 2: 5,58 ,

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

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

не більше ____% – 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)

28.11.2024
(дата)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту містить: 90 ст., 31 рис., 9 табл., 42 джерела.

Ключові слова: ВОЛОКНИСТІ ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ, МЕХАНІЧНА ОБРОБКА, АНІЗОТРОПІЯ, ЯКІСТЬ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ.

Магістерська робота присвячена встановлення умов ефективної механічної обробки волокнистих полімерних композитів. В роботі сформульовані проблеми, які виникають при обробці композитних матеріалів. Розібрані впливи режимів різання на створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача.

Master's thesis is devoted to establishing the conditions for effective mechanical processing of fibrous polymer composites. The paper formulates the problems that arise when processing composite materials. The effects of cutting conditions on the creation of rational conditions for the destruction of fibrous filler are analyzed.

ВСТУП

РОЗДІЛ 1

Актуальність професійної підготовки фахівців для машинобудівної галузі

1.1. Проблема підготовки фахівців машинобудівної галузі

1.2. Особливості професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі

Висновки до розділу 1

РОЗДІЛ 2

2.1. Особливості процесу різання волокнистих полімерних композитів.

2.2. Механіка різання і процес стружкоутворення.

2.3. Проблеми, що виникають в процесі різання волокнистих композитів

2.4. Концепція ефективного різання волокнистих полімерних композитів

РОЗДІЛ 3

3. Особливості руйнування волокнистих полімерних композитів при різанні.

3.1. Вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструментів.

3.2. Вплив режимів різання.

Висновки

РОЗДІЛ 4

4. Методичний розділ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

ВСТУП

Об'єктом дослідження є процес професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі в закладах вищої освіти.

Предмет дослідження – професійна підготовка фахівців машинобудівної галузі з удосконалення процесу різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача.

Метою дослідження є визначити, описати, теоретично обґрунтувати та проаналізувати процес професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі, розробити дидактичний проєкт факультативного заняття з теми «Процес різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача».

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі.
2. Теоретично обґрунтувати, розробити дидактичний проєкт факультативного заняття з теми «Процес різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача» для фахівців машинобудівної галузі.

Методи дослідження: теоретичні: аналіз педагогічної, психологічної, наукової, методичної, технічної літератури з проблеми професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі; для визначення понятійно-категоріального апарату і напрямків магістерського дослідження; структурний аналіз і методи моделювання для розробки факультативного заняття.

Наукова новизна полягає в тому, що удосконалено професійну підготовку фахівців машинобудівної галузі з удосконалення процесу різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача.

Практична цінність роботи полягає в тому, що було розроблено дидактичний проєкт факультативного заняття з теми «Процес різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача» для фахівців машинобудівної галузі».

Структура та загальний обсяг роботи. Робота складається з української та англійської анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ДЛЯ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

1.1 Проблема підготовки фахівців машинобудівної галузі

Сучасний інженер – це не тільки добрий фахівець на виробництві, який розуміє економічні, екологічні, соціальні та інші проблеми суспільства, а ще він повинен відрізнятися науковою та технічною ерудицією, креативним мисленням, прагненням до постійного саморозвитку, самоосвіти професійних інтересів, критичним та творчим підходом до пошуку конструктивних рішень проблем, умінням працювати з людьми.

У зв'язку з цим актуальним теоретичним та прикладним завданням сучасного освітнього простору та методики викладання у закладах вищої освіти є проблема впровадження в освітній процес компетентнісного підходу, визначення психологічних, педагогічних, дидактичних та методичних умов ефективності цього процесу.

Стратегічною метою професійної освіти у сучасних умовах виступає формування професійної компетентності здобувачів освіти. Педагогічні технології при цьому необхідні для розвитку компонентів творчої діяльності людини, соціально-психологічного підходу до формування мотивів творчої активності особистості на стадії навчання, дослідження технологічних аспектів викладання спеціальних дисциплін, впливу міжособистісних відносин між викладачами та здобувачами освіти на становлення творчої активності молодого спеціаліста.

Основними цілями системи професійної освіти підготовка фахівців та створення умов розвитку особистості в освітньому процесі. Їх досягнення залежить від сформованості змісту освіти, тобто. від того, як поставлено процес

оволодіння знаннями, вміннями та навичками, протягом якого складаються риси творчої діяльності, світоглядні та поведінкові якості особистості, розвиваються здібності.

На формування змісту навчання впливає велика кількість факторів: педагогічна майстерність викладача, його кваліфікація та ентузіазм, матеріальна база навчального закладу, розвиток науково-технічного прогресу, вимоги національно-регіонального компонента та навчального закладу. Найважливішу роль відіграє наявність навчально-методичної (програмної) документації, що відповідає вимогам державних освітніх стандартів та комплексного забезпечення освітнього процесу щодо кожного навчального заняття.

Усі навчальні дисципліни основних освітніх програм мають бути забезпечені навчально-методичними комплексами, у викладанні всіх дисциплін обов'язковим використання інноваційних методів у освітньому процесі. Тому від побудови змісту навчання залежать підготовка спеціаліста та його освіченість: чим якісніша навчально-методична (програмна) документація, тим більше досягаються поставлені цілі, а отже, формується справжній спеціаліст.

Природно, що задля досягнення мети створення якісного навчально-програмного матеріалу потрібно багато зусиль викладача, майстра виробничого навчання, великий тимчасовий ресурс, що часом розтягується на роки, проведення наукової роботи та просто самоосвіта.

На формування змісту навчання впливають такі форми розумової діяльності, як аналіз та самоаналіз отриманих результатів (знань, умінь та навичок студентів), пошук залежності між засвоєнням теоретичного матеріалу, придбанням практичних умінь та навичок та тематичним плануванням або міжпредметними зв'язками, а також рівнем складності дисципліни. Усе це дозволяє грамотно коригувати навчально-методичну (програмну) документацію, домагаючись цим освітніх цілей.

Введення стандартів нового покоління обумовлено змінами у соціально-економічному розвитку суспільства, вимогами, які ставить дійсність, особливий акцент зроблено на замовлення роботодавців.

1.2. Особливості професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі

Причини оновлення зміна об'єкта стандартизації, від мінімуму змісту до мінімуму результату. Основні переваги для роботодавців: можливість контролювати результат, можливість впливати на зміст та характер професійного навчання: для освітніх закладів гнучко реагувати на зміну та технології та зміст діяльності, встановлювати взаємозацікавлені відносини з потенційними наймачами випускників, регулювати процес працевлаштування випускників, використовувати механізми зовнішнього оцінювання. Діяльність освітніх установ оцінюватиметься строго за результатами. У перспективах запровадження нових стандартів використання нових освітніх технологій, орієнтованих на результат, значущий у сфері праці, розширення суспільної участі у діяльності освітніх установ, від розробки стандартів до оцінювання результатів; підвищення потенціалу навчальних закладів як виробників кадрових ресурсів.

Перед кожною освітньою установою постала актуальна проблема проектування та реалізації освітнього процесу на основі модульно-компетентнісного підходу.

Державний освітній стандарт професійної освіти за професією фахівець із машинобудування сукупністю вимог, обов'язкових при реалізації основних професійних освітніх програм усіма освітніми установами професійної освіти в Україні, які мають право на реалізацію основної професійної освітньої програми за даною професією, що мають державну акредитацію.

Право на реалізацію основної професійної освітньої програми за професією початкової професійної освіти мають освітні заклади початкової професійної, середньої професійної та вищої професійної освіти за наявності відповідної ліцензії.

Стратегічною лінією покращення якості інженерної освіти будь-якого технічного профілю є виробнича практика. Оскільки питання виробничих практик не закріплено законодавчою базою, то в умовах ринкової економіки він вирішується переважно стараннями випускаючих кафедр навчального підрозділу та добрим ставленням чи побажаннями підприємств. У цьому якість виробничих практик залежить від зацікавленості підприємств. Економічний спад суттєво вплинув на якість практик. Багато підприємств приймають хлопців без надання оплати праці, що знижує мотивацію студентів та бажання використовувати сучасні інновації, що зменшує відповідальність підприємств за якість виробничих практик, і породжує формалізм. Через війну формальної організації практик із боку представників виробництва вона дає належного ефекту – студенти не закріплюють теоретичні знання. У зв'язку з цим необхідна законодавча база, що регламентує підтримку та проведення виробничих практик студентів на підприємствах усіх форм власності, а також перспективне планування цільової заявки на підготовку кадрів. В наш час процес оновлення знань та навичок постійний – в інженерній освіті необхідний системний та комплексний підхід, що включає стратегічне планування розвитку кадрового потенціалу, підкріплене законодавчою базою.

На сьогоднішній день явно виникає потреба впровадження в освітній процес принципів сталого розвитку, формулюються конкретні кроки, етапи включення проблематики сталого розвитку для майбутніх техніко-технологів зі зварювання. Стійкий розвиток передбачає баланс між трьома сферами, економічною, екологічною та соціальною. Цей баланс полягає в оптимальному використанні обмежених економічних та природних ресурсів, у застосуванні енергоресурсозберігаючих технологій. Соціальна складова орієнтована задоволення пріоритетних потреб населення якісному середовищі життєдіяльності, зменшення конфліктів у суспільстві. Такий підхід служить одним з найважливіших передумов розвитку економічного потенціалу та формування ресурсного потенціалу, тим самим допомогти йому узагальнити та переосмислити набуті раніше знання та дати можливість застосувати нову парадигму у своїй майбутній професійній діяльності.

Педагогічні технології та умови у сучасних закладах вищої освіти повинні вирішувати проблему ефективності не тільки теоретичної, а й більшою мірою практичної підготовки здобувачів освіти у стінах закладу вищої освіти. Це диверсифікація та індивідуалізація освітньої діяльності, надання здобувачам освіти режиму найбільшого сприяння для здобуття професії, вибору освітньої траєкторії. Рівнева система покликана формувати у випускників професійні компетенції, що відповідають умовам життя та професійної діяльності, що швидко змінюються. Вона вкрай необхідна, тому що тріада «знання, вміння, навички» недостатня для сучасного виробництва. «Компетентнісний» спеціаліст, на відміну від «кваліфікованого», має ще й реалізувати все, що знає, і мати творчий потенціал для саморозвитку. Сучасні педагогічні технології та форми їх організації можуть стати умовою для досягнення нової якості освіти в сучасних умовах.

Динаміка розвитку сучасного суспільства, підвищення рівня науково-технічного, економічного розвитку та впровадження у виробництво автоматизованих систем з кожним днем все більше накладають свій відбиток на вимоги до рівня інформаційної компетентності випускників бакалаврів за напрямком технік-технолог з машинобудування.

Знання, вміння та навички використання спеціалізованих прикладних програм стають основними за значимістю вимогами до випускника.

Процес навчання у закладі вищої освіти має прагнути до вдосконалення навичок професійного осмислення здобутих знань та їх застосування. Це сприяє формуванню та розвитку бажання досліджувати, шукати нові інженерні рішення та експериментувати.

Висновки до розділу 1

В першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи нами було виконано аналіз актуальності професійної підготовки фахівців для машинобудівного підприємства; визначена сутність теоретичної та практичної підготовки фахівців з машинобудування в межах професійно-педагогічної освіти. Розкрито сутність понять «професійна освіта» «компетентність»,

проаналізовані професійний та освітній стандарти підготовки фахівців машинобудівної галузі.

РОЗДІЛ 2

2.1. Особливості процесу різання волокнистих полімерних композитів.

Волокнисті полімерні композиційні матеріали відносяться до матеріалів 5 і 6 груп оброблюваності і хоча фізичні явища процесу різання цих матеріалів аналогічні, як при різанні металів, все ж дослідниками встановлено ряд закономірностей і особливостей і процесу різання.

Численні дослідження [23, 24 та ін.] дозволили виявити характерні особливості процесу різання волокнистих полімерних композиційних матеріалів, які визначаються фізико-механічними властивостями і структурою композитів.

Анізотропія властивостей оброблюваного матеріалу. Яскраво виражена анізотропія властивостей волокнистих полімерних композитів в значній мірі визначає якість поверхневого шару і характер стружкоутворення в залежності від орієнтації армуючих елементів щодо вектора головного руху різання. Анізотропія пружних властивостей матеріалу визначає процес руйнування зрізаного шару, що зумовлює особливості вибору, умов різання (особливо конструкції і геометрії інструменту) [27 - 29]

Гетерогенність структури оброблюваного матеріалу. Недостатньо високі адгезійні зв'язки між матрицею і наповнювачем, неоднорідність структури композиційного матеріалу і малі діаметри волокон ($5 \div 10 \mu\text{м}$) диктують необхідність обробки цих матеріалів гострозаточеним інструментом, з радіусом округлення різальної крайки не більше $10 \mu\text{м}$. [24]. Поява незначного зносу (для органопластика $h_z = 0,1 \dots 0,12 \text{ мм}$) призводить до значного зростання сил різання (особливо на задній поверхні інструменту), розшарування композиційної структури, викришування сполучного і разлохмачування незрізаних волокон, що істотно погіршує стан поверхневого шару.

Абразивна дія наповнювача. Обробка волокнистих полімерних композитів з наповнювачем з мінеральних (вуглець, скло) або металевих (бор волокон

викликає великі труднощі, тому що названі волокна мають високу твердість з абразивною здатністю. Це призводить до інтенсивного зносу ріжучих інструментів, особливо при обробці боропластиків і склопластиків. Тому при обробці цих матеріалів найбільш ефективні алмазні інструменти [24].

Низька теплопровідність і теплостійкість. Низька теплопровідність полімерних композитів суттєво змінює тепловий баланс в зоні різання, де основна частка теплоти (до 80% [40]) відводиться через ріжучий інструмент. Тому в якості інструментальних матеріалів необхідно вибирати матеріали з максимальною теплопровідністю. В першу чергу тверді сплави вольфрамокобальтової групи та алмазні надтверді матеріали. Ці матеріали сприяють зниженню температури на обробленій поверхні, що є необхідною умовою обробки полімерних матеріалів, так як теплостійкість багатьох з них становить 200 ... 300 ° С. [8, 20]. Високі температури на обробленій поверхні призводять до термічної деструкції полімерного сполучного, що порушує вихідну структуру матеріалу і різко знижує експлуатаційні властивості виробу. Термічна деструкція так само інтенсифікує знос ріжучого інструменту, особливо з швидкорізальних сталей. [40] При цьому необхідно зазначити, що більшість полімерних композитів обробляється без застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ (через надмірне вологопоглинання обробленої поверхні) [41].

Пружні властивості полімерних композитів. Полімерні композиційні матеріали мають високі пружні властивості. Це призводить до виникнення великих фактичних майданчиків контакту ріжучого інструменту з оброблюваним матеріалом, що викликає на задній поверхні підвищених сил різання. Крім того, слід враховувати пружне відновлення оброблюваного матеріалу при оцінці точнісних характеристик, особливо для процесів свердління й різання [42].

Перераховані особливості механічної обробки волокнистих композиційних полімерних матеріалів показують, що просте перенесення

закономірностей процесу різання металів на композиційні матеріали неприпустиме.

2.2. Механіка різання і процес стружкоутворення.

В процесі впровадження ріжучого клина інструмента в заготовку полімерного композиту в обсязі шару відбувається спрямоване руйнування матеріалу, що знімається, наслідком якого є розриви хімічних зв'язків полімеру, що призводять при утворенні нових поверхонь до виникнення вільних радикалів з подальшою їх рекомбінацією, зародженню, росту і злиття мікротріщин в магістральні тріщини [21].

Виникаюча деструкція полімерного композиту веде до появи емісії, яка характеризується випромінюванням фотонів з параметрами, відповідними станом центрів емісії матеріалу. Вивчення мікромеханіки різання методом фотоемісії [24, 29] дозволило отримати наступні висновки.

1). Процес різання волокнистих полімерних композитів супроводжується переростанням в макротріщини, умовами зародження зростання і злиття мікротріщин, їх розгалуженням і відривом з утворенням нових поверхонь.

2). Частота проходження циклів руйнування (відділення шару матеріалу) залежить від напрямку армування композиційного матеріалу щодо вектора головного руху різання і швидкості різання.

3). Раціональними умовами механічної обробки волокнистих полімерних композитів є:

- високі швидкості різання (понад 12 - 15 м / с) для склопластиків і органопластиків, лімітуються умовами теплоутворення в зоні обробки;

- мінімальна товщина зрізу співвідносна з поперечними розмірами армуючих волокон і джгутів. Умови ефективної обробки реалізуються спеціальними конструкціями ріжучого інструменту, кінематикою

формоутворення, що забезпечують мінімальний контакт інструменту з оброблюваної заготовлею.

4). Ступінь деструкції композиту в процесі механічної обробки визначається також напрямком вектора головного руху різання і кутом між напрямком армуючих елементів. Найбільш сприятливою умовою обробки є значення $\lambda = 0^\circ$, при якому напрямок армування матеріалу збігається з напрямком вектора швидкості головного руху різання.

Таким чином, процес різання волокнистих полімерних композитів є динамічним, тому що швидкість росту сили різання до критичного значення є функціями швидкості різання і часу контакту.

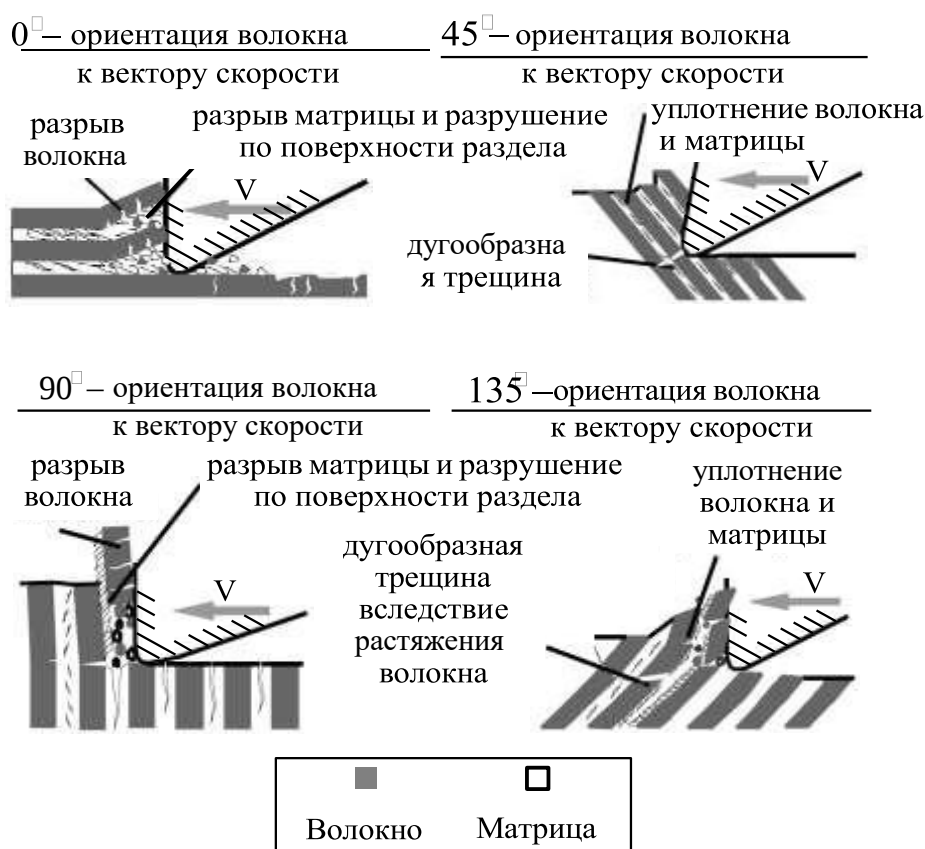
Використовуючи основні положення механіки руйнування композитів [14], встановлено взаємозв'язок швидкості поширення тріщин при різних швидкостях різання для обробки полімерних волокнистих композитів.

Для склопластику, при швидкостях різання близько 20 м / с швидкість поширення тріщини досягає своїх граничних значень (понад 700 м / с). Для органоластика критична швидкість поширення тріщини (понад 350 м / с) настає при швидкостях різання 14-16 м / с. Можна стверджувати, що швидкості різання (склопластику - 20 м / с, органоластика - 14-16 м / с) є найбільш ефективними з позиції механіки руйнування полімерних волокнистих композитів. Для гібридного матеріалу - склоорганопластика - ефективна швидкість різання 15 - 18 м / с.

Підвищення швидкості різання вище критичної навряд чи буде вносити помітний ефект в механізм руйнування шару, що знімається з матеріалу, так як це буде призводити лише до інтенсивного розгалуження тріщин.

Зменшення перерізу зрізаного шару матеріалу, в першу чергу товщини зрізу, призводить до зменшення інтенсивності механомінесценції і сили різання, що сприяє більш ефективному руйнуванню матеріалу при різанні.

Дослідження [23, 24,], проведені при ортогональному різанні волокнистих композитів з різним напрямком волокон, дозволили класифікувати моделі стружкоутворення при обробці полімерних композитів (рис. 2.1).



Мал. 2.1. Можливі схеми взаємного положення вектора швидкості різання і напрямку армування [23]

Коли проводиться обробка при $\lambda_1 = 0$, тобто орієнтація волокна паралельна вектору швидкості різання, шар піддається впливу сили різання паралельно волокна. Поверхня композиту під ріжучим клином стискається. Пошкодження матеріалу, що виникає при русі ріжучої кромки, виникає через пошкодження волоконно-матричного стику або виникнення тріщини в матриці, який характеризується розломом в шаруватому композиті після проходження ріжучого леза інструменту. При $\lambda_1 = 0$ маємо сприятливі умови обробки.

Окремі тріщини, що виникають в полімерній матриці і в волокнах під дією різального клина, видно на обробленій поверхні.

Зі збільшенням кута між напрямком напрямом армування ($\lambda_1 = 45^\circ$) і вектора швидкості різання волокна стискаються, вигинаються в напрямку вектора швидкості різання, що закінчується розривом волокон під дією різального клина. Це може відбитися на стані волоконно-матричного стику, який руйнується в поверхневому шарі. Така схема найменш сприятлива при різанні ВПКМ, особливо для кутів $\lambda_1 = 60^\circ$ і $\lambda_1 = 30^\circ$. При таких схемах якість обробленої поверхні найгірше.

У композиті, яке обробляється під кутом 90° до напрямку армування, волокна піддаються вигину і зсуву. На відміну від шаруватого матеріалу з 0° -й орієнтацією волокон, кожне волокно має бути зрізано окремо. Виникаючі деформації при схемі $\lambda_1 = 90^\circ$ призводять на поверхнях розділу в поверхневому шарі до виникнення дотичних напружень.

Більш сприятливі умови для обробки композитів відповідають схемі з $\lambda_1 = 135^\circ$. В цьому випадку волокна піддаються розтягненню і вигину, руйнуючись в жгуті. Однак при такій схемі може виникнути проблема з-за того, що окремі волокна можуть бути витягнуті з матриці через недостатню адгезії між матрицею і волокном безпосередньо в жгуті композиту.

При механічній обробці волокнистих полімерних композитів утворюється мілкодисперсована стружка. Залежно від перетину зрізу, при точінні може утворюватися стружка надлому або елементна стружка. При більшому перерізі зрізу і високої адгезії матриці до волокна може утворюватися зливна стружка. Це необхідно враховувати при проектуванні технологічних процесів обробки ПКМ.

При обробці полімерних композитів в процесі різання виникають відносно невеликі сили різання.

Дослідження показують [40, 44], що сила різання при обробці ВПКМ, на порядок менше, ніж сила різання при відповідній обробці металів. Але навіть порівняно невисокі сили різання істотно впливають на якість поверхневого шару і точність обробки.

В силу пружного відновлення поверхневого шару композиційних матеріалів, виникає значне пружне стиснення оброблюваного матеріалу в зоні контакту. Як показали експерименти [40] при обробці ВПК сила на задній поверхні може становити до 50% від загальної сили різання. Необхідно відзначити інтенсивне зношування інструменту в період підробітки через пружного відновлення матеріалу і високих абразивних властивостей наповнювача композиційних матеріалів. [24].

2.3. Проблеми, що виникають в процесі різання волокнистих композитів

Аналіз літературних джерел показав, що технологічні проблеми, що виникають в процесі різання волокнистих полімерних композитів зводиться до двох основних: підвищений знос ріжучих інструментів і складність забезпечення необхідної якості поверхневого шару.

Володіючи теоретично високими експлуатаційними властивостями волокнисті полімерні композити (ВПК) в цілому, мають істотно занижені експлуатаційні характеристики поверхонь, які оброблені різанням. Визначаються вони в першу чергу станом поверхневого шару і якістю обробленої поверхні. Складність забезпечення їх стану на необхідному рівні є однією з основних особливостей ВПК і однією з основних проблем. Маючи гетерогенну структуру з яскраво вираженою анізотропією властивостей, що характеризується в ряді випадків низьким адгезійним зв'язком між матрицею і наповнювачем, здатну під дією механічних факторів руйнуватися, композити руйнуючись при різанні вздовж поверхонь розділу композитів, утворюють специфічні дефекти: розшарування і наявність виступаючих над обробленою поверхнею не зрізаних волоком - так звану "ворсистість". Цьому сприяє, в значній мірі, різні фізико-механічних властивості композит компонентів. Крім того, після механічної обробки, поверхневий шар є деструктивним.

Зниження міцності адгезійних зв'язків між матрицею і волокном під дією механічних сил, теплоти і механохімічних процесів, висока межа міцності при розтягуванні і відносно подовження при розриві волокон, більш низький опір зрушенню вздовж волокон, ніж поперек, відмінність пружних властивостей зв'язувача і наповнювача, призводять до того, що розшарування перешкоджають руйнуванню ВПК, як монолітної гомогенної структури.

Через дефектності поверхневого шару складно домогтися необхідної низької шорсткості обробленої поверхні, вимір якої, до того ж, достовірно утруднене через згадані вище причини.

Суттєвою особливістю ВПК як уже було відзначено вище є їх низька теплостійкість. Залежно від типу сполучного теплостійкість цих матеріалів становить 160-300 ° С. При температурах, вище зазначених, відбувається вигорання сполучного, на поверхні обробленої деталі з'являються припік. Тому рівень температур в зоні різання повинен бути значно менше, ніж при обробці металів. Це ускладнюється ще й тим, що в більшості випадків не допускається застосування СОТС.

Вищеназвані дефекти поверхні і поверхневого шару значно знижують експлуатаційні показники виробів з ВПК, таких як: механічна міцність, твердість обробленої поверхні, опір стиранню, вологопоглинання, діелектричні показники.

Другий, не менш важливою проблемою є низька стійкість ріжучих інструментів при обробці полімерних волокнистих композитів.

По-перше, це пов'язано з абразивним впливом твердого наповнювача (скляні, вуглецеві, борні волокна).

По-друге, природа зносу ріжучих інструментів при обробці композиційних матеріалів відрізняється від природи зносу інструменту при обробці металів [40]. У зоні різання при розриві полімерних ланцюгів утворюються вільні радикали у вигляді метиленових, гідроксильних, карбонільних і альдегідних груп і вуглеводневих комбінацій, які є поверхнево-активними речовинами. Вільні радикали полімеру, що зазнав деструкції, адсорбуюсь на контактних поверхнях різального клина знижують їх поверхневу енергію (ефект Ребіндера) і аномально інтенсифікують знос [24, 40]. Знос відбувається за рахунок масового відриву поверхнею різання ослаблених ефектом адсорбованого зниження міцності поверхневих мікрочастинок інструментального матеріалу і зростання зародкових мікротріщин.

По-третє, при різанні волокнистих полімерних композитів, вибір критерію зносу інструментів в переважній більшості випадків визначає технологічний ознака - неприпустиме погіршення якості обробки. Причому

величина критерію зносу в 5-8 разів менше, ніж при металообробці, що істотно знижує стійкість ріжучих інструментів.

По-четверте, зміна навколишнього середовища при виході ріжучого клина з оброблюваного матеріалу призводить до:

- збільшення сили тертя і, отже, температури різання;
- зниження теплопровідності і, отже, підвищення тепло-напруженості процесу різання;
- збільшення радіусу округлення різальної крайки і, отже, до необхідності зменшення величини критерію зносу;

По-п'яте, через значні сил пружної післядії інтенсифікується знос по задній поверхні, зростає радіальна складова сили різання, посилюється вплив механічного та теплового факторів на процес руйнування по поверхнях розділу.

По-шосте, потрапляння в зону різання продуктів зносу, дисперсированого наповнювача і зв'язуючого призводить до інтенсифікації зносу ріжучого інструменту.

Резюмуючи вищевикладене можна стверджувати, що основними проблемами, що виникають в процесі різання волокнистих полімерних композитів є: *складність забезпечення необхідної якості обробленої поверхні, яка проявляється в:*

- надзвичайній складності отримання необхідної шорсткості обробленої поверхні;
- наявності на обробленої поверхні незрізаних волокон - «ворсистість»;
- розшаруванні оброблюваного матеріалу;
- наявності дефектного поверхневого шару;

низька стійкість різального інструменту, яка проявляється у високій інтенсивності зносу по задній поверхні і збільшення радіусу округлення різальної крайки.

Аналізуючи причини вищевикладених проблем на основі результатів отриманих багатьма дослідниками [40], можна окреслити основні з них:

- гетерогенність структури композиту, яка через відмінності фізико-механічних, теплофізичних і механохімічних властивостей компонентів зумовлює особливості руйнування і стружкоутворення;
- анізотропія властивостей композиту, яка ставить в залежність характер руйнування та інших явищ, які супроводжують процес різання, від взаємного розташування вектора відносного руху ріжучого клина і умовних осей армуючих волокон;
- неміцність адгезійних зв'язків між компонентами композиту, що призводить при різанні до їх порушення і руйнування композиту по поверхнях розділу і утворення специфічних дефектів на обробленій поверхні;
- високі абразивні властивості полімерних композитів, що призводять до інтенсивного зношування ріжучих інструментів звичайної твердості;
- високі пружні властивості викликають пружне відновлення матеріалу при різанні, що призводить до збільшення фактичної площі контакту по задній поверхні і як наслідок зростання нормальних сил і сил тертя по задній поверхні і інтенсифікацію зносу;
- низька теплопровідність композиту, що призводить до збільшення частки теплоти, що відводиться через ріжучий інструмент (~ 90%) і як наслідок висока теплонапруженість процесу;
- низька теплостійкість і масовий розрив хімічних зв'язків у молекулярних ланцюгів полімеру під дією теплоти і механічних сил визначають механохімічну природу зносу інструментів, що призводить до утворення деструкції дефектного поверхневого шару механічно обробленого полімеру.

Перераховані причини і особливості обробки волокнистих полімерних композитів як уже зазначалося вище показують, що просте перенесення закономірностей процесу різання металів на ці матеріали не є коректним.

Необхідно шукати науково- обґрунтовані рішення викладених проблем і шляхи, які зможуть мінімізувати вплив вищевикладених причин.

2.4. Концепція ефективного різання волокнистих полімерних композитів

Проведений огляд вітчизняних і зарубіжних досліджень і наш досвід, дають можливість визначити концептуальні шляхи вирішення основних проблем механічної обробки волокнистих полімерних композитів і сформулювати завдання, вирішення яких дозволять вийти на технологічні способи реалізації процесів ефективного різання композитів.

Проблему забезпечення необхідної якості обробленої поверхні і стану поверхневого шару в значній мірі можна було б дозволити, домігшись руйнування волокнистого композиту при різанні як квазігомогенну і квазіізотропну структуру. Іншими словами необхідно мінімізувати ступінь впливу механічного, теплового та хімічного факторів на процес руйнування по поверхнях розділу і на міжшарове руйнування, а також на ступінь деструкції полімерних складових композиту.

Один із шляхів вирішення цієї проблеми - це збільшення швидкості деформування волокнистого полімерного композиту при різанні. Це сприяє збільшенню питомої енергії впливу контактних поверхонь інструменту на одиничні волокна і мікрооб'єми матриці, що призводить в свою чергу до зміни умов релаксації напружень, мінімізуючи вплив механічного фактора на процес руйнування композиту по поверхні розділу компонентів.

Збільшення швидкості деформування сприяє збільшенню межі текучості полімерних складових і зниження роботи пластичної деформації і, отже, температури різання, що знижує вплив теплового і хімічного фактора на процес руйнування композиту по поверхнях розділу, а також на ступінь деструкції.

В роботі [39] встановлено вплив зміни швидкості деформації на вигляд руйнування зразків, виготовлених з епоксидної матриці, в яку вставлено п'ять ниток бору. Зразки сильно ідеалізовані в порівнянні з дійсними композитами і результати не можуть безпосередньо бути перенесені на композити, які використовуються на практиці, проте вони дають важливу інформацію.

Результати досвіду на зразках при низькій (0,0008 хв-1) і високій (0,8 хв-1) швидкостях деформації показали, що при низькій швидкості деформації відбувається більша кількість розривів волокна, а напруги і деформація при руйнуванні вище, ніж при високій швидкості, а саме: при малій швидкості було 5 розривів на кожне волокно, руйнівне напруження 2180 фунт / дюйм² (18 МПа), деформація 7,5%; при високій швидкості - по одному розриву на волокно, руйнівне напруження 1150 фунт / дюйм² (8,5 МПа), а деформація 1,25%.

Як стверджують автори, низька швидкість навантаження викликає поступовий перерозподіл навантаження і руйнування ниток відбувається відповідно до їх варіацією міцності від точки до точки. При більш високій швидкості деформації руйнування одного волокна швидше поширюється через матрицю і швидше створює в сусідніх волокнах руйнівні напруги.

РОЗДІЛ 3

3. Особливості руйнування волокнистих полімерних композитів при різанні.

Гетерогенність структури матеріалу, яскраво виражена анізотропія властивостей, високі пружні властивості волокнистих полімерних композитів, відмінність властивостей наповнювача і зв'язуючого вимагають ретельного підходу при обґрунтуванні моделі контактної взаємодії ріжучого інструменту з оброблюваним матеріалом. Ці особливості композитів визначають специфіку їх руйнування при різанні, а оскільки метою дослідження є підвищення якості при механічній обробці за рахунок мінімізації руйнувань по поверхнях розділу структурних компонентів, стає очевидною необхідність врахування особливостей руйнування матеріалу при моделюванні контактної взаємодії.

У підрозділі наведено обґрунтування геометричній моделі і розрахункової схеми контактної взаємодії ріжучого інструменту з оброблюваним матеріалом на основі аналізу механізму та енергетичних особливостей руйнування з використанням теоретичних і експериментальних методів дослідження.

Механізм руйнування композитів.

Волокнисті полімерні композити мають домінуючими пружними властивостями [23]. З позицій механіки руйнування їх можна вважати ідеально крихкими з дуже малою областю плинності в вершині тріщини. Тому процес руйнування при різанні можна викласти таким чином: під дією прикладених ріжучим клином навантажень в композиті відбувається зародження, зростання і взаємодія субмікротріщин і мікротріщин (рис.3.1).

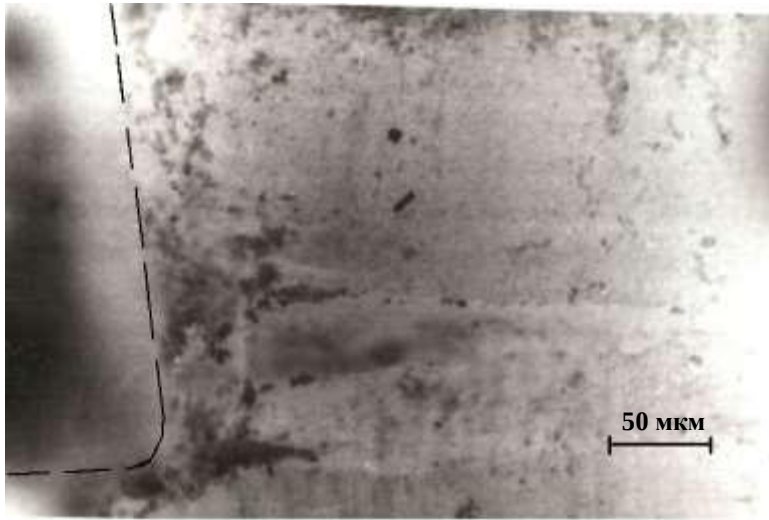


Рис.3.1. Зародження і взаємодія тріщин в композиті під дією прикладених ріжучим клином навантажень

Коли напруги в зоні контакту досягнуто граничного значення, забезпечується старт магістральної тріщини (рис. 3.2).

Після початку руйнування відбувається швидке зростання системи тріщин в обсязі шару, що знімається, що супроводжується падінням значення сили різання і відділенням шару матеріалу (рис. 3.3).

Зі збільшенням швидкості навантаження тріщиностійкість (критичний коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) старту тріщини) зменшується [23]. Це призводить до зменшення в'язких властивостей, тобто охрупчіванню матеріалу.

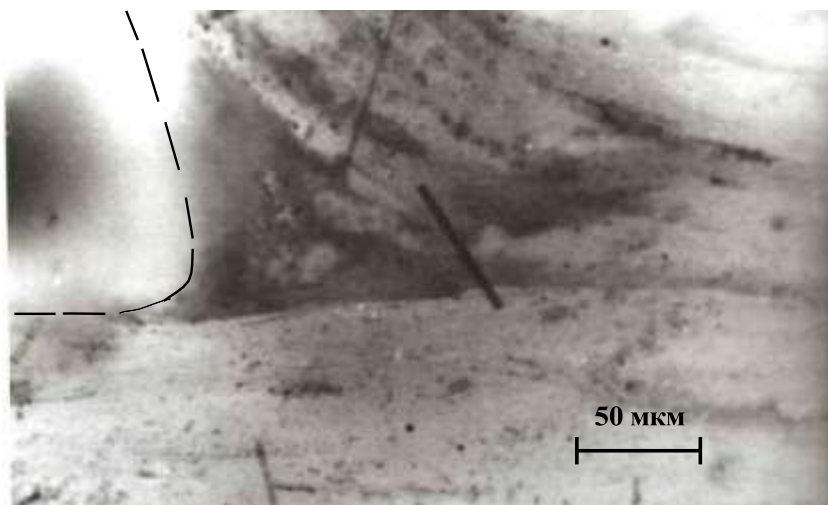


Рис.3.2. Старт магістральної тріщини

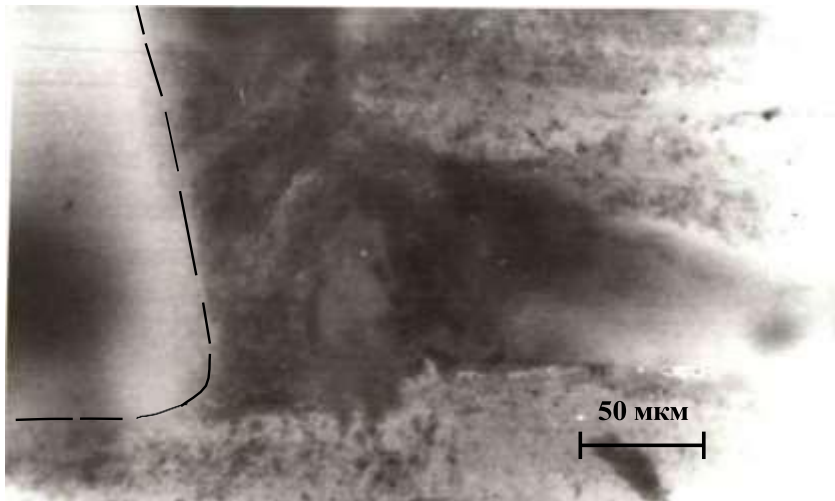


Рис.3.3. Початок відділення шару матеріалу

Для армованих матеріалів, до яких відносяться ВПК, характерна наявність механізмів підвищення опірності до руйнування, не властиві однорідним гомогенним матеріалами. Присутність цих явищ пов'язано з наявністю в ВПКМ великої кількості поверхонь розділу (межа «наповнювач - сполучна»), які можуть бути перешкодою на шляху розвитку тріщини. Причинами підвищеного опору руйнуванню цих матеріалів є:

поверхня розділу служить бар'єром на шляху поширення тріщини;

при проходженні тріщини послідовно з одного шару в інший по поверхні розділу, при наближенні до неї вершини тріщини можуть утворюватися несплошності у вигляді розшарувань і пустот переводять тріщину в нове, менш вигідне становище для її поширення;

поверхні розділу сприяють роботі окремих складових ВПКМ, кожна з яких знаходиться в більш сприятливому напруженому стані. Наприклад, якщо тріщина перетинає кілька шарів наповнювач сполучна, то в цьому випадку при наявності в вершині тріщини поперечної складової досить високої інтенсивності, відбувається розрив між суміжними шарами. Це призводить до того, що тріщина не буде просуватися далі по матеріалу, а розділиться на ряд окремих тріщин в межах кожного шару. З точки зору механіки руйнування, якщо шари досить малі по товщині, то в кожному з них у вершини тріщини виникає плоско-напружене становище, в той час як в однорідному матеріалі такої ж товщини спостерігається стан плоскої деформації (об'ємно-напружений стан). Це призводить до того, що для армованих шаруватих матеріалів

підвищується в'язкість руйнування і зменшується швидкість поширення тріщини.

Наведені механізми розповсюдження тріщини означають, що при русі тріщин в композиті існує, принаймні, два механізми дисипації енергії витягування волокон з матриці і руйнування кордонів розділу. У першому випадку додатковий опір руху тріщини виникає внаслідок подолання сил тертя між волокном (джгутом) і сполучною (матрицею), у другому при руйнуванні зв'язків між ними. Обидва механізми, як правило, діють одночасно.

Відомо, що для однорідного монолітного матеріалу рішення задачі про розподіл напружень в вершині тріщини, що розповсюджується по типу I (берега тріщини перпендикулярні лінії тріщини відрив) і по типу II (берега тріщини ковзають щодо один одного перпендикулярно фронту тріщини зрушення) має вигляд:

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}^I(\theta) \text{ (тип I);} \quad (3.1)$$

$$\sigma_{ij} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}^{II}(\theta) \text{ (тип II),} \quad (3.2)$$

где σ_{ij} - компоненти тензора напружень;

r и θ - полярні координати;

K_I и K_{II} - коефіцієнти інтенсивності напружень (КІН) для типів руйнувань I і II відповідно.

Можливі й інші способи поширення тріщини при досягненні міжшарового кордону. Якщо міцність з'єднання шарів менше міцності матеріалів, що з'єднуються (адгезійна міцність наповнювача і зв'язуючого), то тріщина поширюється вздовж кордону розділу (Рис.3.4).

При більшій міцності з'єднання тріщина переходить в один з матеріалів. Якщо тріщина проходить через кордон між шарами або викликає розшарування, то при поширенні з матеріалу з великим модулем пружності в матеріал з меншим модулем пружності; при поширенні тріщини з матеріалу з меншим модулем пружності в матеріал з великим модулем зсуву.

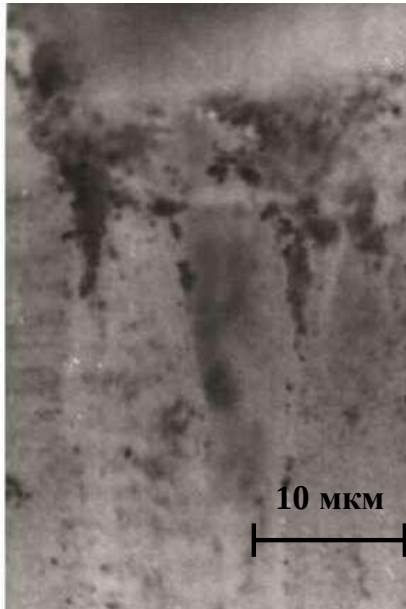


Рис.3.4. Поширення тріщин уздовж кордону розділу "волокно-матриця"

При різанні ВПК напруги в вершині тріщини описуються за змішаним типом. Енергія, що підводиться в вершину тріщини, в процесі різання включає в себе наступні величини: [23]

енергія руйнування волокна або джгута - $\mathcal{E}_f$; енергія руйнування матриці- $\mathcal{E}_M$; енергія руйнування кордону волокно матриця- $\mathcal{E}_d$; енергія релаксації волокна або джгута- G_r ; енергія витягування волокна (джгута) - $\mathcal{E}_p$.

Таким чином

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_f + \mathcal{E}_M + \mathcal{E}_d + \mathcal{E}_r + \mathcal{E}_p. \quad (3.3)$$

В теорії макроскопічного руйнування волокнистих композитів [13] зазвичай вводиться поняття ступеня звільнення граничної енергії деформації - $\mathcal{E}_c$. Енергія $\mathcal{E}_c$ визначається залежністю (3.3), куди зазвичай входять всі зазначені члени або деякі з них. Це визначається механізмом утворення, зростання і руху тріщини.

З іншого боку значення коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН), наприклад, за типом I, який відповідає моменту руйнування (критичний КІН - K_{Ic}), пов'язаний з інтенсивністю енергії деформації або потенційної енергії для пружного руйнування співвідношенням:

$$K_{Ic} = (E' \cdot G_f)^{1/2}, \quad (3.4)$$

де $E' = E$ (модуль пружності для плоского напруженого стану) і

$$E' = E / (1 - V^2) \text{ (в умовах плоскої деформації).}$$

Таким чином, якщо оцінити компоненти податкових витрат енергії, що входять в (3.3), то можна визначити критичне значення КІН полімерного композиту. Використовуючи залежності (3.1) і (3.2), можна прогнозувати зростання і рух тріщини руйнування.

Зростання тріщини зазвичай умовно поділяють на два етапи: виникнення і поширення тріщини. Згідно [53], якщо довжина волокна, витягнутого з сполучного, в порівнянні з областю руйнування є невеликий, то робота в вершині тріщини, що витрачається на розкриття тріщини, включає в себе всі складові представлені в (3.3).

При цьому енергія утворення тріщини і енергія її поширення виявляються однаковими.

В іншому випадку, якщо довжина волокна, витягнутого з сполучною, буде порівнянна з областю процесу руйнування, то енергія виникнення тріщини є сумою $\mathcal{E}_f$, $\mathcal{E}_M$, $\mathcal{E}_d$, $\mathcal{E}_r$. З енергією розвитку тріщини пов'язана лише величина $\mathcal{E}_p$

У разі різання композиційного склопластику домінуючим видом енергії руйнування будуть величини $\mathcal{E}_f$ і $\mathcal{E}_M$ - енергії руйнування волокна і матриці.

Для армованих волокнами матеріалів традиційно використовується припущення про те, що один розрив волокна або джгута в композиті не тягне за собою негайного розриву сусіднього волокна в тій же самій площині поперечного перерізу. Іншими словами, розрив одного волокна не відповідає за створення розривів інших, якщо міцність кордону розділу багато менше величини $\delta_f (G_M / E_f)^{1/2}$ [13, 153], де δ_f - межа міцності при розтягуванні волокна; G_M - модуль зсуву матеріалу зв'язуючого; E_f - модуль пружності матеріалу волокна. Фізично це означає, що пружна енергія деформованої зрушенням матриці, запасені до моменту руйнування кордону розділу або матриці, повинна бути набагато менше пружної енергії волокна при руйнівному

напрузі. Як показали розрахунки, що руйнують напруги волокон у всіх практично важливих випадках набагато перевершують межі плинності і міцності матриці при зсуві і розтягуванні стисненні. Таким чином, можна говорити про те, що просуванню тріщини в волокні завжди передує руйнування матриці.

Стосовно до процесу різання волокнистих композитів можна зробити наступний висновок. У вершини поперечної тріщини, виникає попереду вершини інструменту, завжди слід очікувати появи зрушень в напрямку, паралельному напрямку армування, що призводять до руйнування сполучного. Для визначення початкового кута поширення тріщини скористаємося розрахунковою схемою (рис. 3.5) [23].

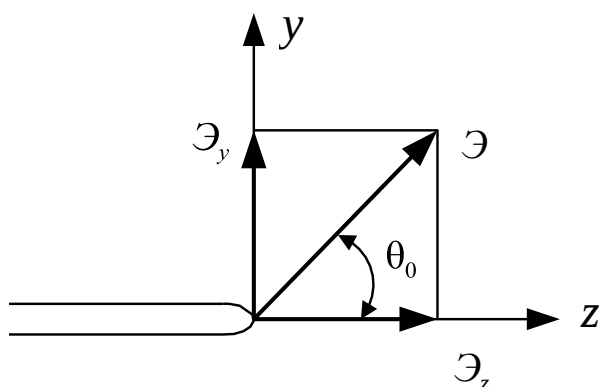


Рис.3.5. Розрахункова схема для визначення початкового кута поширення тріщини

Згідно [73] для несиметричних двовимірних тріщин вектор потоку енергії в системі координат, пов'язаних з величиною тріщини дорівнює:

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_z i + \mathfrak{E}_y j . \quad (3.5)$$

Компоненти вектора потоку енергії для ізотропного тіла пов'язані з коефіцієнтами інтенсивності напружень (КІН) співвідношенням:

$$\mathfrak{E}_z = \frac{(1+V)(1+\lambda)}{4E} (K_I^2 + K_{II}^2), \quad \mathfrak{E}_y = -\frac{(1+V)(1+\lambda)}{4E} K_I \cdot K_{II} , \quad (3.6)$$

де $\lambda = 3 - 4V$ для плоскої деформації і $\lambda = (3 - V)/(1 + V)$ для плоского напруженого стану.

Тоді початковий кут поширення тріщини (умовний кут зсуву) дорівнює:

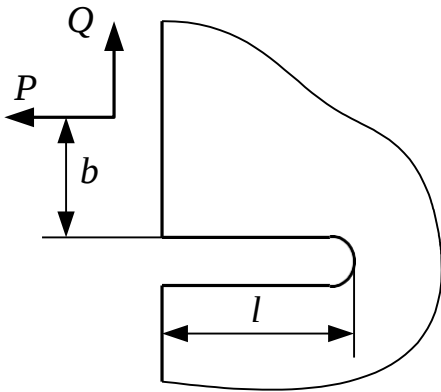
$$\theta_0 = \arctg \left| - \frac{2K_I \cdot K_{II}}{K_I^2 + K_{II}^2} \right|. \quad (3.7)$$

Таким чином, для знаходження кута поширення тріщини необхідно в момент зародження і старту тріщини знати значення КІН першого і другого роду.

Для їх визначення розглянемо наступну модель навантаження, зародження і старту тріщини.

Уявімо, що навантаження композиту здійснюється зусиллями P_Y і P_Z (рис. 3.15). Під дією дотичних і нормальних напружень в околі точки зароджується мікротріщина, подальше просування якої, аж до критичного зростання, визначається виразом (3.4), а напрямок руху - співвідношенням (3.7).

З огляду на, що довжина тріщини l менше діаметра джгута волокон, а також той факт, що завжди має місце відшарування сполучного, використовуємо для визначення K_I і K_{II} методи розв'язання задачі про дію зосереджених сил на краю напівплощини з крайовою тріщиною (рис. 4.6) [73].



Мал. 3.6 Дія зосереджених сил на краю напівплощини з крайовою тріщиною

Вирішення цього завдання має вигляд (з огляду на то, $P = -P_Z$, а $Q = -P_Y$):

$$K_I - iK_{II} = \frac{1 - \xi^2}{\sqrt{\pi l}} \left[\begin{array}{l} -(P_Z - iP_Y)(0,824 + 0,0637\xi - \\ -0,843\xi^2 + 15,41\xi^3 - 53,38\xi^4 + \\ + 59,74\xi^5 - 21,82\xi^6) - iP_Z(1,294 - \\ -1,184\xi + 5,442\xi^2 - 28,14\xi^3 + \\ + 41,8\xi^4 - 22,38\xi^5 + 3,162\xi^6) - \\ -P_Y(1,2944 + 0,0044\xi - 0,129\xi^2 + \\ + 10,89\xi^3 - 22,14\xi^4 + 10,96\xi^5) \end{array} \right], \quad (3.9)$$

де $\xi = b/(b+l)$.

Стосовно до умов поставленого завдання при $b=0$ маємо:

$$\begin{matrix} K_I & - & iK_{II} & = & \frac{1}{\sqrt{\pi l}} & \left[\begin{array}{cc} -0,824(P_Z + iP_Y) & -1,294(P_Y + iP_Z) \end{array} \right], \end{matrix} \quad (3.10)$$

Звідки

$$\begin{aligned} K_I &= -\frac{1}{\sqrt{\pi l}} [P_Z \cdot 0,824 + P_Y \cdot 1,294]; \\ K_{II} &= \frac{1}{\sqrt{\pi l}} [P_Z \cdot 1,294 + P_Y \cdot 0,824]. \end{aligned} \quad (3.11)$$

Для початкового кута старту тріщини (умовної площини зсуву)

$$\theta_0 = \arctg \left[\frac{2(P_Z \cdot 0,824 + P_Y \cdot 1,294)(P_Z \cdot 1,294 + P_Y \cdot 0,824)}{(P_Z \cdot 0,824 + P_Y \cdot 1,294) + (P_Z \cdot 1,294 + P_Y \cdot 0,824)} \right]. \quad (3.12)$$

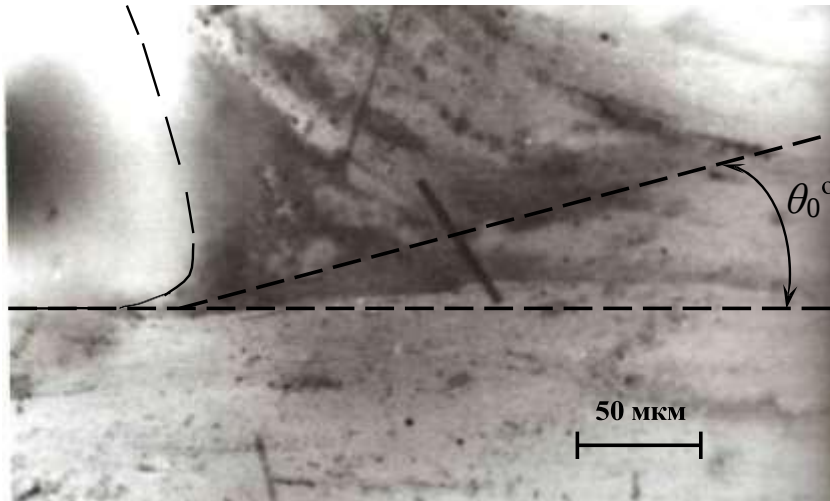
Перепишемо співвідношення (3.12) у вигляді:

$$\theta_0 = \arctg \left(\frac{2k}{1+k^2} \right), \quad (3.13)$$

$$\text{де} \quad k = \frac{1,294 + P_Y/P_Z \cdot 0,824}{0,824 + P_Y/P_Z \cdot 1,294}. \quad (3.14)$$

З (3.14) випливає, що початковий кут руху тріщини не залежить від довжини початкової тріщини, а визначається відношенням P_Y/P_Z .

Для прийнятих постійних умов, розрахунковий умовний кут зсуву дорівнював $\approx 20^\circ$. Це добре узгоджується з результатами експерименту (рис.3.7).



Мал. 3.7. Кут зсуву при струганні склопластику

Позитивне значення величини початкового кута θ_0 свідчить про те, що тріщина в момент початку руху в системі координат, представленої на рис. 3.5 має напрямок вглиб знімається припуску матеріалу.

Представлений аналіз проведено виходячи з положення про розвиток тріщини руйнування в контактї вершини інструменту і пучка скловолокна. Початок руху тріщини визначається величиною початкової тріщини і напруженим станом в її вершині. Критичну величину початкової тріщини – l , визначили із запропонованого нами [23] співвідношення:

$$\frac{1}{\pi \cdot l} \cdot \psi(a, b, P, P) = K_{1c}^2 \quad (3.15)$$

У таблицях 3.1 і 3.2 наведені значення критичної величини початкової тріщини для варійованих швидкості різання і подачі

Таблиця 3.1

Значення критичної довжини тріщини для різних швидкостей різання

V, м/мин.	66	80	100	120	800	1000	1200
l , мкм	25	22	22	22	15	13	13
Постійні умови	S = 0,05 мм/зуб, t = 0,5 мм						

За значенням критичної довжини тріщини можна оцінити приблизну кількість волокон, яке виходить на цій довжині. Таким чином розробляючи геометричну модель контактної взаємодії ріжучого інструменту з оброблюваним матеріалом необхідно враховувати, що відстань між волокнами в моделі повинно бути не більше ніж критична довжина тріщини.

Таблиця 3.2.

Значення критичної довжини тріщини для різних подач.

S_z , мм/зуб	0,05	0,12	0,25	0,4
l , мкм	13	23	32	42
Постійні умови	$V=1000$ м/мин. $t = 0,5$ мм			

Отримані результати, представлені в таблицях дозволяють відзначити, що збільшення подачі веде до зростання сил різання і критичної довжини тріщини. Високі швидкості різання призводять до помітного зниження сили різання і суттєвого зменшення довжини тріщини. Відносна стабілізація критичної величини початкової тріщини надходить в діапазоні швидкостей $900 \div 1200$ м / хв.

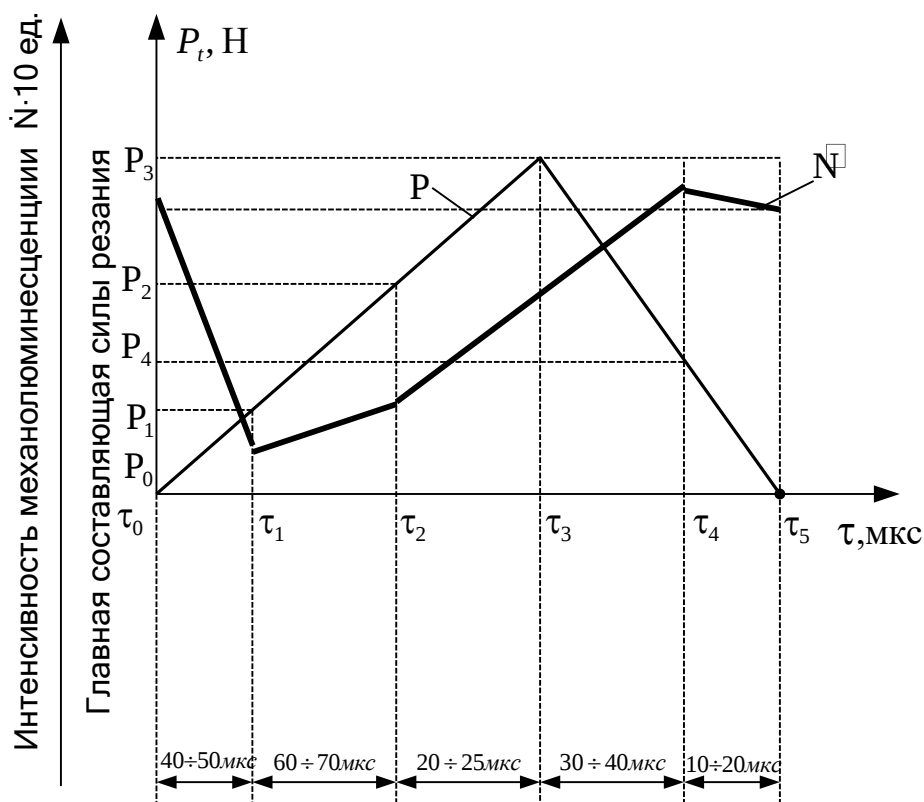
Спираючись на даний висновок, можна говорити, що старт і рух тріщини визначаються напруженим станом в вершині тріщини і критичним КІН (першого і другого роду) для волокна. Крім того якщо різання полімерного композиту з точки зору руйнування зводиться до руйнування волокон (джгутів), при різанні впоперек волокон цей процес носить періодичний характер.

Останній висновок підтверджується проведеними експериментами з різання конструкційних склопластиків на тканинній основі з епоксидним сполучною. Експериментальні дослідження мікропроцесів, що мають місце при руйнуванні в контакті інструмент - опрацьований матеріал, проводилися методом механолюмінесценції (23, 24).

Характерна картина графічної інтерпретації результатів експериментів при обробці склопластику з діаметром джгута 240 мкм представлена на рис. 3.8.

Аналізуючи наведені на рис. 3.8 результати з точки зору динаміки розвитку тріщини, а саме посилення інтенсивності напруженого стану, виражене зростанням зусилля різання, можна умовно виділити кілька періодів зміни інтенсивності механолюмінесценції і, отже, напруженого стану в вершині тріщини.

Перший часовий інтервал характерний тим, що при навантаженні джгута значення сили різання починає зростати, а інтенсивність механолюмінесценції продовжує падати після перерізання попереднього джгута. Фізично це може означати той факт, що інструмент знаходиться в контакті і для руйнування необхідне збільшення з одного боку контактної тиску, з іншого боку чинного зусилля і, отже, створюваного ним напруженого стану недостатньо для такого значного зростання і руху мікротріщин. Тому спостерігається зменшення інтенсивності механолюмінесценції. Даний часовий відрізок становить в середньому приблизно 40 – 45 мкс .



Мал. 3.8. Схема зміни сили різання і інтенсивності механолюмінесценції при перерізання джгута волокон

Другий часовий інтервал ($t_1 - t_2$), для якого зростання інтенсивності механолюмінесценції і сили різання фізично можна інтерпретувати:

- зародження, злиття і зростання початкової тріщини в джгуті волокон;

- розтріскування і деструкція сполучної за джгутом волокон;
- відшарування волокон від сполучного;
- часткове витягування при великій довжині волокон і низькою адгезії зі сполучною, ковзання і явища, обумовлені дефектністю поверхневого шару. З ростом навантаження інтенсивність механолюмінесценції зростає досить повільно, що пояснюється невеликою кількістю мікроруйнувань в контакті інструмент - опрацьований матеріал. Усереднена тривалість цього періоду різання (навантаження) становить приблизно 65 – 70 мкс .

Третій інтервал ($t_2 - t_3$) характеризується зростанням сили різання, що приводить до збільшення інтенсивності напруженого стану в контакті, і зростанням механолюмінесценції:

«Повільне» або докритичне зростання (в термінах механіки руйнування) тріщини; руйнування волокон в джгуті; різке збільшення числа і інтенсивності мікроруйнування, як в накопичувачі, так і в сполучному;

старт магістральної тріщини по досягненню нею критичної довжини і задоволення енергетичного і силового критерію руйнування в вершині тріщини.

Для даного інтервалу руйнування при різанні характерно різке збільшення інтенсивності механолюмінесценції, тобто різке зростання мікроруйнування в контакті. Закінчення цього інтервалу старт магістральної тріщини, який означає фактичний початок повного підрізання джгута волокон. Тривалість третього інтервалу становить в середньому 20 – 25 мкс .

Четвертий інтервал ($t_3 - t_4$) характеризується падінням значення зусилля різання і триваючим збільшенням інтенсивності механолюмінесценції. Фізично цей процес означає, що в контакті відбувається подальше руйнування джгута, викликане закритичним зростанням магістральної тріщини. При цьому спостерігається постійне зростання і розгалуження мікротріщин в джгуті, дроблення продуктів руйнування і сполучного за джгутом. Тривалість тимчасового інтервалу становить в середньому 35 – 40 мкс .

П'ятий інтервал ($t_4 - t_5$) закінчення процесу перерізання джгута. Значення сили різання і інтенсивності механолюмінесценції падає. Відбувається зачистка

простору між джгутами. Інструмент вступає в контакт з наступним джгутом, і процес повторюється знову. Тривалість останнього інтервалу 10 – 20 *мкс* .

Загальний час одного циклу складає в середньому 200 *мкс* . У цьому випадку швидкість різання складає 2 *м / с* . Довжина шляху, що пройшов інструмент склала 400 *мкм* . Це значення для рівномірної квадратичної упаковки джгутів досить точно збігається з умовним відстанню між джгутами (умовний діаметр джгута 240 *мкм* , відстань між ними 130 *мкм*) Таким чином, схематична модель руйнування при різанні композитів виглядає наступним чином (рис. 3.9).

Представлене теоретичне пояснення експериментальних результатів дозволяє зробити ряд наступних висновків:

- процес різання волокнистих полімерних композитів характеризується циклічністю зміни величини сили різання і інтенсивності механолюмінесценції, визначається умовами зародження і злиття мікротріщин, переростання їх в макротріщини з утворенням нових поверхонь;
- частота циклів залежить від швидкості різання, умовного середнього діаметра джгутів, виду і щільності упаковки, напрямки вектора головного руху різання по відношенню до напрямку армування оброблюваного матеріалу;
- магістральна тріщина при різанні композитів в більшості випадків розвивається за двома типами одночасно:

- а) коли берега тріщини перпендикулярні лінії тріщини - відрив;
- б) берега тріщини ковзають відносно один одного перпендикулярно фронту тріщини - зрушення.

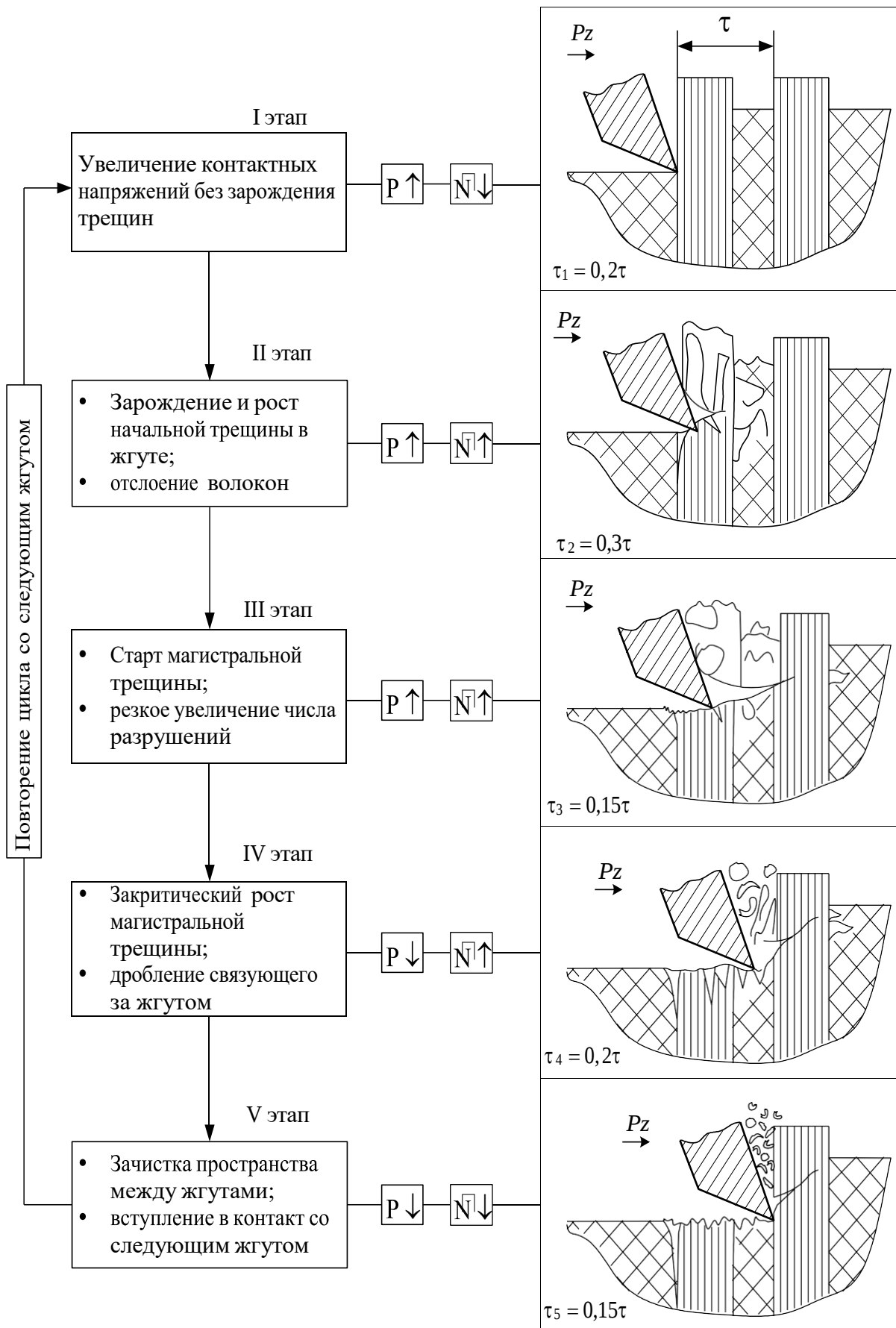
- при виборі щільності упаковки волокон при розробки моделі приймати відстань між волокнами не більше ніж мінімальна величина критичної довжини тріщини;

- при виборі діапазону варіювання швидкості різання при моделюванні, верхня межа визначається стабілізацією критичної величини початкової тріщини і швидкості її поширення;

- при виборі матеріалів матриці і волокон для моделі передбачити два варіанти:

а) модуль пружності матриці нижче модуля пружності волокон;

б) модуль пружності волокон нижче модуля пружності матриці, оскільки це визначає різний характер руйнування.



Мал. 3.9. Схематична модель руйнування волокнистого полімерного композиту при різанні

- при виборі схеми можливого взаємного розташування відповідних сили різання і умовних осей армуючих волокон для геометричної моделі, приймати найбільш несприятливий варіант, коли нормальна складова сил на задній поверхні спрямована уздовж поверхонь розділу викликаючи найбільшу ймовірність руйнувань в зазначеному напрямку.

3.1. Вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструментів.

Передній кут В області позитивних значень передній кут не робить істотного впливу ні на один з досліджуваних параметрів поверхневого шару волокнистих полімерних композитів. Це пояснюється тим, що після закінчення періоду притирання інструментів товщина зрізу не перевищує величини зносу інструменту по передній поверхні, і в більшості випадків не перевищує радіуса округлення різальної крайки [37], тому має місце різання з негативними передніми кутами, утвореними зношеними ділянками ріжучого інструменту.

Незначне погіршення стану обробленої поверхні зі зменшенням переднього кута пов'язано зі збільшенням радіуса округлення різальної крайки через зменшення кута загострення. Зі зменшенням переднього кута до -10° погіршення стану поверхневого шару йде більш інтенсивно, що пояснюється зростанням сил різання і руйнуванням композиту за рахунок досягнення нею межі міцності на стиск в напрямку перпендикулярному площині різання, що супроводжується порушенням адгезійних зв'язків з поверхні розділу структурних компонентів композиту. Таким чином, підтверджується наведена рекомендація використовувати інструменти з передніми кутами в межах $0 \div 5^\circ$.

Задній кут. Задній кут так само як і передній надає мало впливу на шорсткість обробленої поверхні. Однак на такі параметри якості обробки як ворсистість, деструкцію і глибину дефектного шару зміна заднього кута робить істотне значення (рис. 3.10 – 3.12). Це пов'язано зі зміною роботи тертя по задній поверхні і температури різання. Зі зменшенням задніх кутів зростає фактична площа контакту інструменту з оброблюваним матеріалом, що призводить до зростання сил різання на задній поверхні і, таким чином створенню умов для руйнування композиту по поверхні розділу.

Збільшення задніх кутів більше оптимальних викликає збільшення ворсистості оброблюваної поверхні і деструкції полімерних складових, що пояснюється великим радіусом округлення різальної крайки у фрез з меншим кутом загострення ріжучого клина при рівному зносі. Оптимальна величина

заднього кута вибирається в діапазоні $22-27^\circ$ в залежності від оброблюваного матеріалу і виду обробки.

Головний кут в плані. Вплив головного кута в плані на вихідні параметри якості обробки визначається головним чином через вплив цього кута на сили різання. Оптимальний кут в плані для точіння знаходиться в районі 45° для всіх використовуваних при дослідженні оброблюваних матеріалів (рис.3.13). Для свердління оптимальний кут 2ϕ залежить від оброблюваного матеріалу. Для органопластика і гібридних ПКМ містять органічні волокна він знаходиться в діапазоні $90^\circ-100^\circ$ (рис.3.14).

Кут нахилу головної різальної крайки. Проведені дослідження для точіння і фрезерування показали, що кут нахилу головної різальної крайки робить істотний вплив на значення вихідних параметрів якості обробки (Рис. 3.15, 3.16)

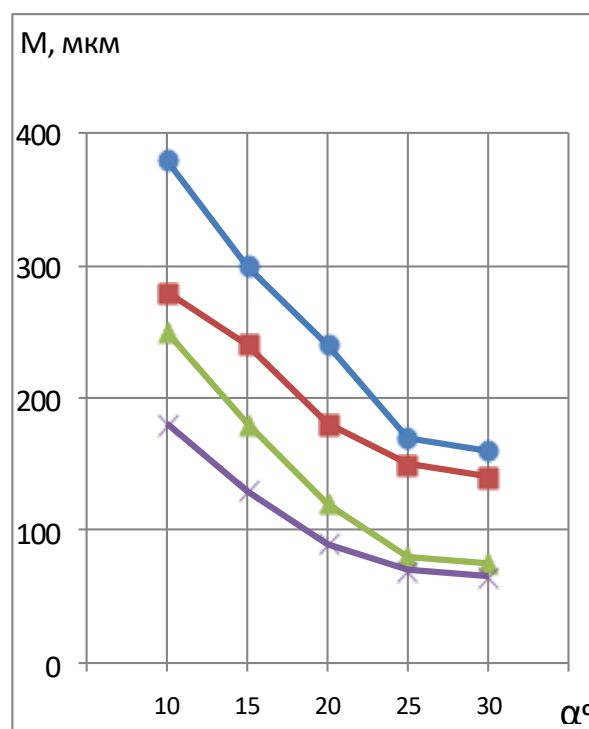
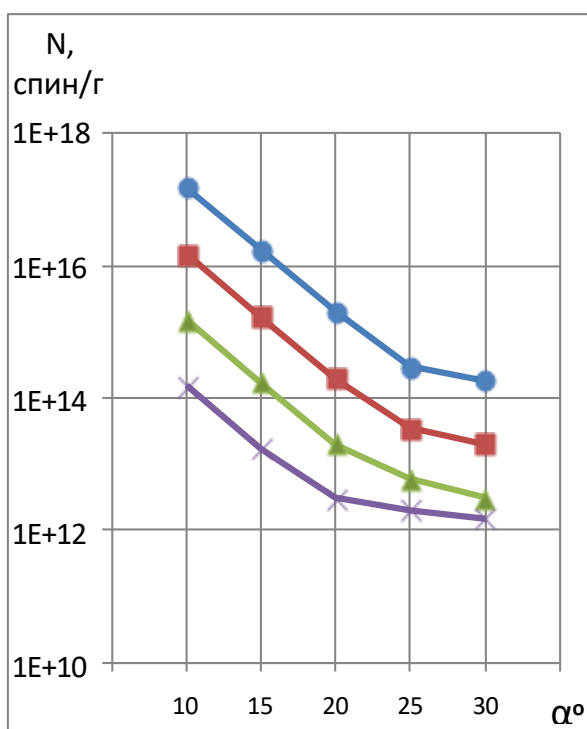
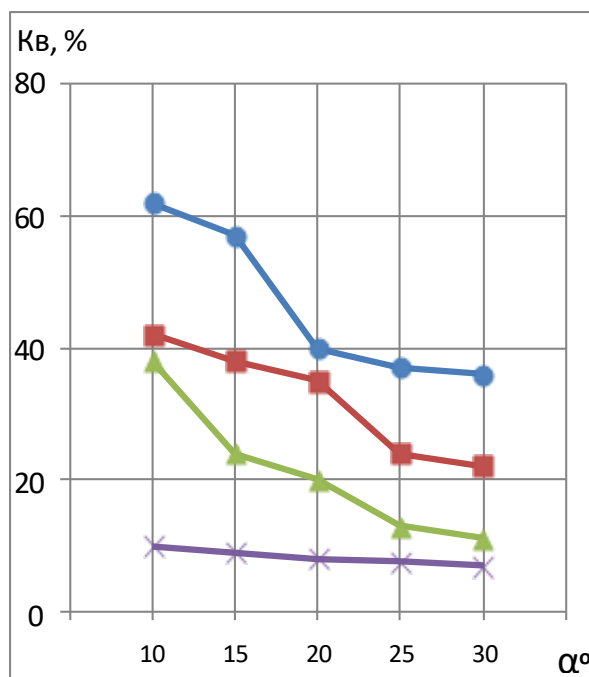
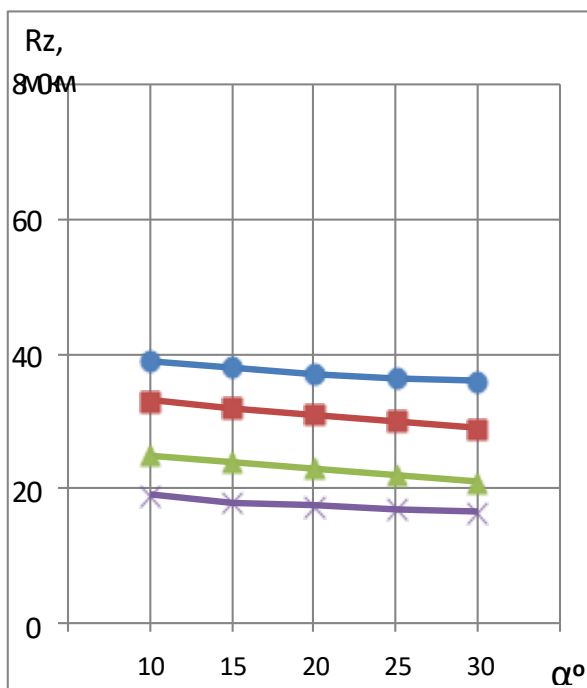


Рис 3.10. Вплив заднього кута на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при фрезеруванні: $\times-\times$ – склопластика, $\blacktriangle-\blacktriangle$ – склоорганопластика, $\blacksquare-\blacksquare$ – углеорганопластика, $\bullet-\bullet$ – органопластика.

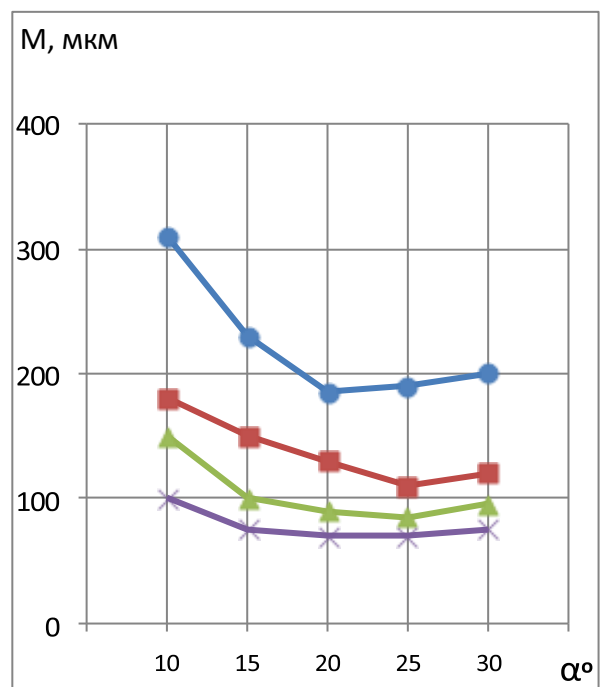
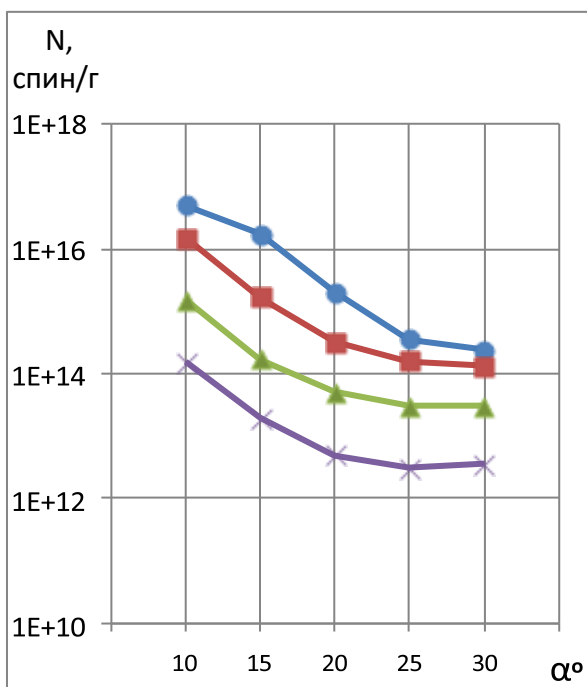
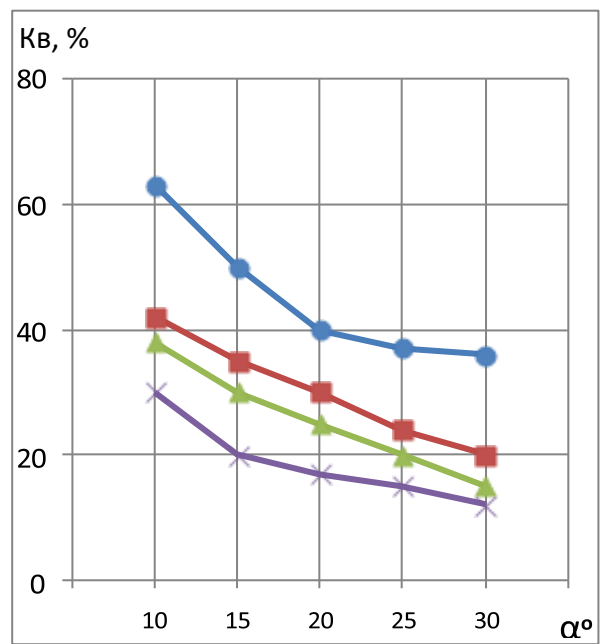
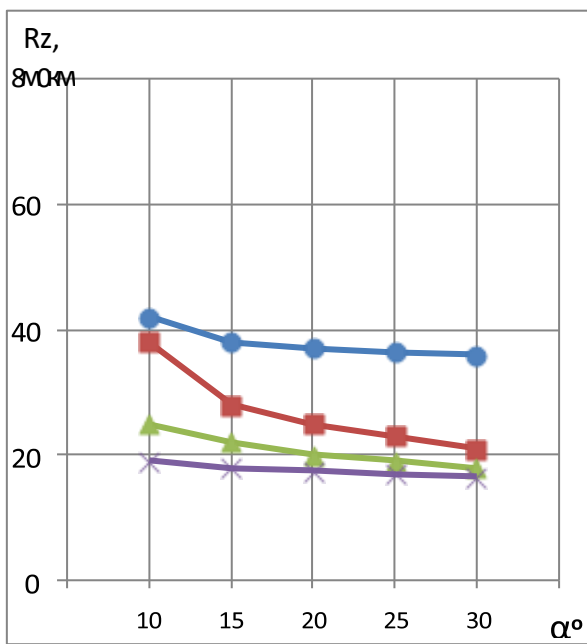


Рис 3.11. Вплив заднього кута на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при точінні: $\times-\times$ – склопластика, $\blacktriangle-\blacktriangle$ – склоорганопластика, $\blacksquare-\blacksquare$ – углеорганопластика, $\bullet-\bullet$ – органопластика.

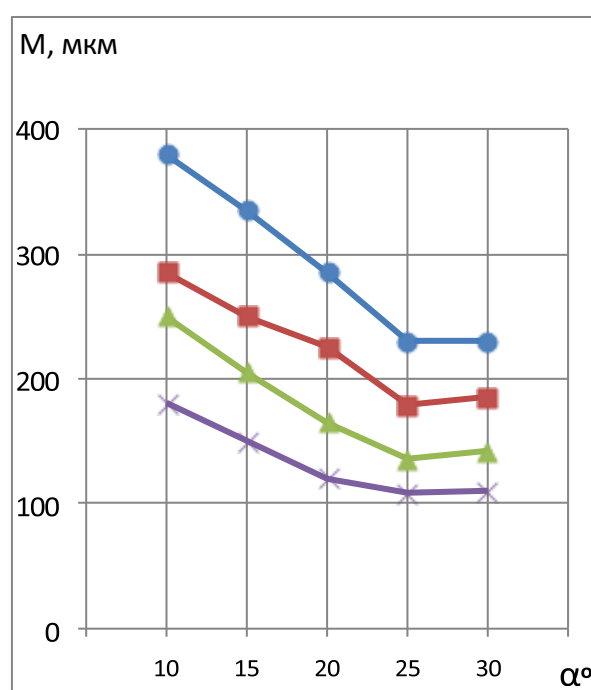
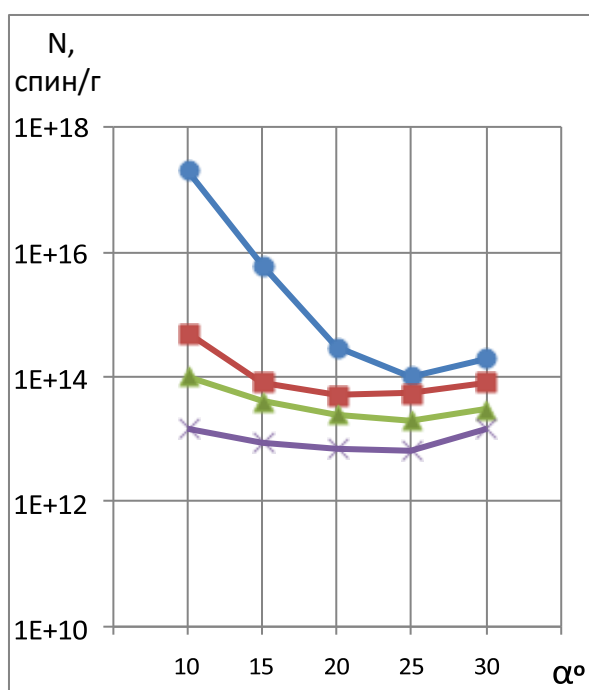
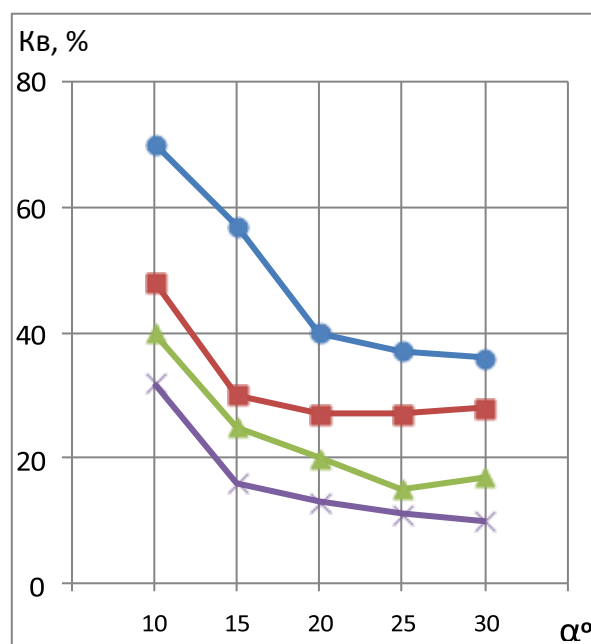
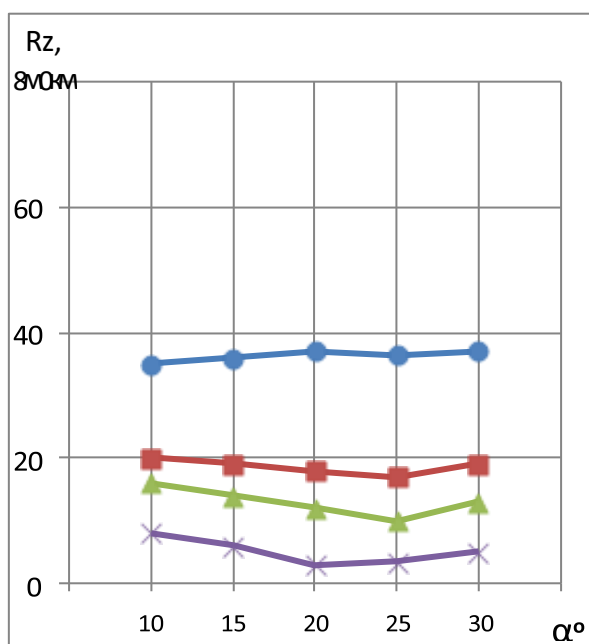


Рис 3.12. Вплив заднього кута на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів під час свердління: ×—× — склопластика, ▲—▲—склоорганопластика, ■—■ — углеорганопластика, ●—● — органопластика.

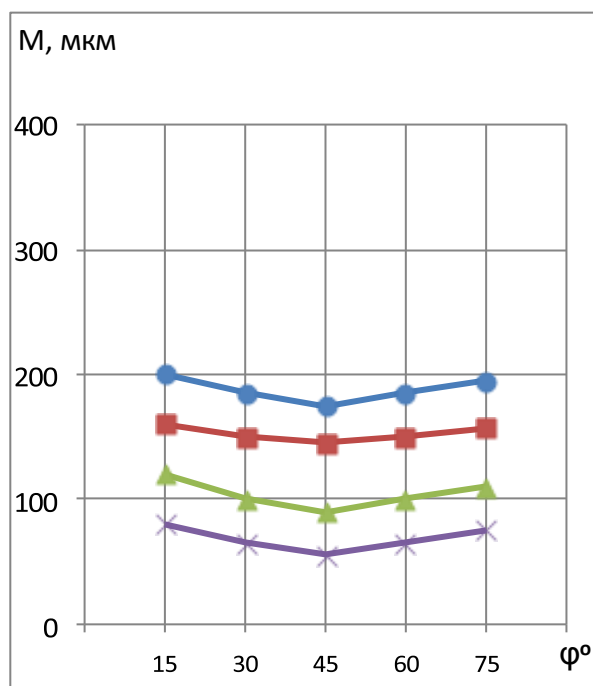
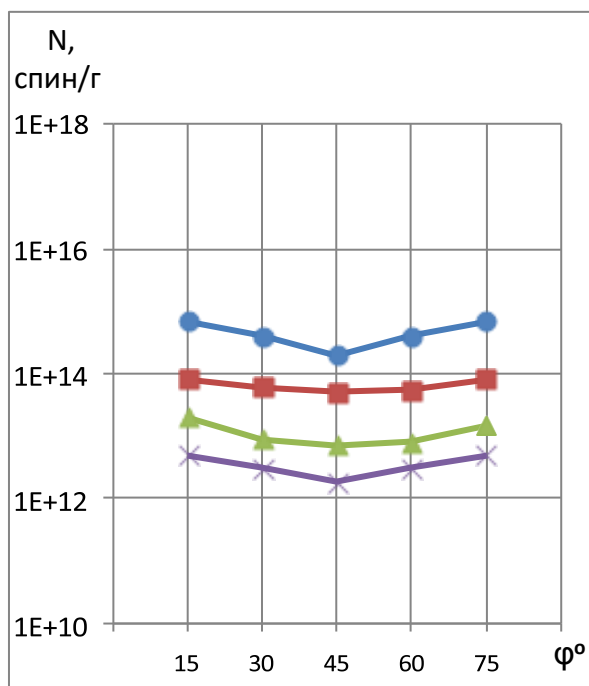
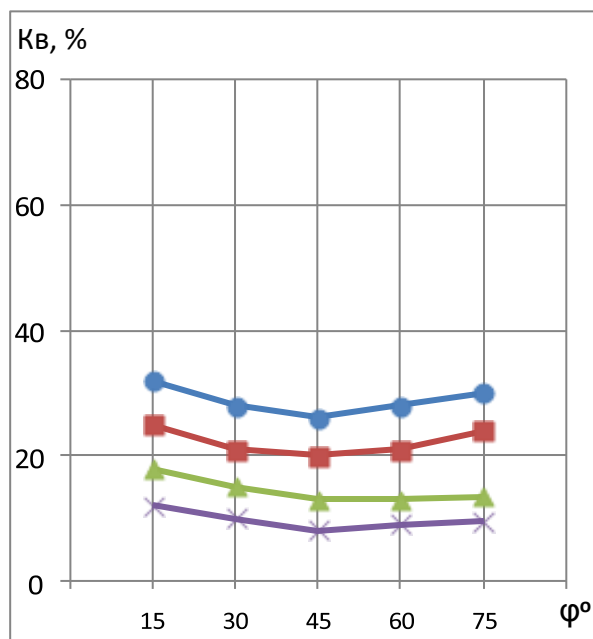
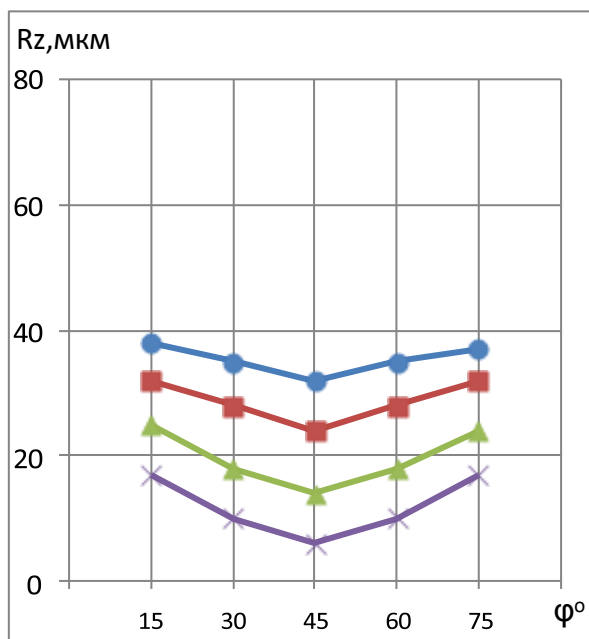


Рис. 3.13. Вплив головного кута в плані на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при точінні: $\times-\times$ – склопластика, $\blacktriangle-\blacktriangle$ – склоорганопластика, $\blacksquare-\blacksquare$ – углеорганопластика, $\bullet-\bullet$ – органопластика.

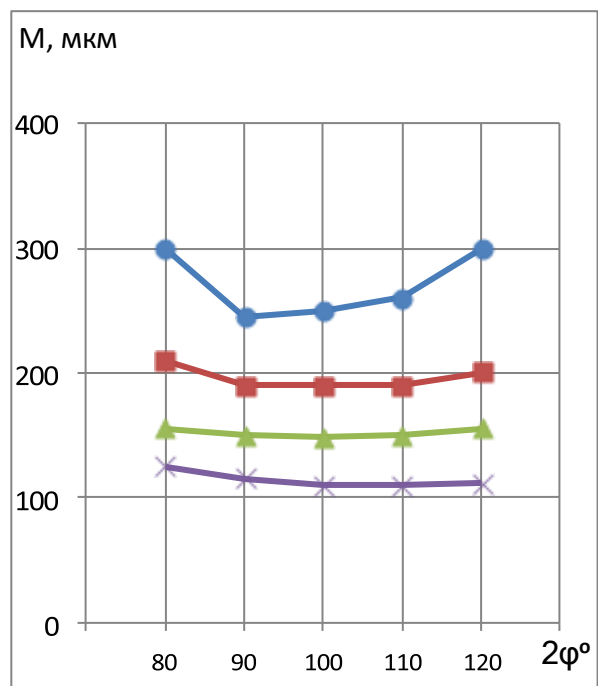
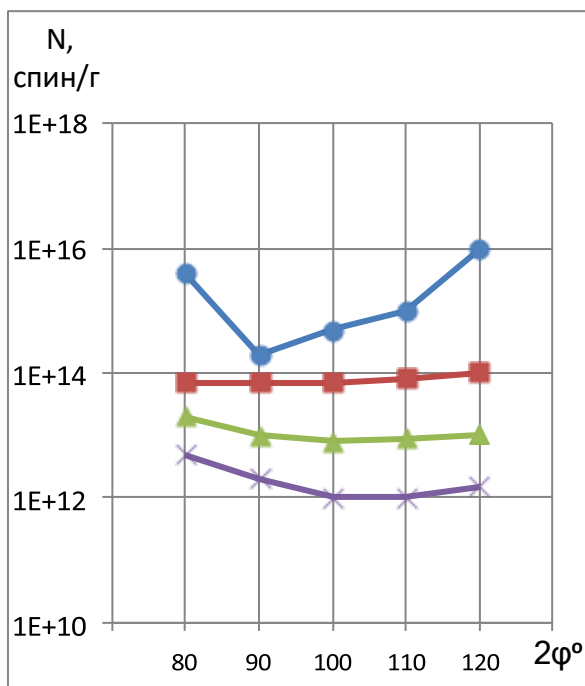
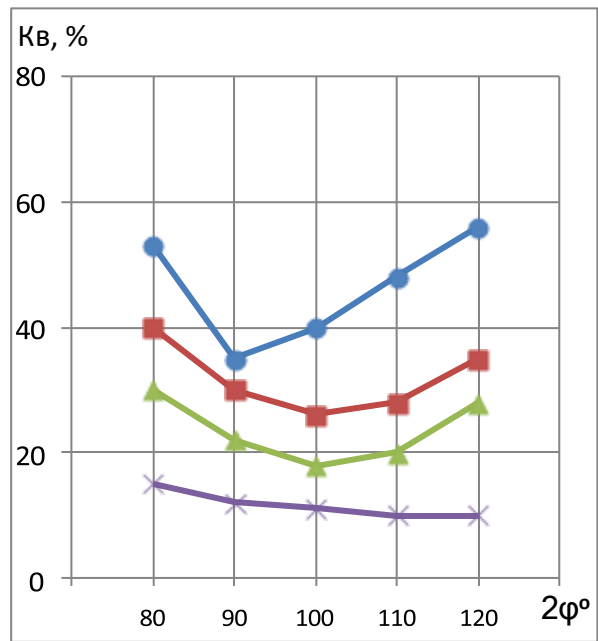
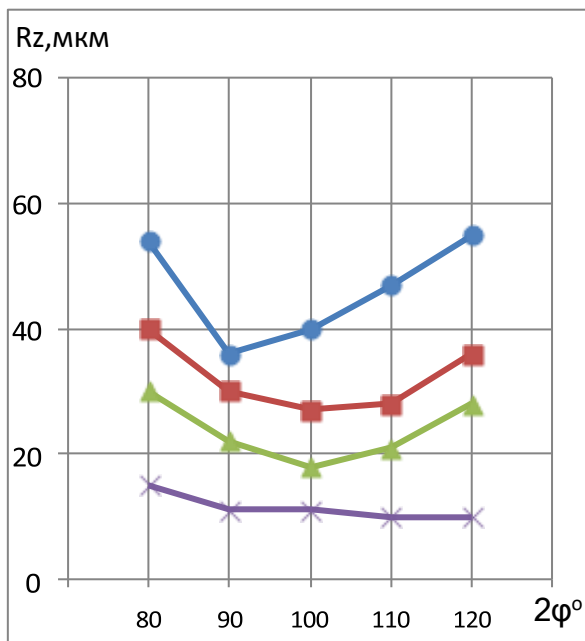


Рис. 3.14. Вплив кута в плані на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів під час свердління: $\times-\times$ — склопластика, $\blacktriangle-\blacktriangle$ — склоорганопластика, $\blacksquare-\blacksquare$ — углеорганопластика, $\bullet-\bullet$ — органопластика.

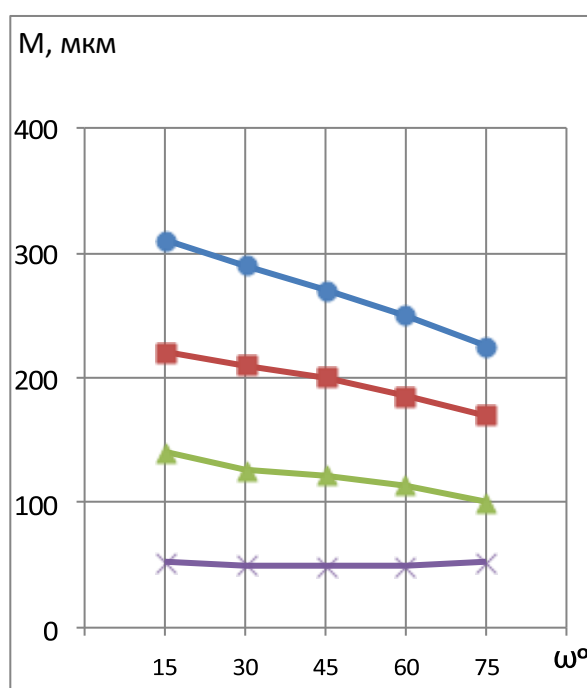
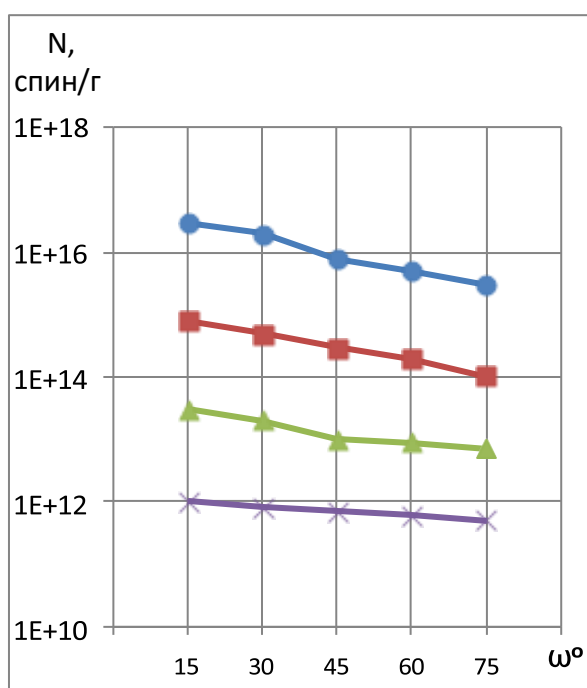
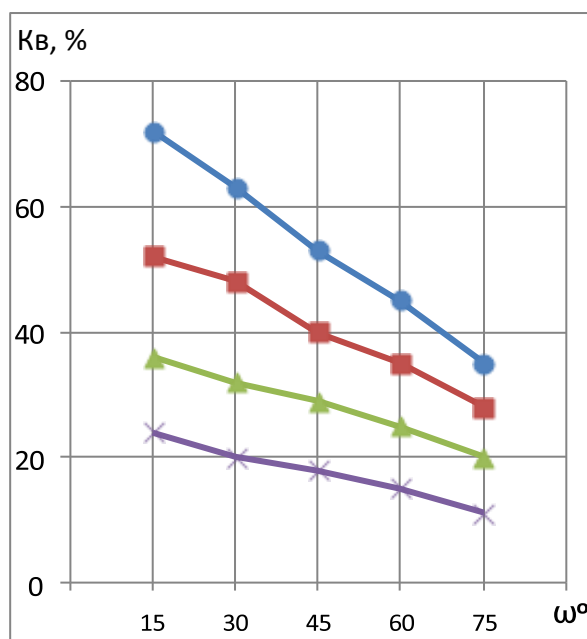
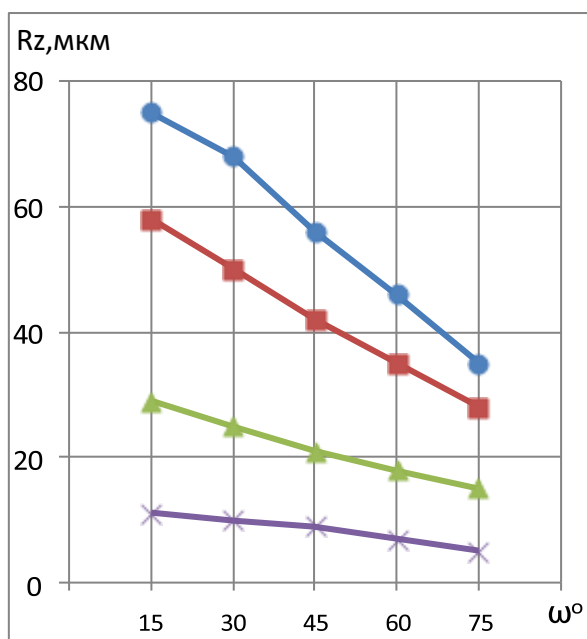


Рис. 3.15. Вплив кута нахилу гвинтового зуба на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при фрезеруванні: $\times-\times$ – склопластика, $\blacktriangle-\blacktriangle$ – склоорганопластика, $\blacksquare-\blacksquare$ – углеорганопластика, $\bullet-\bullet$ – органопластика.

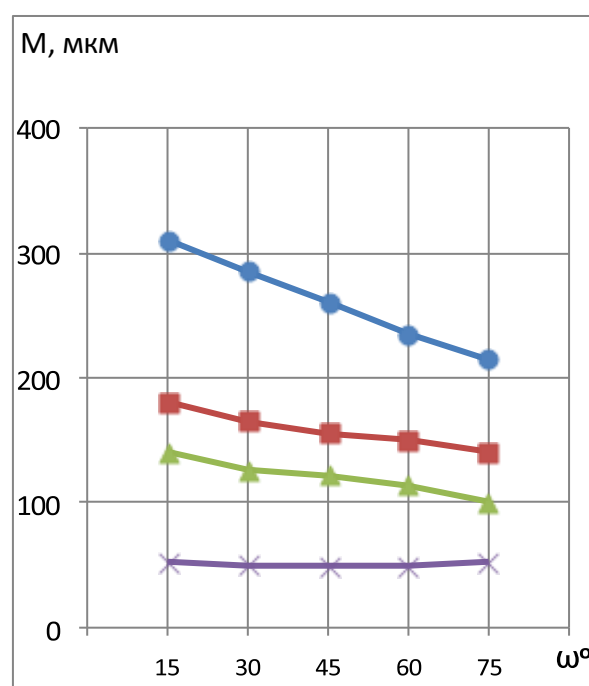
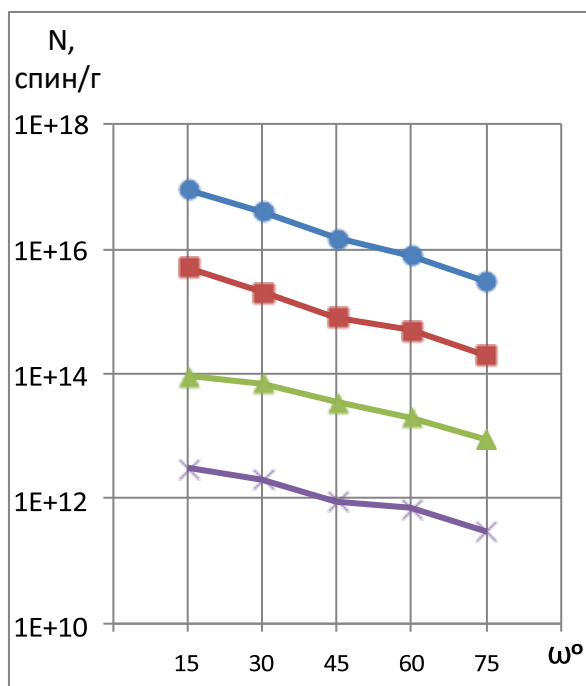
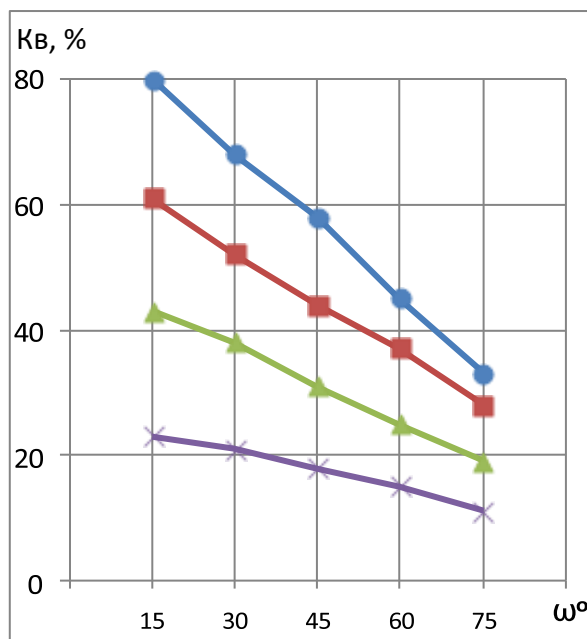
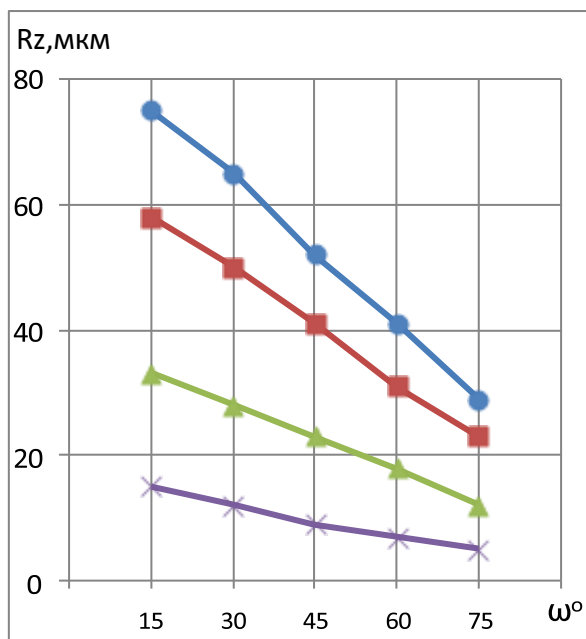


Рис. 3.16. Вплив кута нахилу головної різальної крайки на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при точінні: $\times-\times$ – склопластика, $\triangle-\triangle$ – склоорганопластика, $\blacksquare-\blacksquare$ – углеорганопластика, $\bullet-\bullet$ – органопластика.

Зі збільшенням кута нахилу головної різальної крайки зменшується питома нормальна сила на передній поверхні леза, що сприяє зменшенню макро

і мікро викришування різальної крайки і відповідно зниження шорсткості. Якщо армуючі волокна перпендикулярні площині різання в них виникають дотичні напруження під дією нормальної до волокна складової сили стружкоутворення N_v , однак через малої товщини зрізу, великого радіусу округлення різальної крайки, який перевищує діаметр волокон, а так само через порушення адгезійного зв'язку між матрицею і волокном, при малих значеннях кута нахилу головної різальної крайки, ці напрямки не призводять до руйнування волокна, а тільки до його стиснення.

Зі збільшенням кута нахилу головної різальної крайки, дотичні напруження, що виникають під дією горизонтальної складової сили тертя – T , спрямованої уздовж ріжучої кромки по передній поверхні зростають і досягають межі міцності волокна.

Найбільшою мірою цей ефект (ефект «бриючого» різання [38]) проявляється при малих товщинах зрізу.

Таким чином, поліпшення якісних характеристик процесу різання при збільшенні кута нахилу головної різальної крайки відбувається за рахунок зниження енерговитрат різання; зменшення макро і мікро Викришування ріжучої кромки і забезпечення оптимальних кінематичних умов для зрізання армуючих волокон. При цьому необхідно зауважити, що зі збільшенням кута нахилу головної різальної крайки відбувається зниження кількості руйнувань по поверхні розділу структурних компонентів композиту.

Ефективність збільшення кута нахилу головної різальної крайки зростає зі збільшенням обсягу органічних волокон в структурі композиту. Найбільш ефективно збільшення кутів нахилу головної різальної крайки для органопластика.

Вплив зносу інструменту і радіуса округлення різальної крайки. Зі збільшенням зносу інструментів по задній поверхні і радіусу округлення різальної крайки збільшуються енерговитрати різання і зменшується питома енергія різання. Це визначає збільшення рівня тепловиділення і отже ступінь термодеструкції полімерних складових. Збільшення фактичної площі контакту інструменту з оброблюваним матеріалом, при збільшенні зносу, призводить до

збільшення сил різання, зростання яких призводить до порушень адгезійних зв'язків між матрицею і наповнювачем і як наслідок погіршення стану поверхневого шару ПКМ.

При обробці полімерів, армованих мінеральними волокнами (скло, вуглець), погіршення якості обробленої поверхні обумовлено, в першу чергу, зростанням площі зносу – h_z і відповідно, контакту з оброблюваним матеріалом і в меншій мірі пов'язано з радіусом округлення різальної крайки. При обробці полімерів, армованих органічними волокнами з низьким модулем пружності і великим відносним подовженням, погіршення якості обробленої поверхні пов'язано в першу чергу зі збільшенням радіуса округлення різальної крайки, що призводить до виникнення ворсистості на обробленої поверхні. Вплив зносу і радіуса округлення різальної крайки на вихідні параметри якості ПКМ при фрезеруванні наведено на рис. 3.17.

Оскільки величина зносу є функцією тривалості обробки, результати дослідів щодо встановлення його впливу на вихідні параметри якості обробки для різних оброблюваних матеріалів ми представили на графіках залежності параметрів якості від тривалості роботи інструмента (Рис. 3.18 – 3.20)

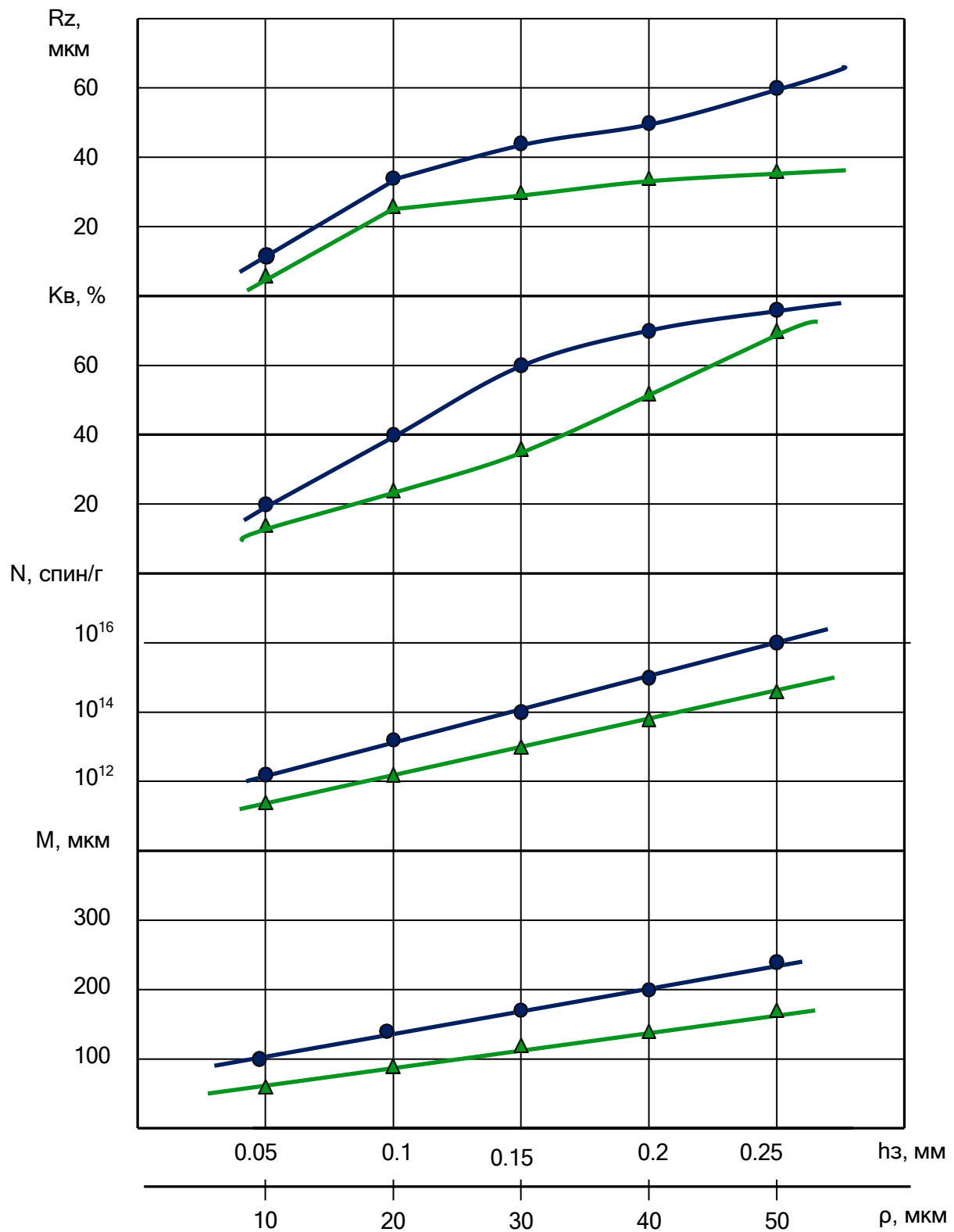
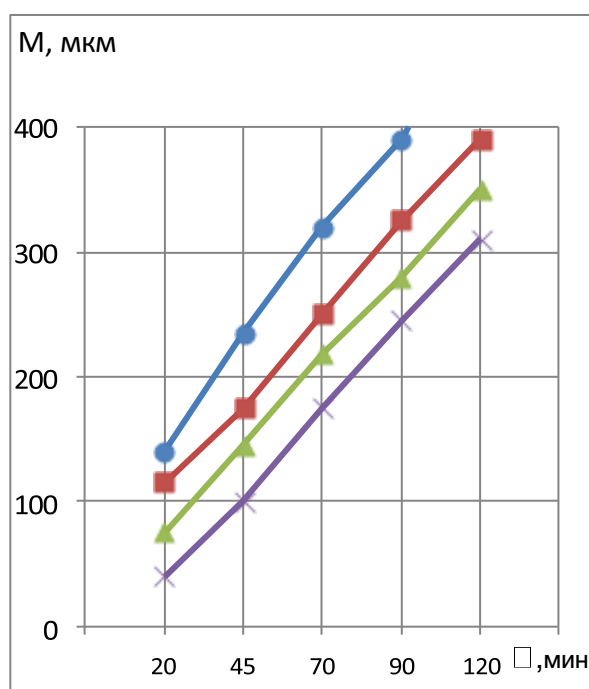
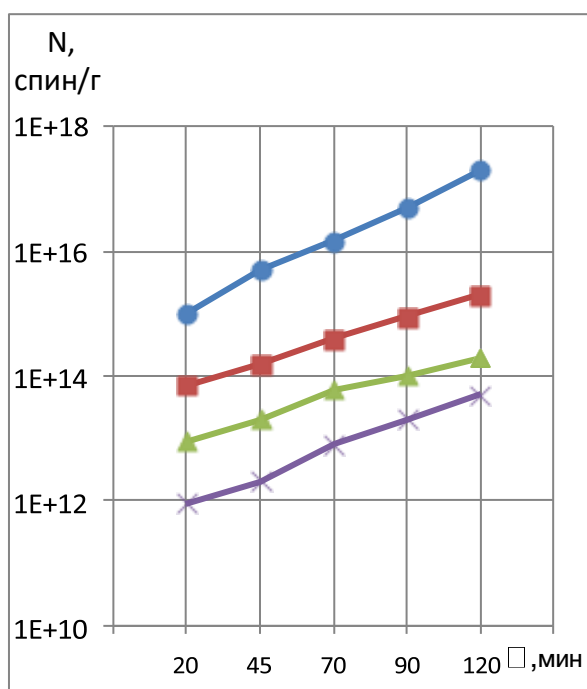
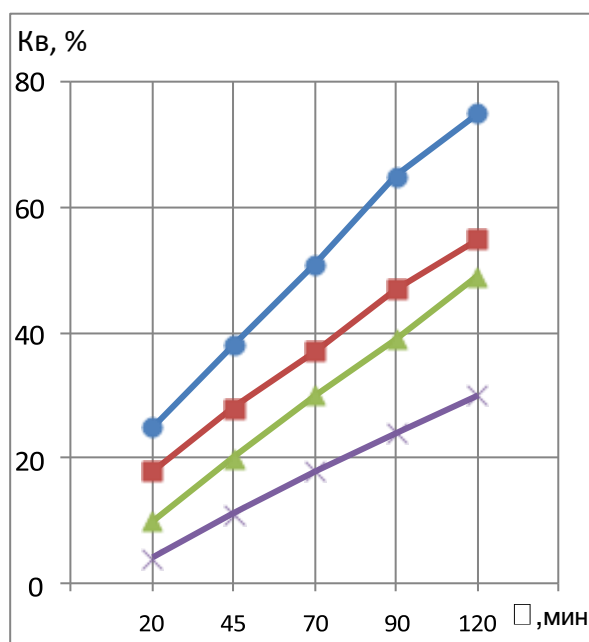
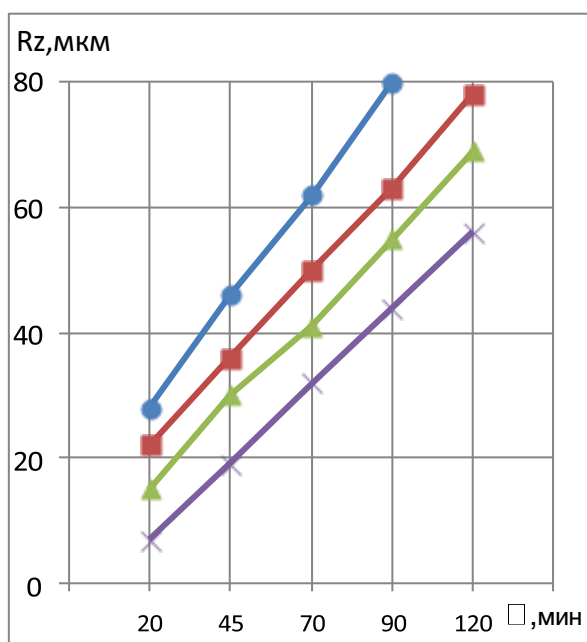
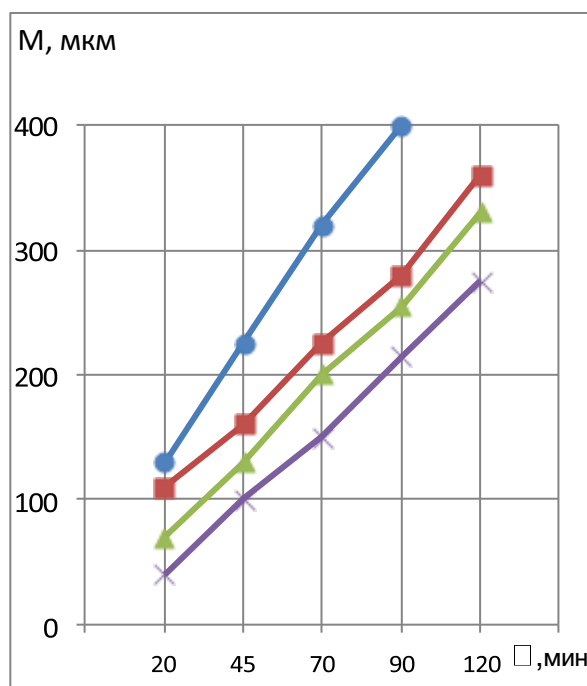
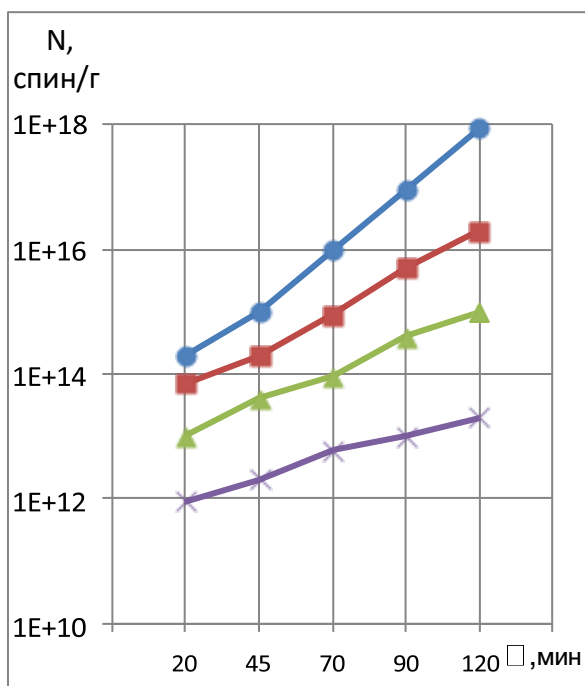
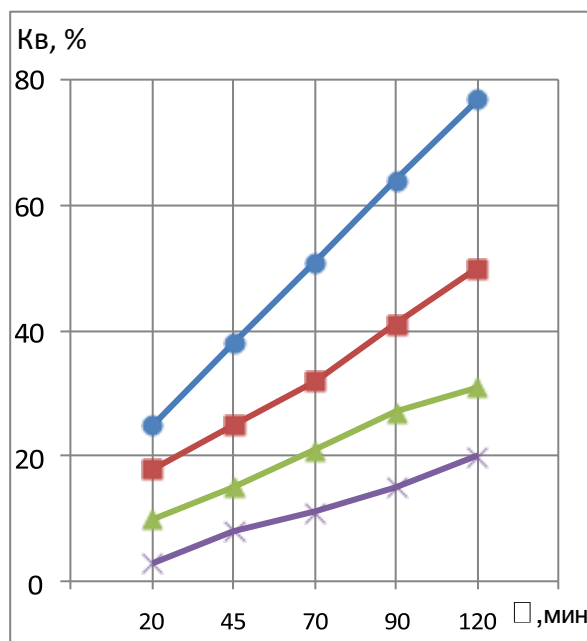
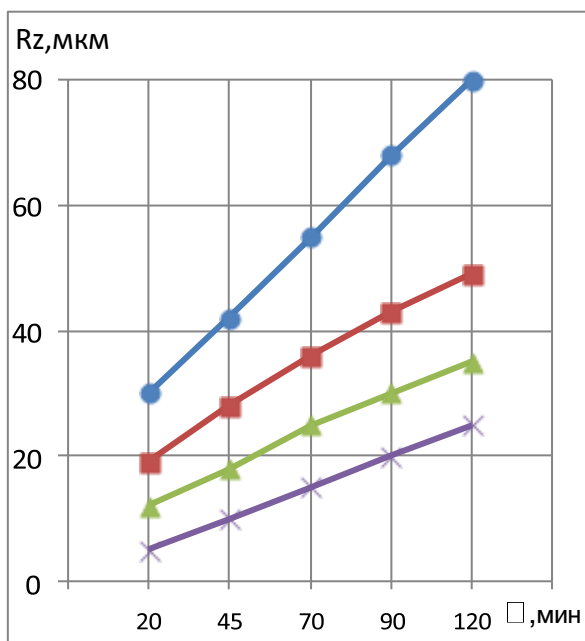


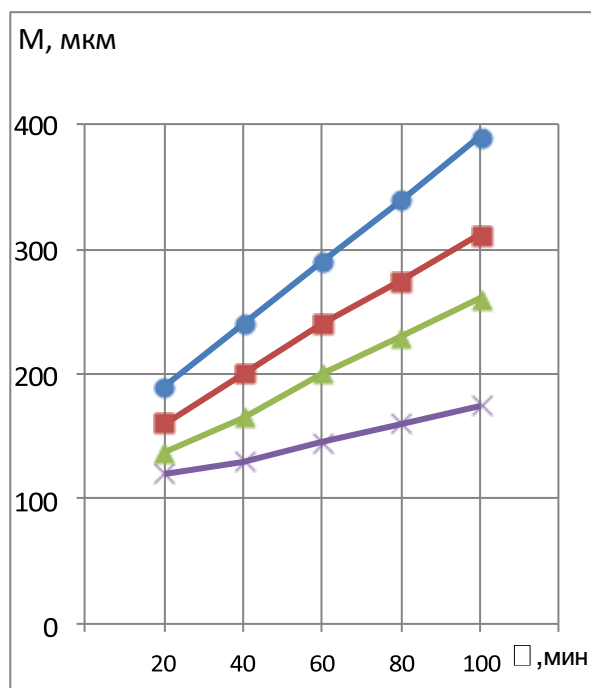
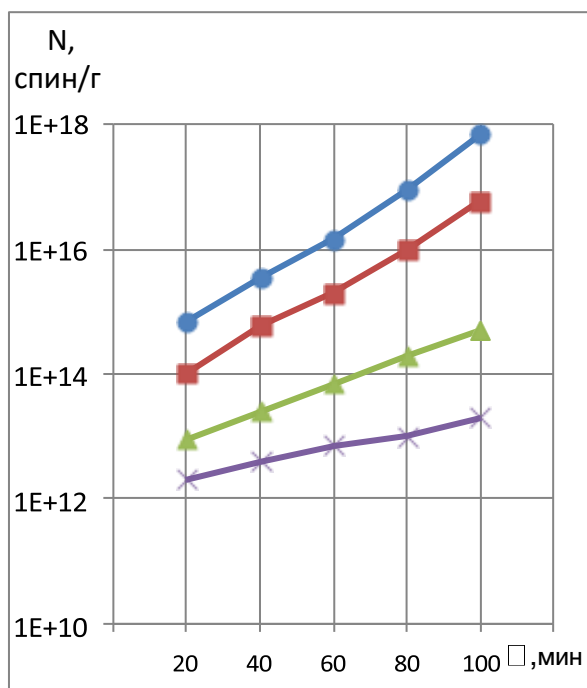
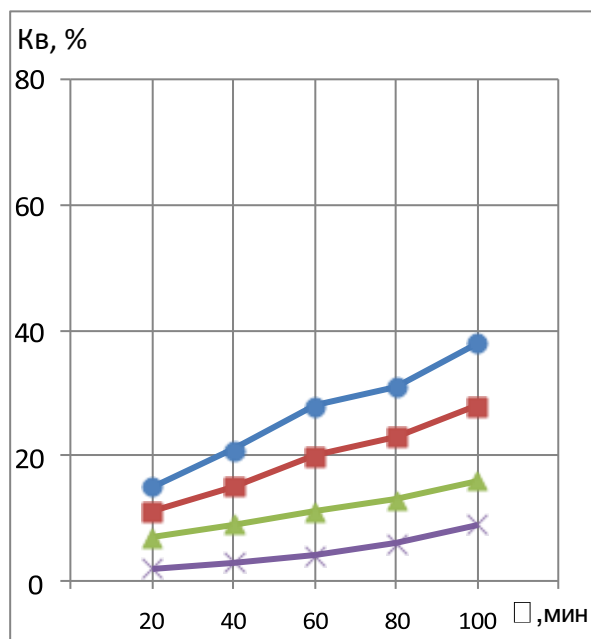
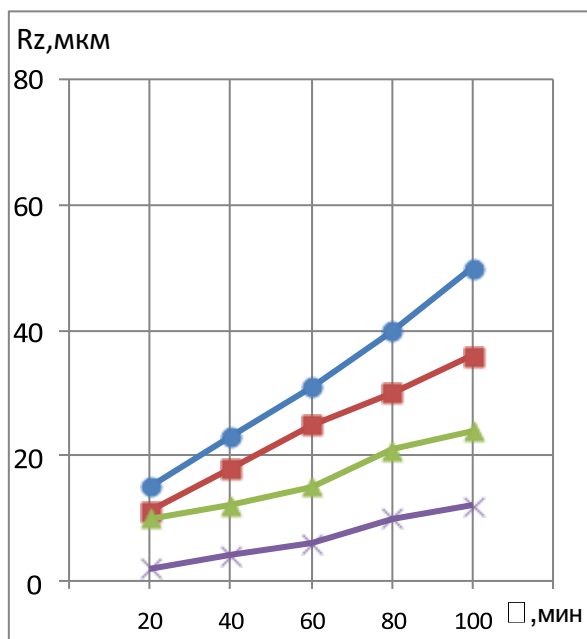
Рис. 3.17. Вплив зносу і радіуса округлення різальної крайки на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при фрезеруванні склоорганопластика. ●—● — h_z , ▲—▲ — ρ .



Мал. 3.18. Вплив тривалості роботи інструмента на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при фрезеруванні: $\times-\times$ – склопластика, $\triangle-\triangle$ – склоорганопластика, $\blacksquare-\blacksquare$ – углеорганопластика, $\bullet-\bullet$ – органопластика.



Мал. 3.19. Вплив тривалості роботи інструмента на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при точінні: $\times-\times$ – склопластика, $\triangle-\triangle$ – склоорганопластика, $\blacksquare-\blacksquare$ – углеорганопластика, $\bullet-\bullet$ – органопластика.



Мал. 3.20. Вплив тривалості роботи інструмента на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів під час свердління: $\times-\times$ – склопластика, $\triangle-\triangle$ – склоорганопластика, $\blacksquare-\blacksquare$ – углеорганопластика, $\bullet-\bullet$ – органопластика.

3.2. Вплив режимів різання.

Швидкість різання. Зі збільшенням швидкості різання відзначається поліпшення якісних характеристик процесу обробки для всіх представників волокнистих полімерних композитів, які використовувалися, в дослідженні. Однак це поліпшення менш яскраво виражено для точіння і свердління, на відміну від фрезерування, оскільки ці види обробки є більш теплонапружених через безперервне контактування інструменту з оброблюваним матеріалом і утисненого різання (для свердління) см. Рис. 3.21 – 3.23.

Поліпшення якісних характеристик процесу обробки пов'язано зі зниженням енерговитрат при різанні і збільшенням питомої енергії різання, а так само зниженням сил різання, що в кінцевому підсумку дозволяє зменшити ворсистість за рахунок зменшення руйнувань по поверхні розділу структурних компонентів і знизити ступінь деструкції полімерних складових і глибину дефектного шару композиту.

Підвищення питомої енергії впливу контактних поверхонь ріжучого інструменту на окремі волокна і мікрооб'ємах матриці і зниження межі текучості забезпечують зниження величини напруг і деформацій, при яких відбувається руйнування композиту локалізує мережу мікро тріщин, які поширюються вглиб матеріалу. Це забезпечує помітне зниження глибини дефектного шару. На основі наведеного дослідження можна зробити висновок про доцільність застосування високошвидкісної обробки при фрезеруванні для забезпечення не тільки необхідної якості, а й значного збільшення продуктивності обробки.

В якості альтернативи точіння, для збільшення продуктивності і якості поверхневого шару можна рекомендувати фрезоточіння. Як видно з графіків 3.21 – 3.23 при збільшенні швидкості різання вище оптимальної, спостерігається погіршення стану поверхневого шару, що пояснюється погіршенням енергетичних характеристик процесу різання.

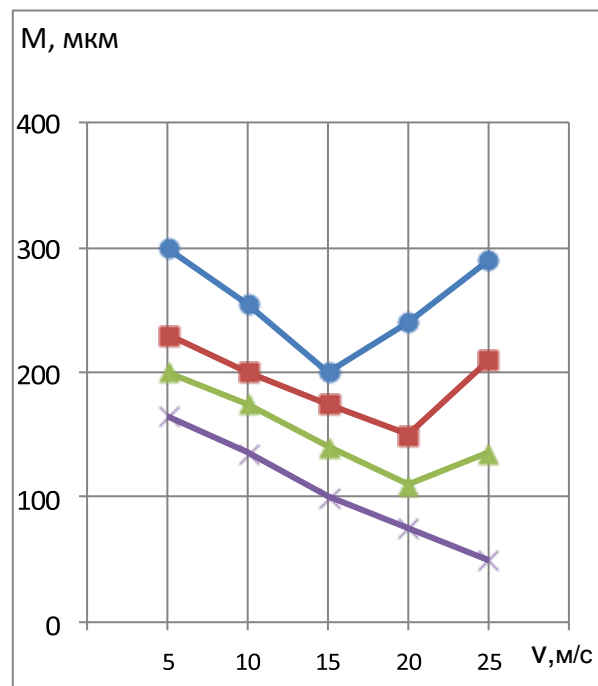
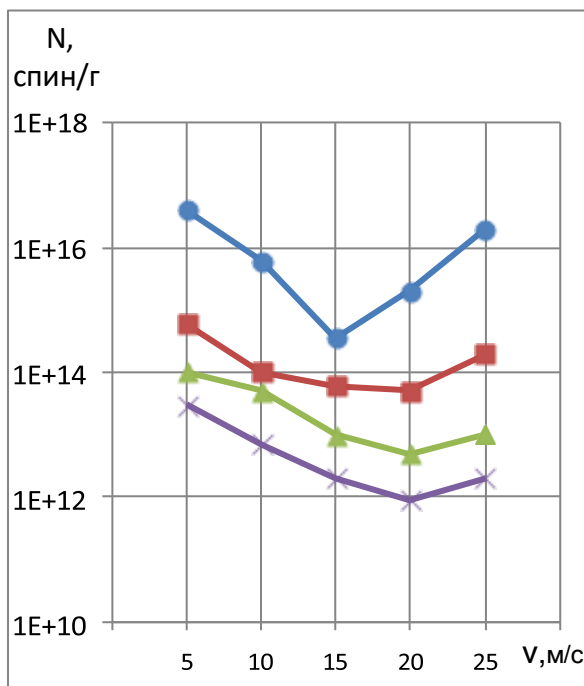
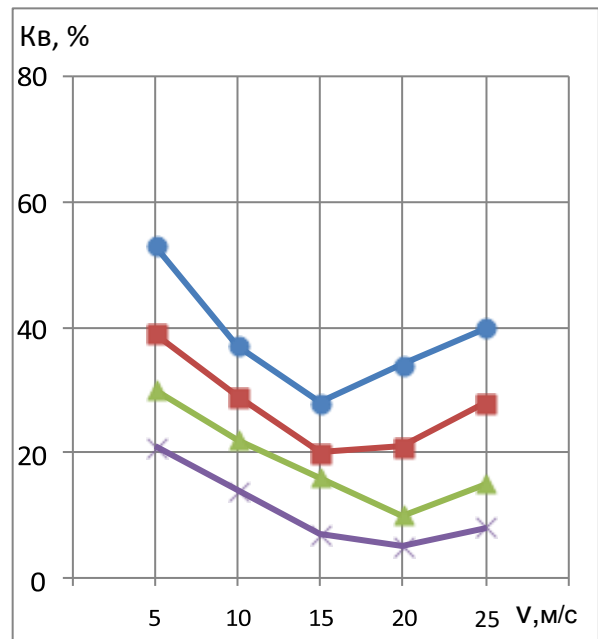
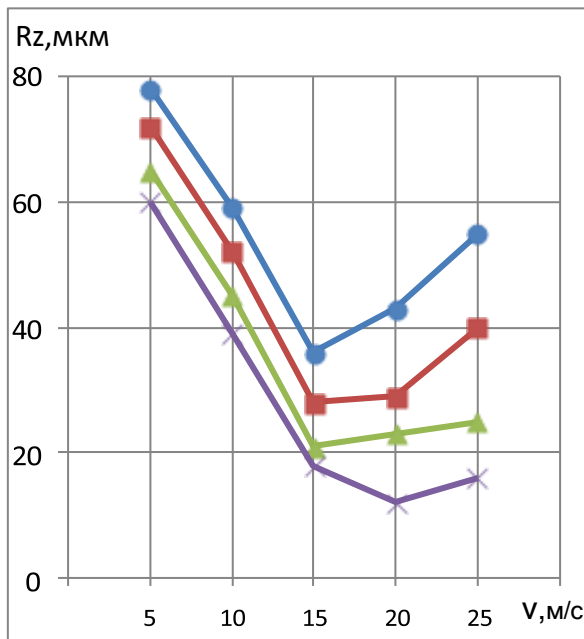
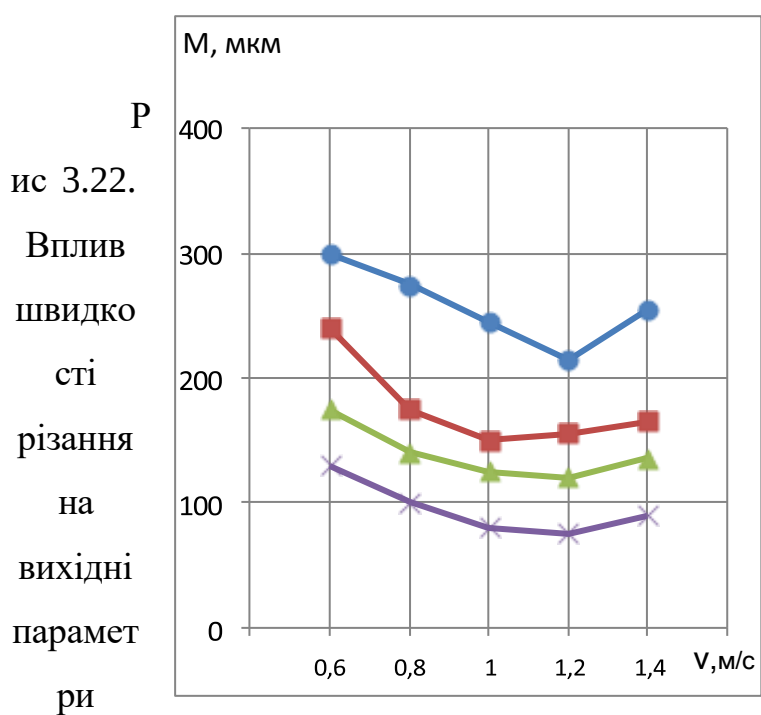
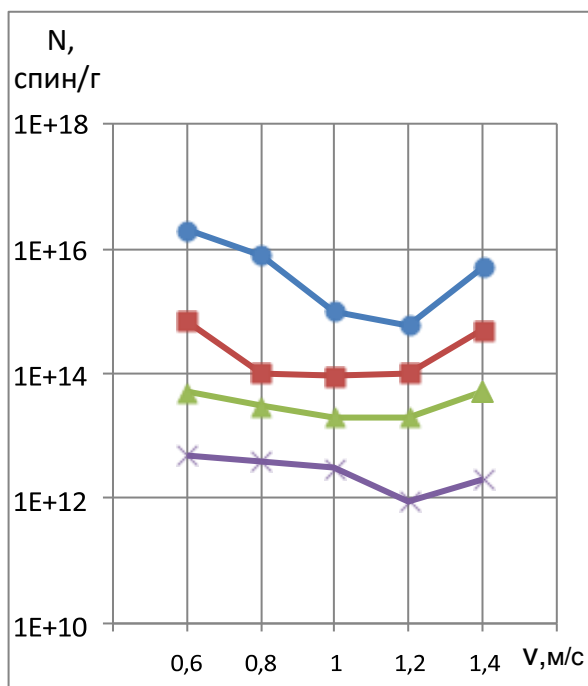
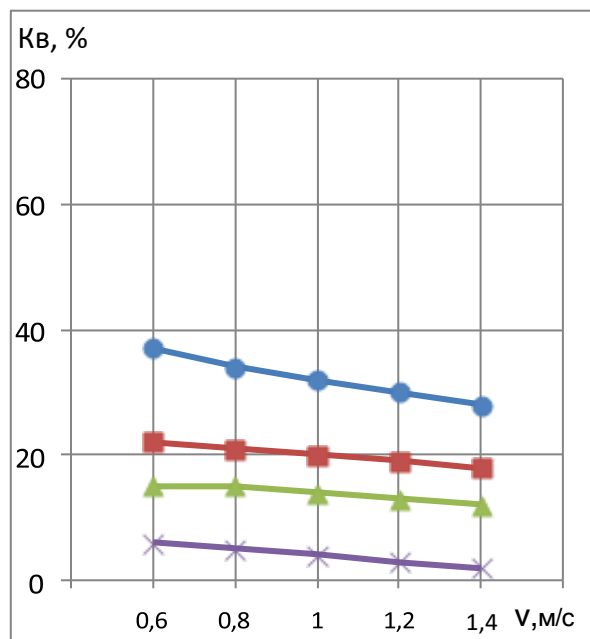
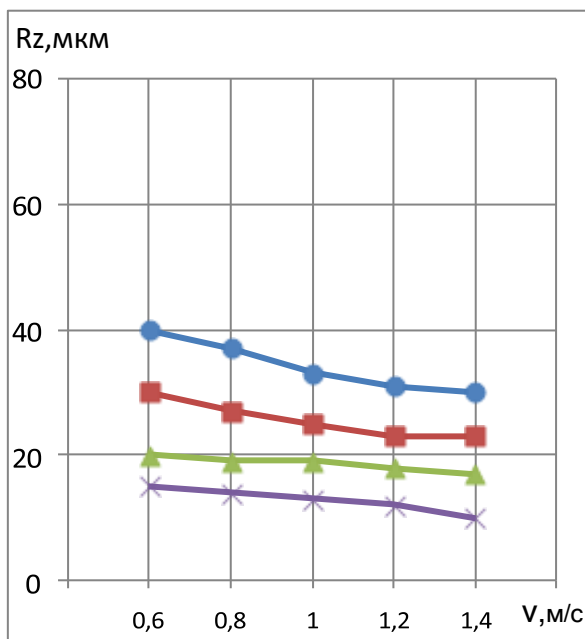


Рис 3.21. Вплив швидкості різання на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при фрезеруванні: $\times-\times$ – склопластика, $\triangle-\triangle$ – склоорганопластика, $\blacksquare-\blacksquare$ – углеорганопластика, $\bullet-\bullet$ – органопластика.



якості волокнистих полімерних композитів при точінні: x—x — склопластика, ▲—▲— склоорганопластика, ■—■ — углеорганопластика, ●—● — органопластика.

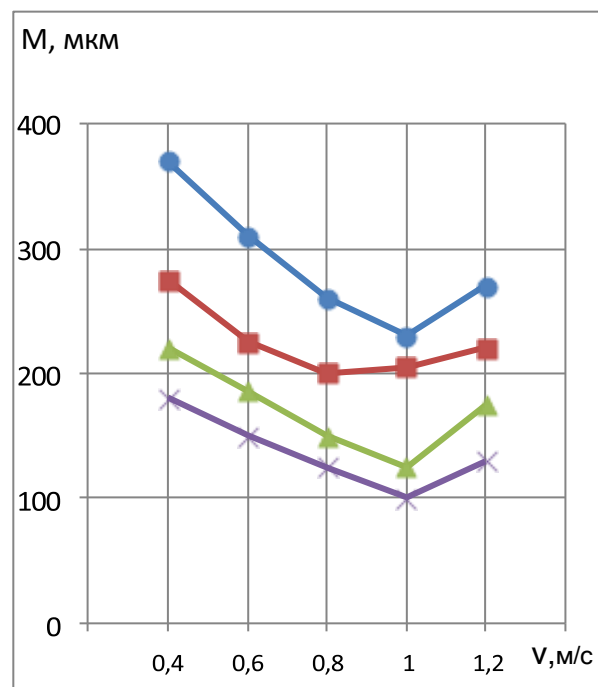
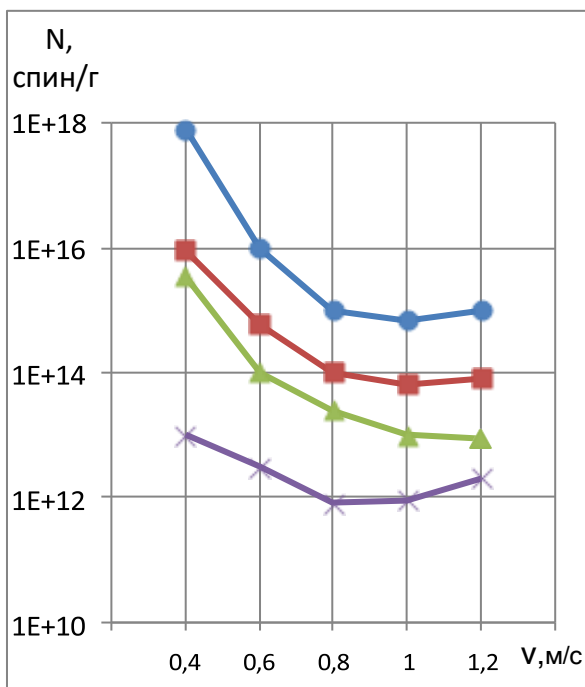
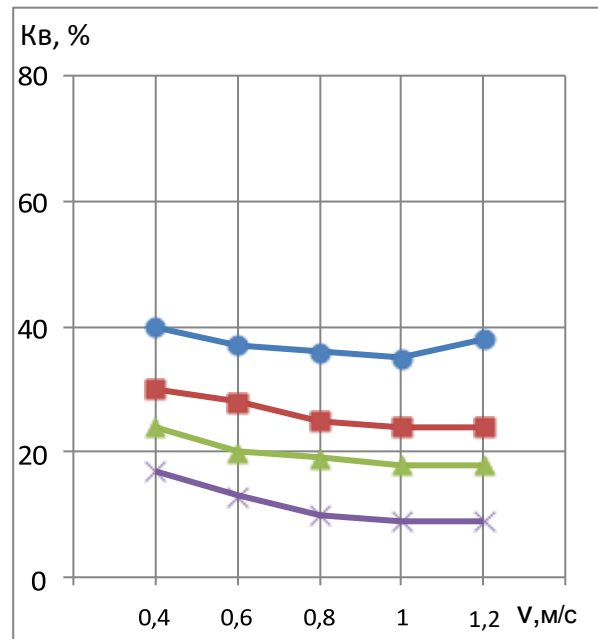
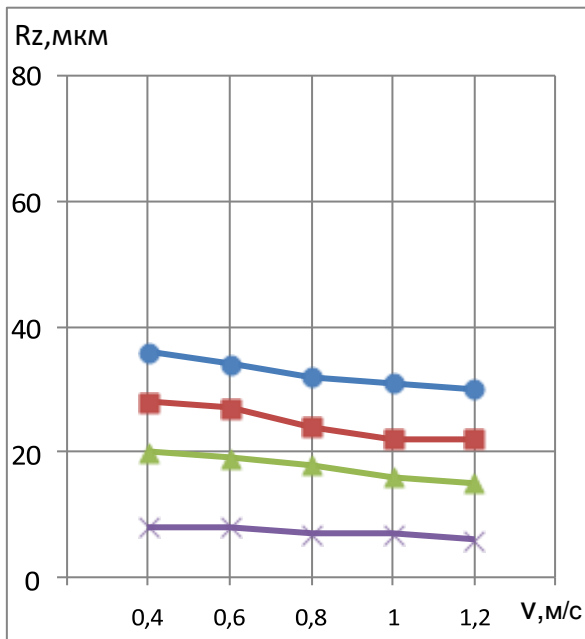


Рис 3.23. Вплив швидкості різання на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів під час свердління: ×—× — склопластика, ▲—▲— склоорганопластика, ■—■ — углеорганопластика, ●—● — органопластика.

Подача і глибина різання. При збільшенні глибини різання і подачі росте площа перетину зрізаного шару, що викликає зростання складових сили різання, підвищення роботи різання і зниження питомої енергії впливу контактних поверхонь інструменту на окремі волокна і мікрооб'ємах матриці. Це призводить до зростання шорсткості, ворсистості обробленої поверхні і ступеня деструкції полімерних складових (рис. 3.24 ÷ 3.28).

Погіршення якості обробленої поверхні при збільшенні глибини різання і подачі пов'язано також із виникненням вібрацій через дії підвищених сил різання на технологічну систему.

Як видно з графіків, для забезпечення необхідної якості поверхневого шару обробленого ПКМ необхідні значно менші значення подач, ніж при обробці металів, що пов'язано з порушеннями адгезійних зв'язків між компонентами композиту і виникненням механодеструкції полімеру.

Інструментальний матеріал. При рівному зносі ріжучого клина інструментальний матеріал практично не впливає на шорсткість обробленої поверхні, однак суттєво впливає на ворсистість обробленої поверхні через різних радіусів округлення різальної крайки і різної стійкості до макро і мікрОВикрашиванням в період підробітки.

При обробці композиційних матеріалів, армованих органічними волокнами з низьким модулем пружності і великим відносним подовженням, перевагу слід віддавати інструментальним матеріалам, для яких при заточуванні можна отримати менші радіуси округлення різальної крайки (надтверді матеріали, дрібнозернисті тверді сплави).

Для зниження ступеня деструкції полімерних складових необхідно перевагу віддавати інструментальним матеріалам з підвищеною теплопровідністю для зниження тепло напруженості процесу різання.

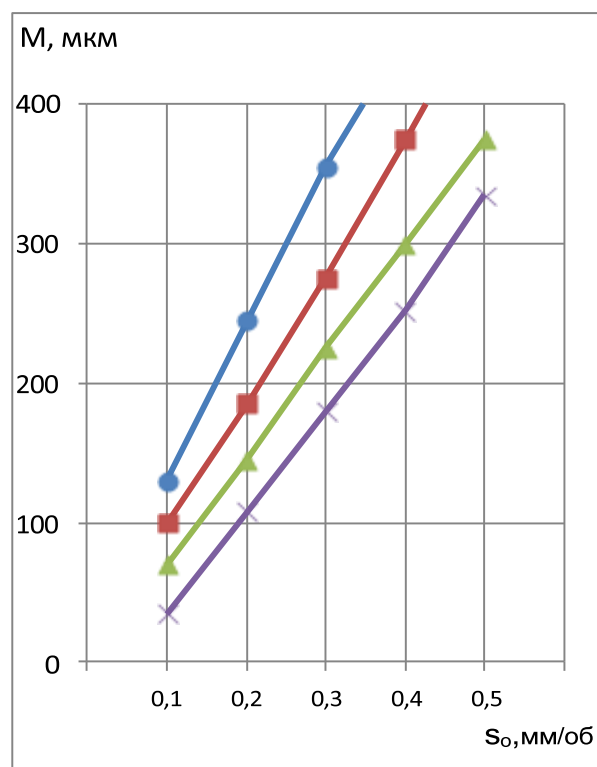
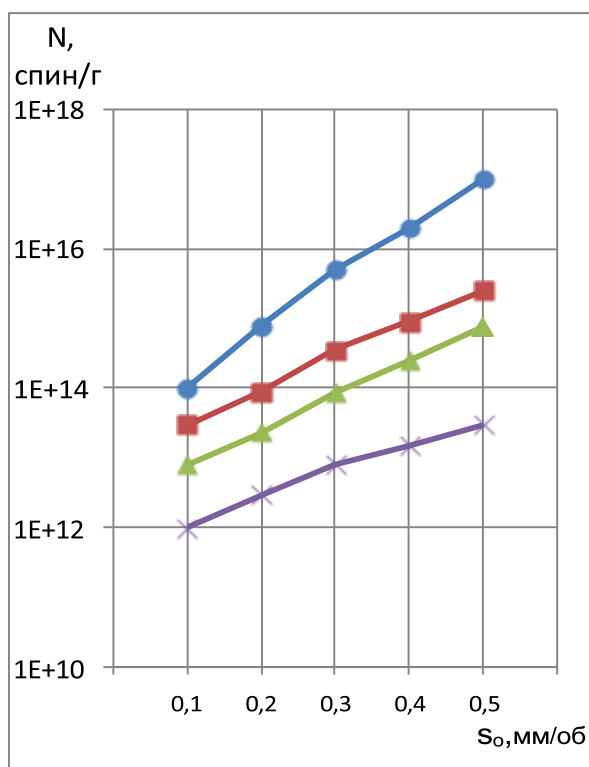
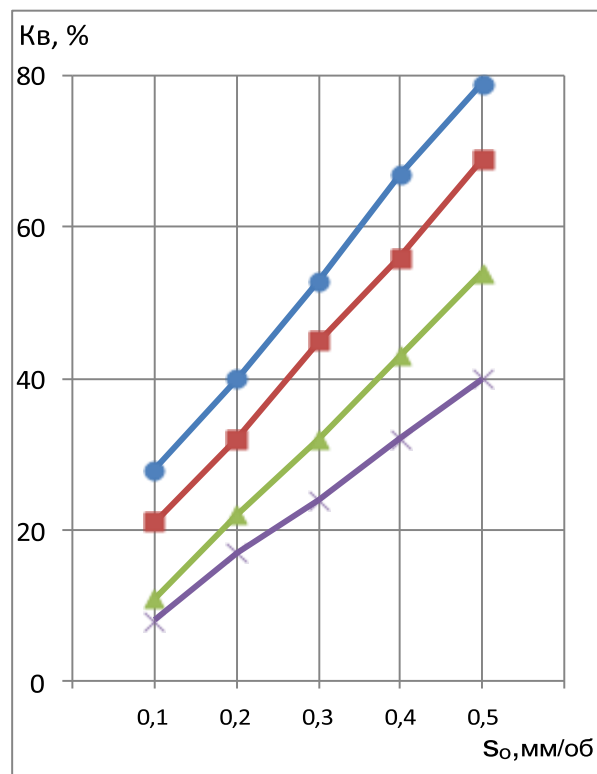
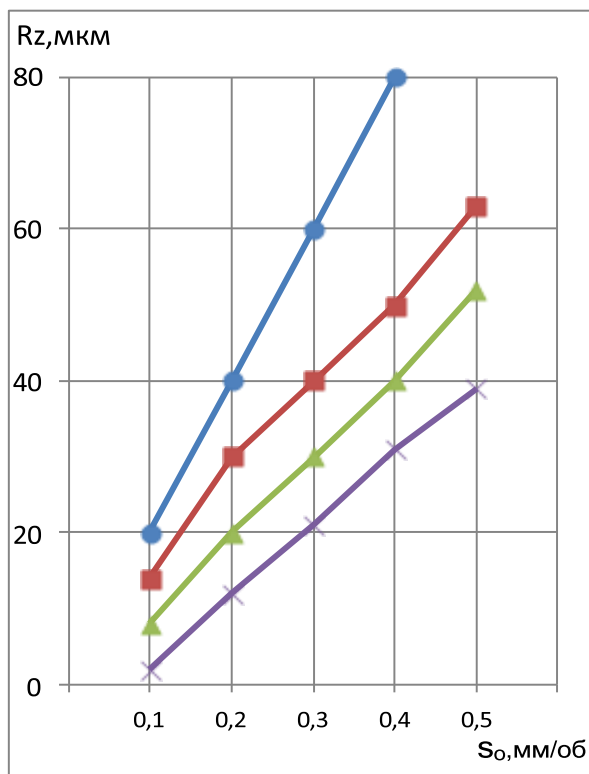


Рис 3.24. Вплив осьової подачі на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів під час свердління: ×—× — склопластика, ▲—▲ — склоорганопластика, ■—■ — углеорганопластика, ●—● — органопластика.

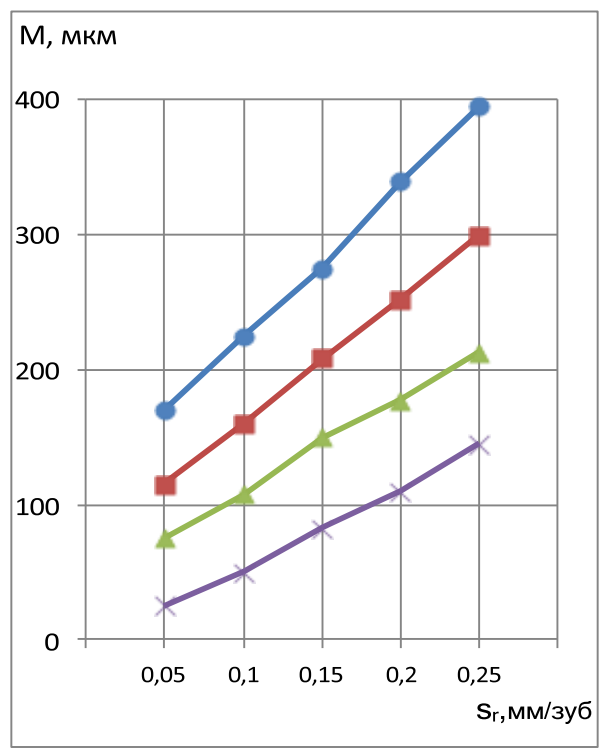
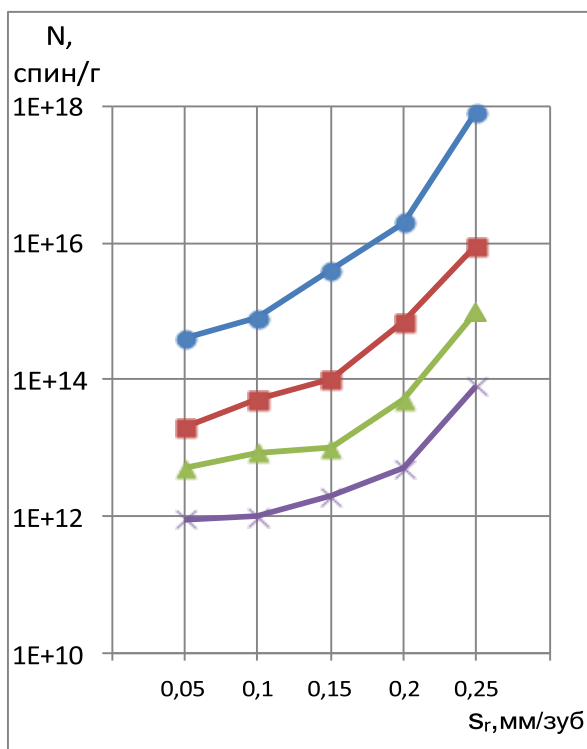
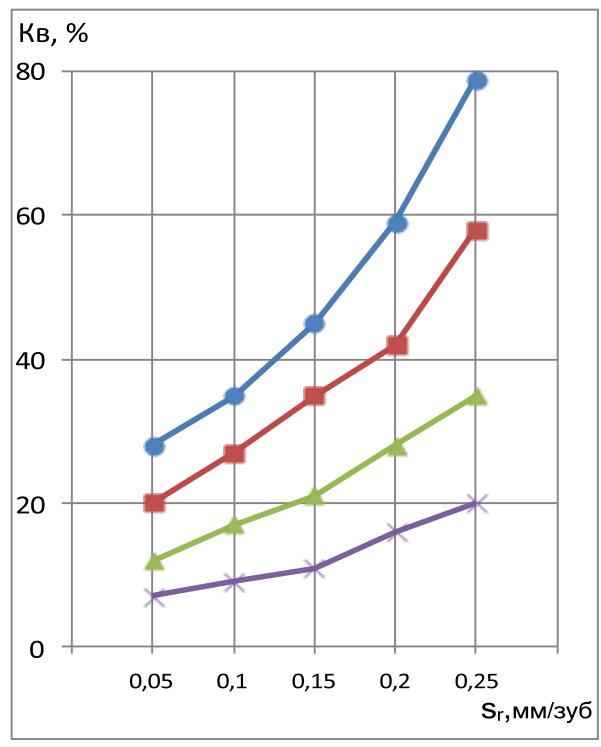
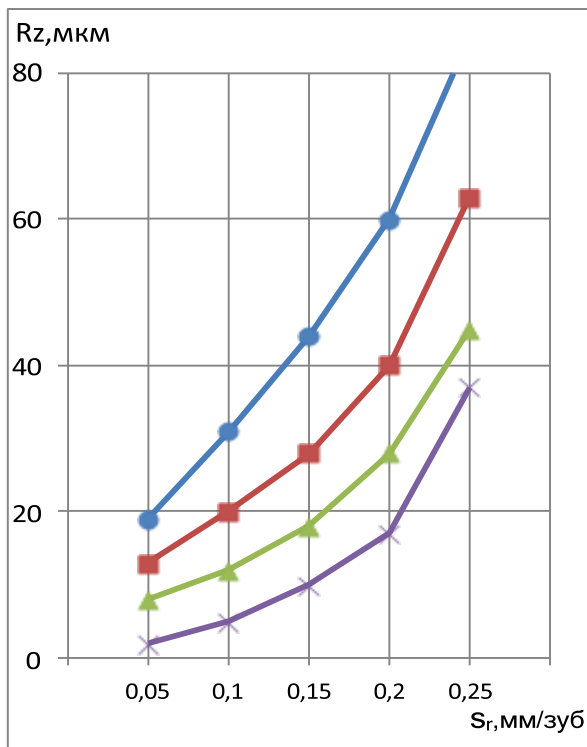


Рис 3.25. Вплив подачі на вихідні параметри якості волокнистих полімерних композитів при фрезеруванні: $\times-\times$ – склопластика, $\triangle-\triangle$ – склоорганопластика, $\blacksquare-\blacksquare$ – углеорганопластика, $\bullet-\bullet$ – органопластика.

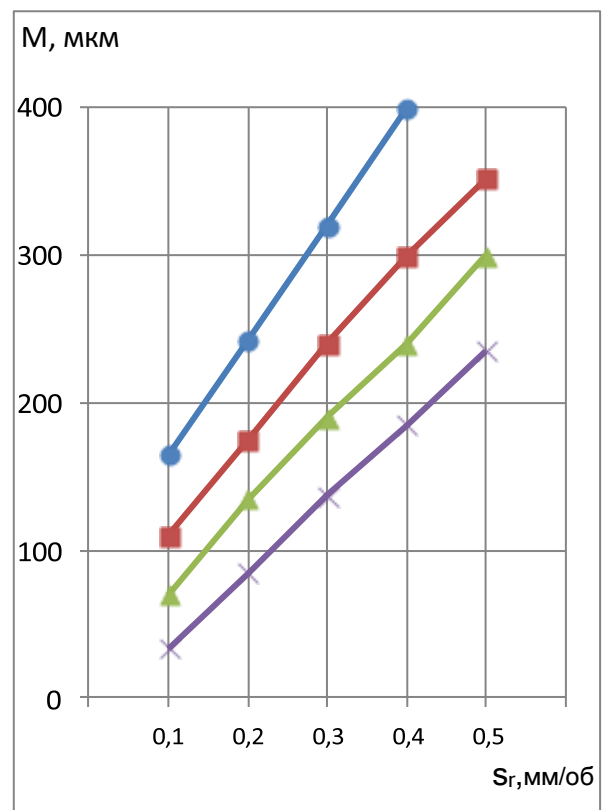
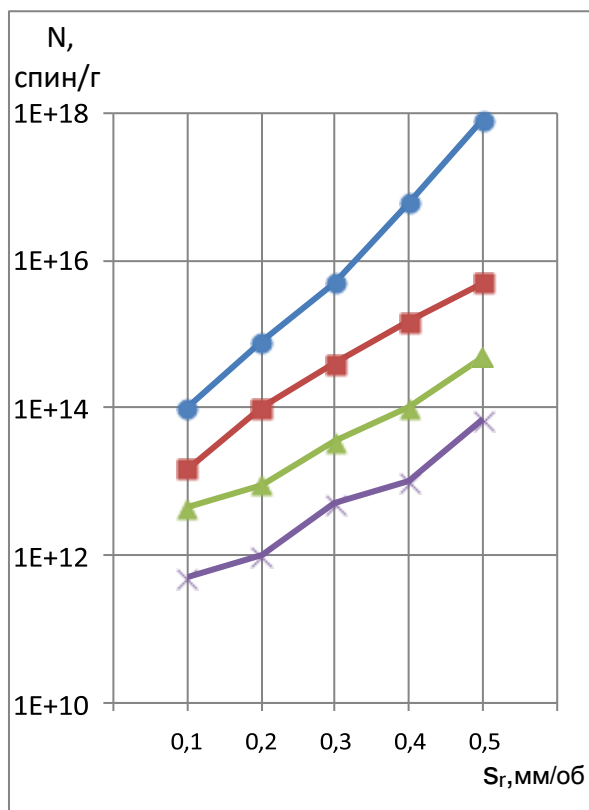
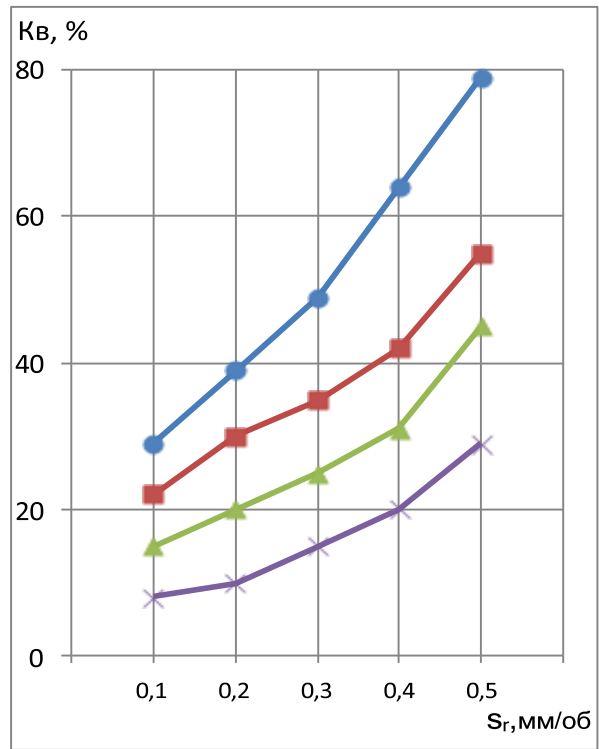
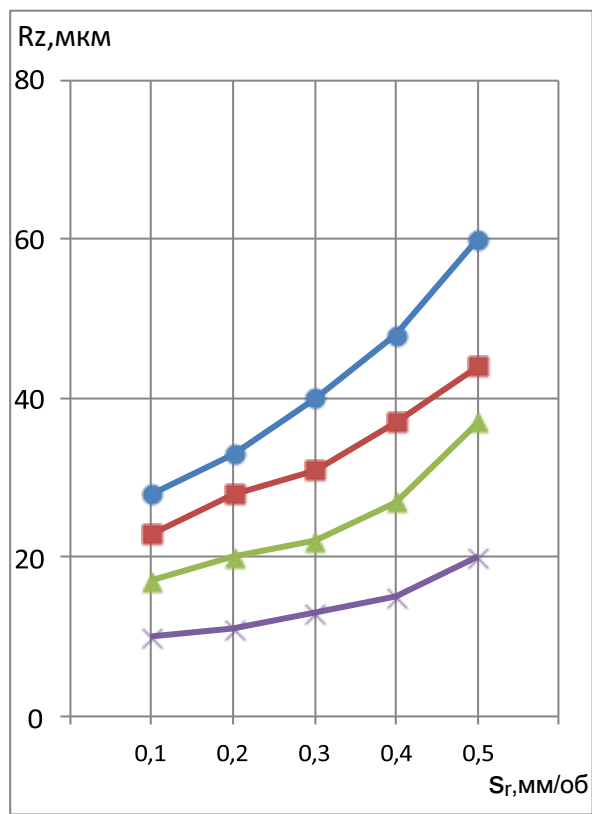


Рис. 3.26. Вплив поздовжньої подачі на вихідні параметри якості обробки волокнистих полімерів при точінні: x—x — склопластика, ▲—▲ — склоорганопластика, ■—■ — углеорганопластика, ●—● — органопластика.

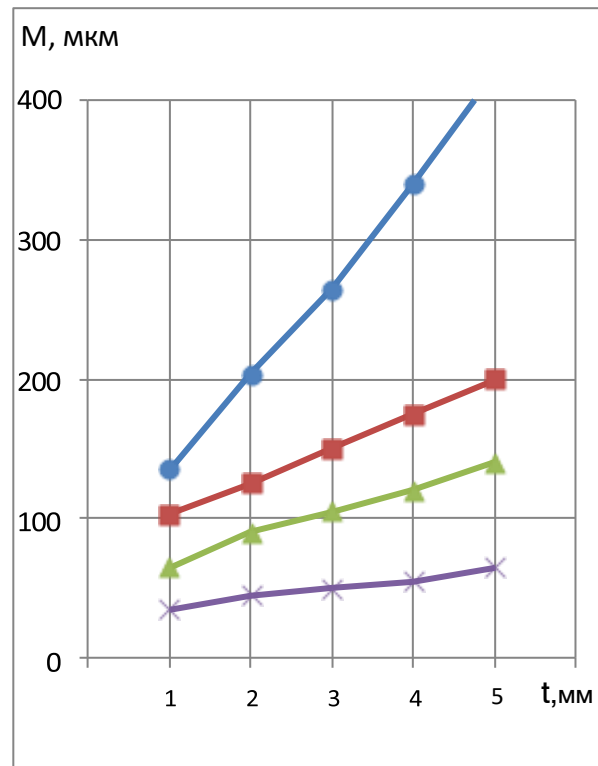
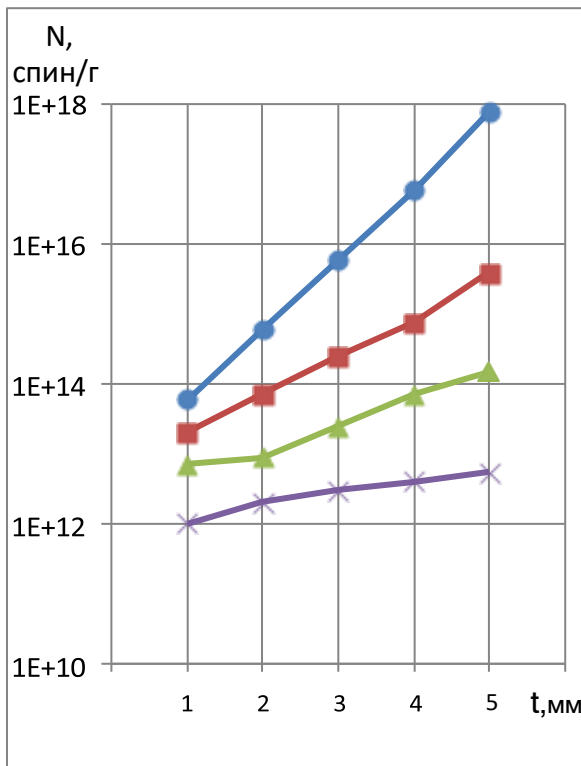
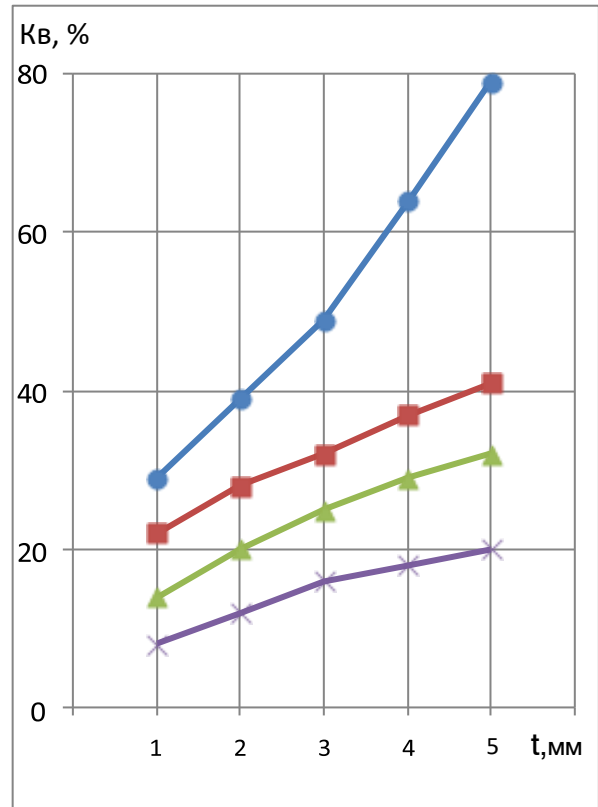
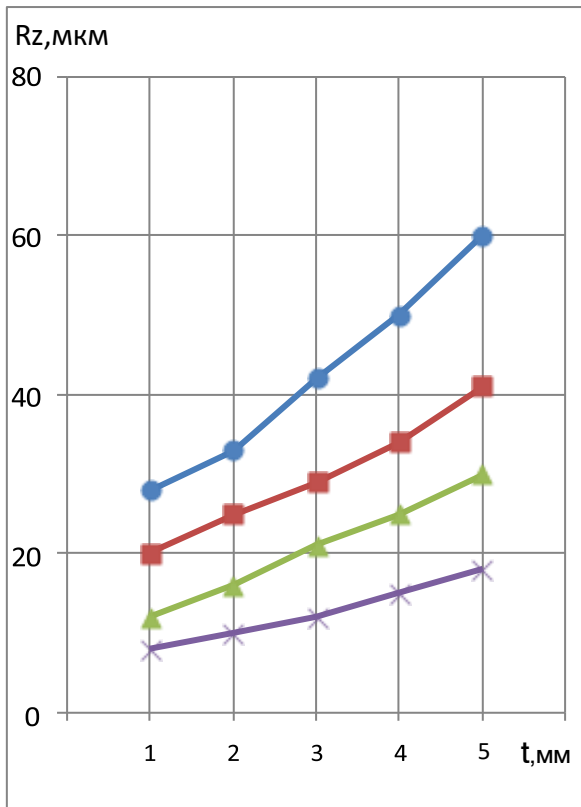


Рис. 3.27. Вплив глибини різання на вихідні параметри якості обробки волокнистих полімерів при точінні: ×—× — склопластика, ▲—▲ — склоорганопластика, ■—■ — углеорганопластика, ●—● — органопластика.

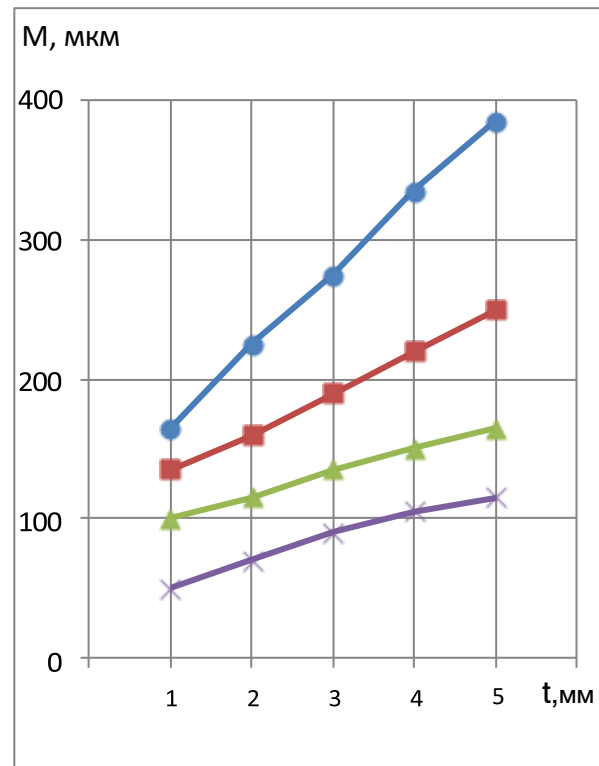
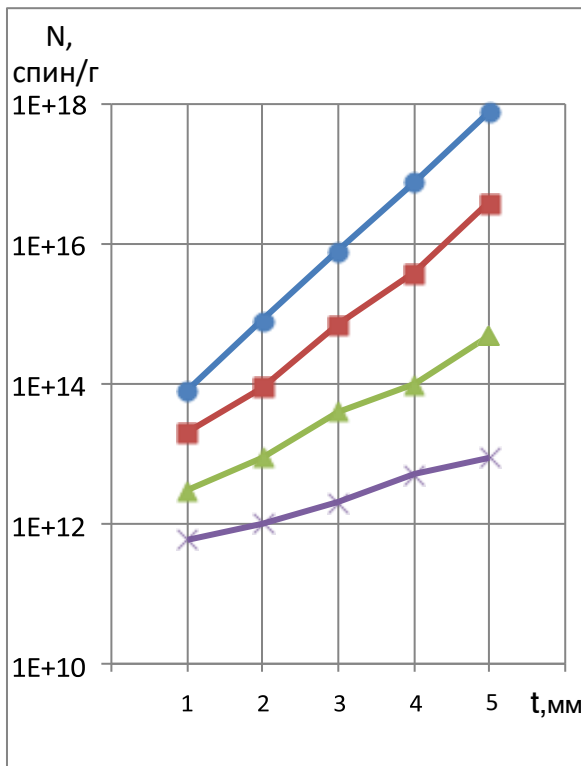
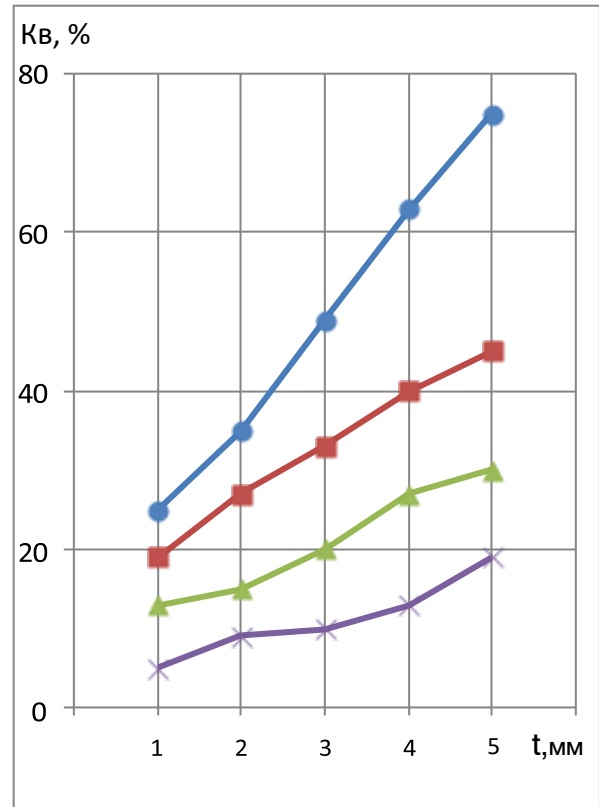
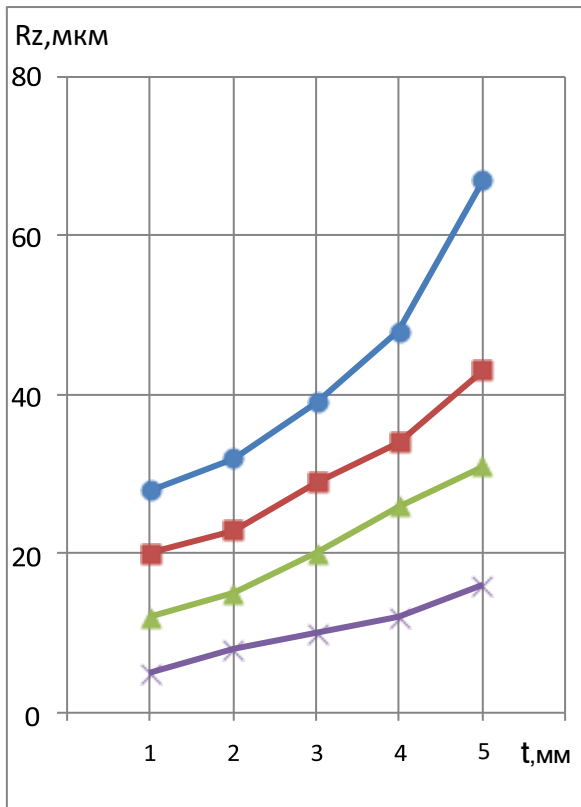


Рис. 3.28. Вплив глибини різання на вихідні параметри якості обробки волокнистих полімерних композитів при фрезеруванні: $\times-\times$ – склопластика, $\triangle-\triangle$ – склоорганопластика, $\blacksquare-\blacksquare$ – углеорганопластика, $\bullet-\bullet$ – органопластика.

З огляду на наявності механічної адсорбційної природи зносу, що призводить до аномального зниження стійкості ріжучих інструментів необхідно уникати застосування ріжучих інструментів з швидкорізальної сталі, застосовуючи тверді сплави або надтверді матеріали.

Вплив деяких інструментальних матеріалів на вихідні параметри якості обробки наведені на рис. 3.29.

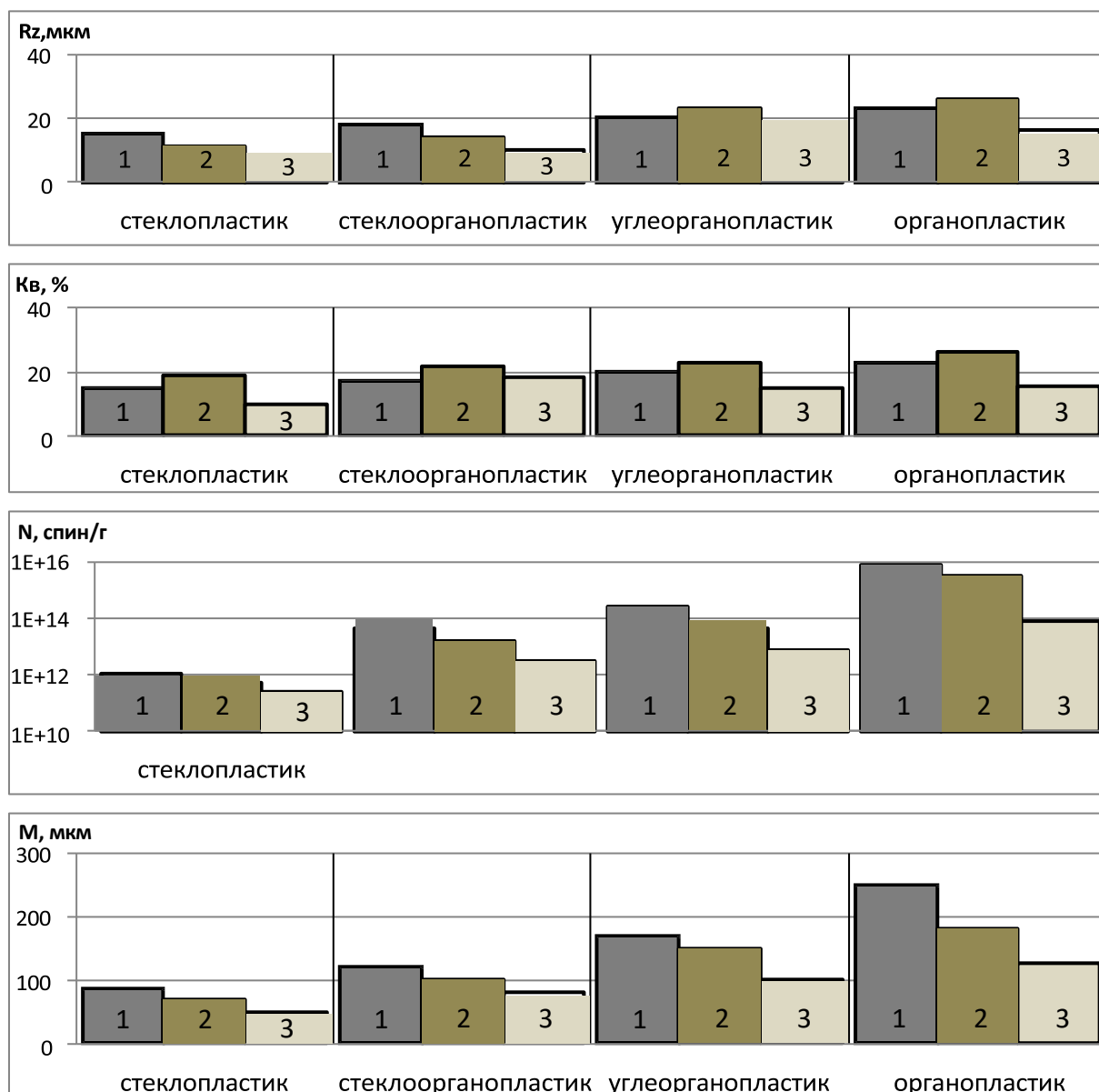


Рис. 3.29. Вплив інструментального матеріалу на вихідні параметри якості обробки волокнистих полімерних композитів при фрезеруванні: 1 – P6M5, 2 – BK8, 3 – АСБ.

Висновки

Загальні вимоги до інструментів для обробки волокнистих композитів

При обробці волокнистих полімерних композитів досі часто застосовуються стандартні металорізальні інструменти, в основу яких покладено ріжучий клин з одним лезом. Ріжучі кромки представляють собою лінії, що лежать або на площині, або на циліндричній поверхні. Такі форми ріжучого зуба ефективні при обробці металів, однак, не забезпечують належного ефекту при обробці волокнистих полімерних композитів, що, в першу чергу, відноситься до полімерів з органічним наповнювачем типу органопластика, склоорганопластика, углеорганопластика.

Аналіз інформаційних джерел і результати наших досліджень дозволили встановити, що при виборі інструментів для обробки волокнистих полімерних матеріалів необхідно враховувати:

- гетерогенність і анізотропію властивостей полімерних композитів;
- тип, довжину і відносний обсяг волокон в композиті;
- можливість порушення адгезійного зв'язку між наповнювачем і сполучною при різанні;
- факт впливу напрямку вектора відносного руху контактних поверхонь ріжучого інструменту на механізм формування поверхневого шару композитів мають волокнисту структуру;
- відмінність фізико-механічних і теплофізичних властивостей компонентів композиту;
- можливість механо-хімічного адсорбційного зносу;
- обмеження в застосуванні СОТС при обробці полімерних композитів;
- низьку теплопровідність оброблюваного матеріалу;
- малий діаметр армуючих волокон ($5 \div 10$ мкм);
- високі пружні властивості композиту;
- необхідність боротьби з вібраціями інструменту в більшості випадків через малу товщини виробів з композиційних матеріалів;

- враховувати, що при лезвійній обробці композитів використовується технологічний критерій зносу;
- специфіку процесу стружкоутворення;
- можливість роботи інструменту при високих швидкостях різання;
- обмеженість застосування покриттів через можливість збільшення радіусу округлення різальної крайки інструмента.

Аналіз вищевикладених фактів дозволяють сформулювати ряд загальних вимог до інструментального матеріалу, конструкції і геометрії ріжучих інструментів для обробки волокнистих полімерних композитів.

Інструментальний матеріал. У зв'язку з тим, що при обробки волокнистих полімерних композитів, в силу їх низьку теплопровідність, до 90% тепла йде в інструмент, а так само через наявність механохімічного адсорбційного зносу, стійкість інструментів зі швидкорізальної сталі в більшості випадків виявляється в 8-10 раз нижче від стійкості інструментів з твердого сплаву. Наявність ударних навантажень через гетерогенності структури композиту, виключає застосування інструментів з мінералокераміки. Через ударних навантажень, при використанні твердих сплавів, перевагу слід віддавати ТЗ з великим вмістом кобальту, такі матеріали дають менше мікровикрашування в період підробітки і при рівному зносі мають менший радіус округлення різальної крайки. З огляду на малі поперечні розміри волокон і їх особливі властивості, виникає необхідність використовувати загострені ріжучі інструменти з малим початковим радіусом округлення різальної крайки ($\leq 5 \div 8$ мкм). Вищевикладеним вимогам в більшій мірі відповідають дрібнозернисті тверді сплави ВК6М, ВК60М, ВК8, ВК8М і полікристалічні алмази. В силу технологічних особливостей обробки волокнистих полімерних композитів, в більшості випадків використовуються малорозмірні інструменти, тому часто використання алмазу важко, тому в якості основних інструментальних матеріалів можна рекомендувати вищезгадані тверді сплави.

Конструктивні особливості. З огляду на факт впливу напрямку вектора відносного руху контактних поверхонь ріжучого інструменту на механізм

формування поверхневого шару композитів мають волокнисту структуру, при проектуванні інструментів і виборі схеми різання необхідно прагнути до забезпечення взаємного положення ріжучої кромки і умовних осей волокон відповідно до рис. 3.30, тобто, грубо кажучи, волокна повинні бути нахилені назустріч руху контактних поверхонь інструменту.

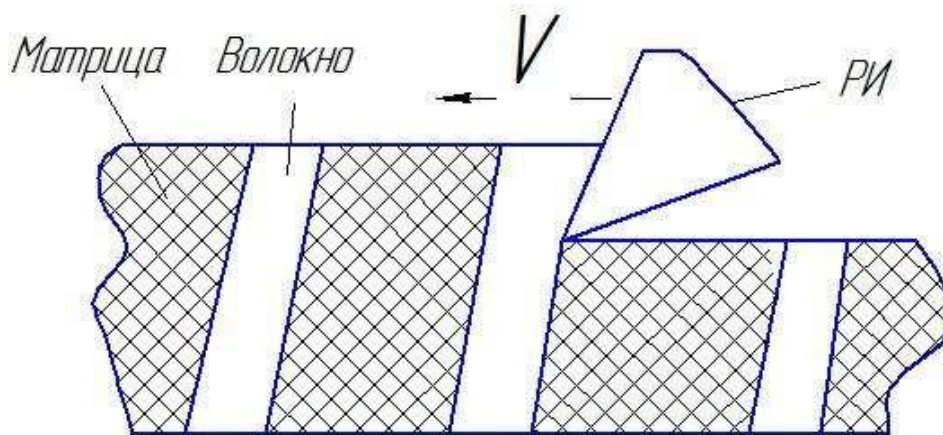


Рис. 3.30. Взаємне розташування напрямку руху інструменту і волокон, при якому забезпечується найбільш ефективний зріз.

У зв'язку з тим, що при обробці полімерних композитів стружка має мілкодисперсну структуру, її кількість може досягати значних обсягів створюючи передумови для пакетування в стружкових канавках, тому при проектуванні інструментів необхідно передбачати достатній їх обсяг, а поверхня повинна мати низьку шорсткість (аж до полірування).

У зв'язку з високими пружними властивостями полімерів, при їх обробці спостерігається пружне відновлення оброблюваного матеріалу, що призводить до зростання радіальної складової сили різання і відповідно сили тертя по задній поверхні. У зв'язку з цим інструмент повинен бути загостреним або мати мінімальні (не більше 50 мкм) технологічні стрічки, а прикромочні ділянки передньої і задньої поверхні мати шорсткість не вище $1 \div 2$ мкм.

З огляду на, що в більшості випадків, композит має складну структуру і є небезпека відшарування граничних шарів при обробці, необхідно передбачити конструктивні особливості інструментів, щоб уникнути цього (різноспрямовані ріжучі кромки, підрізання ріжучі кромки, комбінації різноспрямованих різальних крайок із зустрічно-спрямованими).

При проектуванні багатозубих інструментів, що мають при роботі великі окружні швидкості, намагатися мінімізувати схильність інструменту до виникнення вібрацій, що особливо актуально при обробці композиційних матеріалів, в силу їх структурних особливостей. Одним із шляхів рекомендується для кінцевих інструментів замінювати плоску торцеву частину сферичної або застосовувати сферичні фрези. Забезпечувати повну симетрію інструменту, передбачати мінімальні вильоти інструменту і можливість демпфірування коливань.

Геометричні параметри ріжучої частини.

З огляду на можливість порушення адгезійних зв'язків між волокнами і матрицею в композиті при різанні, що створює неприпустимо низьку якість поверхневого шару необхідно уникати впливу на композит напружень стиску уздовж волокон і мінімізувати напруження згину, а руйнування волокон має відбуватися, переважно, під дією дотичних напружень. Для забезпечення вищевикладених умов, кут нахилу головної різальної крайки (кут нахилу гвинтового зуба) повинен бути максимальним $50 \div 65^\circ$. Допускаючи, все ж, що деякі волокна можуть бути не зрізані, застосувати багатокромочні інструменти.

З огляду на, що радіус округлення різальної крайки інструмента, в більшості випадків можна порівняти з товщиною зрізу, при обробці композиційних матеріалів, передній кут не робить істотного впливу на процес різання, тому рекомендується приймати його рівним або близьким 0° [40].

З огляду на значне пружне післядія композиту на задню поверхню інструмента, з метою зменшення фактичної площі контакту по задній поверхні, а отже і зменшення сил на задній поверхні, рекомендується приймати задні кути інструменту на рівні $18 \div 25^\circ$ (в деяких випадках $27 \div 30^\circ$).

Радіус округлення ріжучих інструментів після заточування повинні складати не більше $5 \div 10$ мкм. Технологічний критерій зносу ріжучих інструментів, як правило, повинен складати не більше 0,15 мм, при обробці полімерів армованих органічними волокнами його знижують до $10 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, в залежності від матеріалу і виду обробки.

РОЗДІЛ 4

ДИДАКТИЧНИЙ ПРОЄКТ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ З ТЕМИ «ПРОЦЕС РІЗАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ЗА РАХУНОК СТВОРЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ УМОВ РУЙНУВАННЯ ВОЛОКНИСТОГО НАПОВНЮВАЧА» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА. МАШИНОБУДУВАННЯ»

Технічний прогрес породжує, з одного боку, необхідність розробки нових матеріалів, а з іншого - значною мірою обумовлюється результатами цих розробок. З'являючись внаслідок природного прагнення до вдосконалення існуючих виробів, нові матеріали відкривають можливості для реалізації нових конструкторських і технологічних рішень. В даний час перспективи прогресу в багатьох галузях пов'язують із широким застосуванням полімерних композитів, на що вказує тенденція збільшення випуску виробів з цих матеріалів.

Полімерні композити володіють комплексом властивостей і особливостей відрізняються від металевих сплавів, і відкривають широкі можливості для вдосконалення виробів. Найбільшими споживачами виробів з полімерних композитів є аерокосмічна, автомобільна, суднобудівна, приладобудівна галузі.

Існує дві великі групи оброблюваних полімерних композитів. Першу з них складають волокнисті полімерні композити типу склопластиків, органопластиків, склоорганопластиків, вуглепластиків. Ці матеріали забезпечують суттєвий виграш в масі, міцності, довговічності виробів, що випускаються.

Іншу групу складають аморфні полімери, серед яких в останнє десятиліття великих обсягів виробництва досягли оптичні полімерні композити. Утворюються вони шляхом полімеризації мономерів (стиролу) і люмінесцируючих добавок. Найважливіші їх характеристики - прозорість, світлопоглинання, в силу чого вони знаходять широке застосування при створенні детекторів для нового покоління прискорювачів елементарних частинок, оптико-волоконного зв'язку, дозиметрів.

Самим поширеним технологічним процесом формоутворення виробів з полімерних композитів є механічна обробка лезвійним інструментом, потенційно здатна забезпечити стабільно високі експлуатаційні характеристики виробів.

В даний час досягнення в області механіки руйнування композити дають можливість з позиції теорії мікро - і макроруйнування вивчити процес різання цих матеріалів, запропонувати нові підходи до створення технології процесу різання.

Розглядаючи різання як процес керованого руйнування матеріалів, можна оцінити вплив різних технологічних факторів, що супроводжують відділення зрізаного шару від заготівлі, визначити оптимальні параметри процесу обробки, дати рекомендації для розробки найбільш ефективних способів та реалізувати їх за допомогою елементів технологічної системи, управляти формуванням поверхневого шару виробів.

Механіка різання композитних матеріалів є головною ланкою, що визначає деформаційні і контактні процеси в зоні обробки, та, по суті, є ключем до нових технологічних рішень, що забезпечує високу надійність процесу, необхідний високий рівень функціональних властивостей і мінімальну собівартість виробів.

Для виконання цих завдань потрібні висококваліфіковані фахівці, саме таких готує Українська інженерно-педагогічна академія за спеціальністю «Професійна освіта. Машинобудування».

Стратегічні цілі: стати кваліфікованим спеціалістом у галузі металообробки, одержати знання, уміння та навички для того щоб надалі бути затребуваним на ринку труда та праці.

Дисципліна з якої буде розроблятися факультативне заняття: «Теорія різання» з теми: «Процес різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача».

4.1 Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей)

Оперативні цілі - це проекти чи програми, які забезпечуватимуть досягнення стратегічних цілей. Вони визначають стратегічні цілі кількісно та мають терміни виконання

Відповідно до теорії В.П. Беспалько, існують чотири рівні засвоєння навчального матеріалу:

В межах нашої теми ми формулюємо цілі до 4 рівня сформованості, тому що передбачаємо творчий підхід студентів до виконання завдання теми.

В таблиці 4.1 приведено оперативні цілі з теми.

Таблиця 4.1

Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей)

Цілі факультативного заняття	Цілі формування різних рівнів засвоєння навчального матеріалу	Умови досягнення	Результат у вигляді дій студентів
Сформувані вміння визначати, характеризувати та аналізувати особливості процесу різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача	I рівень. Мати загальне уявлення полімерні композити, процес їх різання та обробки	Базові знання з дисципліни «Теорія різання» стосовно теми	Сформовані вміння охарактеризовувати поняття «Полімерні композити», називати галузь їх використання, описувати процес їх обробки різання

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4
	II рівень. Сформувати визначати та описувати сутність існуючих шляхів удосконалення процесу різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача	Виконання дій першого рівня	Сформовані вміння визначати та описувати шляхи удосконалення процесу різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача
	III-IV рівень. Сформувати вміння надавати свої власні пропозиції щодо розробки та впровадження нових підходів до технології різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача, аналізувати результати впровадження нових підходів	Виконання дій першого та другого рівнів	Сформовані вміння надання свої власні пропозиції щодо розробки та впровадження нових підходів до технології різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача, аналізувати результати впровадження нових підходів

4.2 Перелік літературних джерел з теми

1. Абрамов С. О. Підвищення експлуатаційних характеристик і властивостей колекторних вузлів на основі покращення технології виготовлення ламелей : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Абрамов Сергій Олексійович ; МОН України, Луцький нац. техн. ун-т. – Луцьк, 2019. – 24 с.

2. Абрашкевич Ю. Д. Процеси гнучких виробництв : навч. посіб. / Ю. Д. Абрашкевич, Л. Є. Пелевін, О. А. Марченко ; Київський нац. ун-т будівництва і архітектури. – Київ : КНУБА, 2019. – 212 с. – Бібліогр.: с. 209-210.

3. Бадір К. К. Покращення експлуатаційних характеристик підшипників кочення шляхом використання технології фінішної магнітно-турбулентної очистки : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Бадір Карім Кашаш ; МОН України, Луцький нац. техн. ун-т. – Луцьк, 2019. – 24 с.

4. Барандич К. С. Технологічне забезпечення циклічної довговічності деталей при їх токарному обробленні : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Барандич Катерина Сергіївна ; МОН України, Нац. техн. ун-т України "КПІ імені І. Сікорського". – Київ, 2018. – 22 с.

4.3 Конструювання дидактичних матеріалів: аналіз структури навчального матеріалу факультативного заняття

План викладення теми: «Процес різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача»:

1. Загальні відомості про процес різання полімерних композитів
2. Аналіз контактної взаємодії інструмента і заготовки при механічній обробці полімерних композитів
3. Систематизовані показники якості обробки полімерних композитів
4. Математичні методи моделювання для розробки шляхів удосконалення процесу різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача

4.1 Регресійні моделі

4.2 Моделі, що базуються на методології поверхні відгуку (RSM)

4.3 Підхід «soft computing»

4.4 ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System)

4.5 Адаптивна мережа нечіткого виведення

5. Напрямки вирішення задачі підвищення якості технологічного забезпечення механічної обробки полімерних композитів

5.1 Оптимізація з обмеженнями нелінійної цільової функції декількох змінних

5.2 Багатопараметрична оптимізація нелінійної цільової функції за критеріями якості

6. Дефекти обробки, що виникають в процесі різання полімерних композитів

6.1 Розшарування

6.2 Сколи кромek

6.3 Термічна деструкція

6.4 Розпушування

6.5 Міжшарові тріщини

6.6 Витягування волокон

6.7 Відхилення форми

6.8 Відхилення розміру

6.9 Шорсткість

6.10.Ворсистість

7. Шляхи усунення можливих дефектів

8. Сутність розробки та впровадження нових підходів до технології різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача

На рисунку 4.1 представимо структурно-логічну схему з теми «Процес різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача».

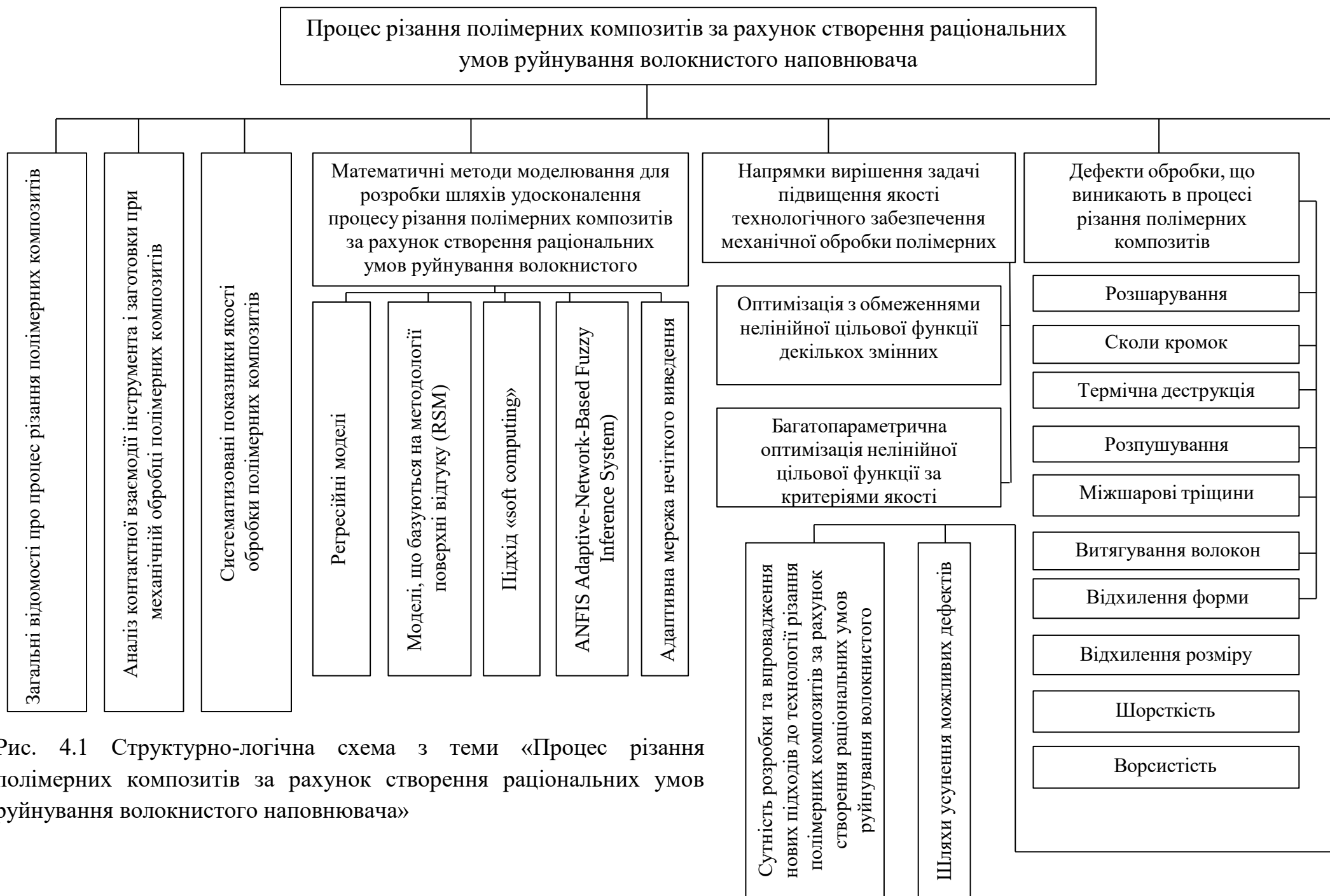


Рис. 4.1 Структурно-логічна схема з теми «Процес різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача»

4.4 Аналіз базових умов навчання

Базові знання - це початкова умова, яка необхідна для вивчення нового матеріалу.

В таблиці 4.2 приведено вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань

Таблиця 4.2

Вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань

Перелік базових понять	Назва дисциплін і тем, в яких формуються базові знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівнів розуміння базових понять	Способи формування базових знань
Полімери Види полімерів Полімерні композити Процес різання полімерів Обладнання для різання полімерних композитів	«Теорія різання»	Усне фронтальне опитування, за допомогою контрольних питань: 1. Що таке полімер? 2. Які види полімерів існують? 3. Які властивості мають полімерні композити? 4. В чому полягає процес різання полімерних композитів? 5. Яке обладнання використовують при різанні полімерних композитів?	Якщо базові знання знаходяться на незадовільному рівні, то необхідно нагадати головні аспекти шляхом нагадування та повторення

4.5 Проєктування мотиваційних технологій навчання (характеристика і текст мотивації, використання якої доцільно при викладі навчального матеріалу)

Мотивація займає провідне місце в структурі поведінки особистості і є одним з основних понять, які використовуються для пояснення рушійних сил, діяльності в цілому. Мотив, мотивація - спонукання до активності та діяльності суб'єкта, пов'язане з прагненням задовольнити певні потреби.

Виділяють внутрішню і зовнішню мотивацію. Якщо діяльність для особистості значуща сама по собі, то говорять про внутрішню мотивації, якщо ж значимі зовнішні атрибути професії (визнання суспільства, престижність тощо) - переважає зовнішня мотивація, в більшості випадків зовнішня мотивація для студентів реалізується через можливість отримання або не отримання позитивної оцінки. Тому для нашого заняття будемо використовувати внутрішню. В таблиці 4.3 наведено способи реалізації мотивації.

Таблиця 4.3

Визначення способів реалізації мотивації

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація
1	3
Вступна мотивація Приєм: віднесення до ситуації	Полімерні композиційні матеріали (ПКМ), як і інші композиційні матеріали (КМ), мають набір специфічних властивостей і особливостей, що якісним чином відрізняють їх від металів і сплавів. Механічна обробка композитів також має корінні відмінності від обробки традиційних металевих заготовок. Найбільшого поширення в різних галузях промисловості отримали ПКМ, у яких елементами армування виступають скляні, вуглецеві, борні або органічні волокна.

1	2
	Матеріали такого класу забезпечують міцність і довговічність конструкцій при зниженні ваги. В даний час найбільш динамічне розвивається застосування волокнистих полімерних композитів (ВПК), що, в свою чергу, вимагає покращення методів їх обробки, поліпшення якості поверхні і точності виробів. Механіка обробки ПКМ, перш за все, повинна базуватися на підході до різання як до процесу спрямованого руйнування крихких неоднорідних матеріалів. Це є ключем до появи нових технологічних рішень при розробці операції механічної обробки, що забезпечують високу продуктивність і якість процесу. Головними напрямками в області обробки ПКМ, безумовно, є: вибір марки інструменту і його кутів заточування; визначення оптимальних технологічних параметрів різання; реалізація системи управління якістю в процесі виробництва. Отже, узагальнення механічної обробки виробів з полімерних композиційних матеріалів на основі механіки руйнування, раціональне призначення інструментального забезпечення, а також оптимізація розрахунку технологічних режимів обробки для досягнення високої якості у вигляді мінімального розшарування, продуктивності різання при максимальній стійкості інструменту, є актуальною і важливою. Саме з цим питанням на сьогоднішньому занятті ми і розберемося.

4.6 Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті

Проектування технологій формування орієнтовної основи діяльності (ООД) включає вибір типу навчання, його структурних елементів, а також методів і прийомів їх реалізації.

Етапи процесу формування нових знань:

- актуалізація чуттєвого досвіду й опорних знань і вмінь;
- формування пізнавальних і професійних мотивів;
- аналіз мети повідомлення;
- первинне усвідомлення і сприйняття учнями інформації про ООД;
- осмислення внутрішніх закономірностей і зв'язків з іншими вивченими поняттями і явищами;
- узагальнення і систематизація понять згідно з досвідом практичної діяльності;
- підбиття підсумків.

Вибір методів, форм та засобів формування ООД наведено в таблиці 4.4

Таблиця 4.4

Способи формування ООД на факультативному занятті

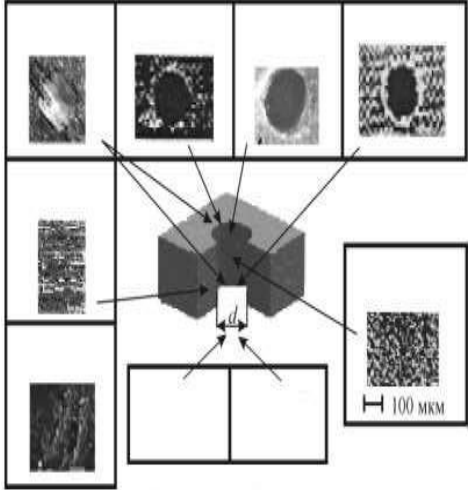
Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
I- IV	Фронтальна	Лекція, пояснення з елементами розповіді, ілюстрація, демонстрація	Презентаційні слайди з теми, методичне забезпечення, довідкова література

4.7 Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті

Вибір методів, форм та засобів формування виконавчих дій наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
I, II, III	Фронтальна	Робота з картками - завданнями	Завдання: Назвіть та охарактеризуйте представлені на рисунку дефекти обробки, що виникають в процесі різання полімерних композитів, визначить причини їх виникнення 

4.8 Проєктування контрольних дій з теми

Проєктування системи контролю є одним з важливих видів діяльності викладача. Контроль дає можливість визначити, наскільки чітко досягнута мета навчання, які недоліки процесу навчання і що слід зробити, щоб застосувати нові технології навчання

Оцінювання будемо проводити в межах III-IV рівнів засвоєння навчального матеріалу.

Вибір методів, форм та засобів формування контрольних дій наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Засоби контролю з теми факультативного заняття

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
III-IV	Фронтальна (студенти працюють над однаковим завданням)	Контроль на робота	Визначить, опишіть та проаналізуйте сутність розробки та впровадження нових підходів до технології різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача. Свою відповідь обґрунтуйте та підготуйте тезисні висновки для презентаційного представлення.

4.9 Розробка сценарію факультативного заняття

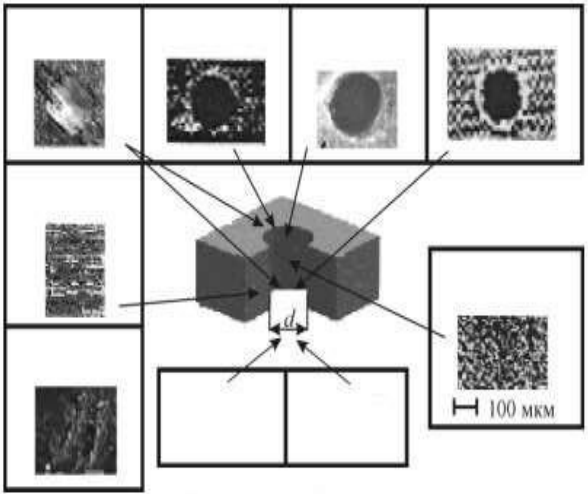
Сценарій навчання з теми заняття на тему: «Процес різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача» наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

Сценарій навчання з теми заняття

№ п/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	Організаційний момент	Викладач вітає, фіксує відсутніх, перевіряє зовнішню обстановку в аудиторії. Студенти вітають викладача, підтверджують присутність у момент переклички, формують настрій на здійснення навчальної діяльності
2	Повідомлення теми і мети заняття, мотиваційний момент	Повідомлення теми заняття: «Процес різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача». Мета: сформувати вміння визначати, характеризувати та аналізувати особливості процесу різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача. Викладач пояснює важливість вивчення теми (повний текст мотивації наведений у таблиці 4.3). Студенти фіксують тему, сприймають цілі, формують уявлення щодо результатів засвоєння матеріалу теми даного заняття та важливості вивчення теми.
3	Актуалізація базових	Проведення усного фронтального

1	2	3
	знань	опитування, за допомогою контрольних питань: 1. Що таке полімер? 2. Які види полімерів існують? 3. Які властивості мають полімерні композити? 4. В чому полягає процес різання полімерних композитів? 5. Яке обладнання використовують при різанні полімерних композитів? Якщо студенти не можуть відповісти на питання, стисло нагадує основні моменти базовому матеріалу. Студенти слухають питання, відповідають на них. Доповнюють відповіді один одного
4	Формування ООД	Викладач викладає новий матеріал за планом: 1. Загальні відомості про процес різання полімерних композитів 2. Аналіз контактної взаємодії інструмента і заготовки при механічній обробці полімерних композитів 3. Систематизовані показники якості обробки полімерних композитів 4. Математичні методи моделювання для розробки шляхів удосконалення процесу різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача 5. Напрямки вирішення задачі підвищення якості технологічного забезпечення механічної обробки полімерних композитів 6. Дефекти обробки, що виникають в процесі різання

1	2	3
		полімерних композитів 7. Шляхи усунення можливих дефектів 8. Сутність розробки та впровадження нових підходів до технології різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача В ході викладу використано наступні методи та засоби: метод лекції з елементами пояснення, розповідь, ілюстрація, демонстрація. Студент сприймають інформацію, конспектують
5	Формування ВД	Робота з картками-завданнями. Завдання: Назвіть та охарактеризуйте представлені на рисунку дефекти обробки, що виникають в процесі різання полімерних композитів, визначить причини їх виникнення 
6	Формування КД	Викладач оголошує студентам завдання: Визначить, опишіть та проаналізуйте сутність розробки та впровадження нових підходів до технології різання

1	2	3
		полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача. Свою відповідь обґрунтуйте та підготуйте тезисні висновки для презентаційного представлення. Студенти виконують завдання та виступають з результатами своїх відповідей.
7	Підбиття підсумків	Узагальнення засвоєного шляхом нагадування в узагальненому вигляді основних питань, розглянутих на занятті. Відновлення в пам'яті основних моментів матеріалу заняття. Виставлення оцінок за заняття.

Висновки до розділу 4

В четвертому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено дидактичний проект факультативного заняття з теми «Процес різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача» для фахівців машинобудівної галузі. Були сформульовані цілі факультативного заняття, обрані літературні джерела з теми, проведено конструювання дидактичних матеріалів, аналіз структури навчального матеріалу факультативного заняття, розроблений план та структурно-логічна схема з теми «Процес різання полімерних композитів за рахунок створення раціональних умов руйнування волокнистого наповнювача», проаналізовані базові поняття, визначені способи перевірки та формування базових знань, розробили характеристику і текст мотивації, використання якої доцільно при викладі навчального матеріалу, були спроектовані технології

формування орієнтовної основи діяльності, виконавчих та контрольних дій на факультативному занятті, розроблений сценарій заняття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс] : підруч. / В. П. Головенкін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf
2. 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.
3. 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.
4. Лебедик Л.В., Стрельніков В.Ю., Стрельніков М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельніков, М. В. Стрельніков. – Полтава : АСМІ, 2020. – 303 с.
5. Методика професійної освіти : навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компрінт, 2024. – 224 с.
6. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УПА, 2024. – 82 с.
7. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

8. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

9. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт. : О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

10. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>

11. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>

12. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>

13. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>

14. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>

15. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богуслаєв А.И. Технологія виробництва авіаційних двигунів. / А.И. Богуслаєв, О.Я. Каган, А.І. Долматов Частина II. – Запоріжжя.: Видовн.комплекс ВАТ «Мотор Січ», 2005. – 557с.
2. Вerezub Н. В. Підвищення ефективності вібраційного різання волокнистих полімерних композитів / Н. В. Вerezub, А. П. Тарасюк // Вісник східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. - Луганськ. - 2005. - №11. - с. 80-85