

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Тарасюк Анатолій Петрович

УДК 621.91:678.5

**НАУКОВІ ОСНОВИ РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ
МОЖЛИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ЗА
РАХУНОК СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПРОЦЕСІВ
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ**

Спеціальність: 05.03.01 – процеси механічної обробки,
верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків - 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі металорізального обладнання та транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Верезуб Микола Володимирович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри інтегрованих технологій
машинобудування ім. М.Ф. Семко

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Якубов Февзі Якубович,
Кримський державний інженерно-
педагогічний університет,
ректор, завідувач кафедри технології
машинобудування

доктор технічних наук, професор
Фадєєв Валерій Андрійович,
державне підприємство «ФЕД» Хар-
ківський машинобудівний завод, голо-
вний інженер

доктор технічних наук, професор
Мироненко Євгеній Васильович,
Донбаська державна машинобудівна
академія, професор кафедри метало-
ріжучих верстатів і систем

Захист дисертації відбудеться « ____ » жовтня 2011 р. о ____ годині на засі-
данні спеціалізованої вченої ради Д64.050.12 у Національному технічному універси-
теті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрун-
зе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного
університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків, вул. Фрунзе, 21).

Автореферат розісланий « ____ » _____ 2011 г.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.А. Пермяков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Волокнисті полімерні композити (ВПК) є основним класом матеріалів, що задовольняють таким вимогам, як забезпечення мінімальної маси конструкцій, максимальної міцності, твердості, надійності та довговічності при роботі в важких умовах навантаження, у тому числі при високих тисках і температурах. В останні десятиліття темпи виробництва композиційних матеріалів постійно зростають в основному завдяки їхньому застосуванню в ракетній, авіакосмічній техніці та автомобілебудуванні.

У той же час, завдяки зниженню вартості, композиційні матеріали почали широко використовувати в інших галузях: транспорт, хімічне машинобудування, медицина, виробництво товарів народного споживання.

Технологію виробництва композиційних матеріалів прийнято вважати наукомісткою областю. Іноді потрібне десятиліття, щоб досконало відпрацювати конструкцію та технологію виготовлення виробів з нових ВПК. Широке застосування волокнистих полімерних композиційних матеріалів стримується через проблеми забезпечення якості поверхневого шару при їхній механічній обробці.

Основні проблеми пов'язані з тим, що відмінність пружних та міцнісних властивостей зв'язки та наповнювача в композиційному матеріалі приводить до масового розриву адгезійних зв'язків між волокнами та матрицею під дією механічних сил і температури в поверхневому шарі матеріалу при різанні та його руйнування по поверхнях розділу структурних компонентів. Це викликає виникнення специфічного дефекту – “ворсяності” обробленої поверхні. Крім цього відбувається термомеханічне деструктування полімерних складових композиту. Глибина дефектного шару при цьому може досягати 300...500 мкм, що значно знижує експлуатаційні показники виробів з композитів – механічну міцність, твердість, вологопоглинання, діелектричні властивості та інші.

Дотепер у науково-технічній літературі не сформульовано обґрунтованих рекомендацій з механічної обробки композитів, що дозволяють уникнути руйнування поверхневого шару ВПК по поверхнях розділу структурних компонентів або знизити його глибину до рівня не більш 20 - 50 мкм і тим самим розширити область функціонального застосування цих матеріалів.

Оскільки основною причиною обмеження застосування полімерних композитів, особливо в високотехнологічних галузях, є погіршення їх експлуатаційних властивостей після механічної обробки через руйнування поверхневого шару, то забезпечення його якості і за рахунок цього розширення функціональних можливостей цих матеріалів є досить актуальною проблемою. Отже актуальність означеної проблеми та її недостатня розробленість і визначили напрямок дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі “Металорізальне обладнання та транспортні системи” Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків) відповідно до держбюджетних НДР МОН України “Теоретичні основи утилізації боєприпасів і ракетної техніки” (ДР № 0106U010174) і “Розробка системи управління якістю “ (ДР № 0108U00165)

та робіт за господарчими договорами з підприємствами НВО “Ротор” м. Черкаси та “ВАТ” Турбоатом, де здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – розширення функціональних можливостей волокнистих полімерних композитів за рахунок створення ефективних процесів їх механічної обробки, що забезпечують необхідні високі показники якості поверхневого шару.

Для досягнення мети визначені наступні задачі:

1. Розробити загальну методологію встановлення умов ефективної механічної обробки волокнистих полімерних композитів, що базується на врахуванні зміни їх динамічних пружних, міцнісних властивостей матеріалу та енергетичних характеристик процесу різання.

2. Встановити силові та енергетичні характеристики процесу різання волокнистих полімерних композитів на основі проведених експериментальних і теоретичних досліджень.

3. Експериментально встановити вплив силових і енергетичних характеристик процесу різання на динамічні пружні та міцнісні властивості волокнистих полімерних композитів.

4. Встановити особливості та закономірності процесу різання волокнистих полімерних композитів та формування поверхневого шару шляхом моделювання напружено-деформованого стану та руйнування композиту під дією ріжучого клину.

5. Розробити й теоретично обґрунтувати методіку кількісної оцінки якості поверхневого шару волокнистих полімерних композитів.

6. Експериментально встановити вплив умов різання на показники якості поверхневого шару волокнистих полімерних композитів і теоретично обґрунтувати їхні ефективні значення.

7. Теоретично обґрунтувати технологічні способи реалізації умов ефективного різання і на їхній основі розробити високоефективні процеси механічної обробки волокнистих полімерних композитів.

8. Теоретично встановити та експериментально підтвердити раціональні динамічні характеристики процесу різання волокнистих полімерних композитів спеціальними багатозубими інструментами.

9. Встановити вплив якості поверхневого шару волокнистих полімерних композитів після механічної обробки на їхні експлуатаційні характеристики та розробити практичні рекомендації щодо розширення функціональних можливостей цих матеріалів.

Об'єкт дослідження - процес різання волокнистих полімерних композиційних матеріалів.

Предмет дослідження - формування поверхневого шару волокнистих полімерних композиційних матеріалів у процесі різання.

Методи дослідження. Дослідження фізичних явищ, що супроводжують процес різання, базувалося на фундаментальних положеннях теорії різання матеріалів, теорії пружності й механіки руйнування анізотропних матеріалів з використанням математичного моделювання процесів.

Дані теоретичних досліджень перевірялися експериментально, на основі статистичного аналізу. Кожний експеримент проводили за попередньо складеним пла-

ном, який включав: мету і задачі експерименту, вибір змінних параметрів; обґрунтування кількості проведених дослідів; визначення послідовності зміни факторів; вибір кроку зміни факторів; обґрунтування вибору засобів вимірювань; опис проведення експериментів; обґрунтування способів обробки та аналізу результатів експерименту. При виконанні роботи використовували сучасні методи модельних і натурних досліджень. Для дослідження напружено-деформованого стану поверхневого шару використовували метод граничних елементів (МГЕ) у комбінації з методом скінчених елементів (МСЕ), розрахунки напружень і деформацій проводили в програмному пакеті ANSYS. Дослідження обробленої поверхні проводили з використанням оптичної та електронної мікроскопії. Умови контактування ріжучого клину з оброблюваним матеріалом і стружкоутворення реєстрували за допомогою швидкісної кінозйомки. Складові сили різання вимірювали за допомогою тензометричних і п'єзоелектричних динамометрів з реєстрацією цифрових даних у режимі реального часу. Дослідження мікроеханіки різання проводили з використанням методу механолюмінесценції. Ступінь деструкції полімерних складових композиту визначали з використанням методу електронного парамагнітного резонансу. Вимір температури здійснювали за допомогою штучної термопари.

Зношування та радіус округлення ріжучої крайки вимірювали за допомогою оптичної мікроскопії й профілографування. Глибину дефектного шару визначали двома методами: за косим зрізом з використанням растрової електронної та оптичної мікроскопії та з використанням акустичної емісії.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше сформульована концепція ефективності процесу різання волокнистих полімерних композитів, що базується на мінімізації впливу фізичних і технологічних факторів на руйнування оброблюваного матеріалу по поверхнях розділу його структурних компонентів. Це дозволяє розв'язати основну технологічну проблему механічної обробки – забезпечення необхідної високої якості поверхневого шару та розширення функціональних можливостей композитів.

2. Обґрунтовано новий підхід, що реалізує концепцію ефективного різання волокнистих полімерних композитів, в основу якого покладено:

- підвищення питомої енергії дії контактних поверхонь різального інструменту на відокремлюваний шар;
- мінімізація енерговитрат на процес різання;
- керована зміна динамічних пружних і міцнісних властивостей композиту за рахунок підбору енергетичних характеристик процесу різання та завдяки цьому зниження величин напружень і деформацій, при яких відбувається руйнування композиту в умовній площині сколювання, і підвищення міцності адгезійного зв'язку між волокнами й матрицею в поверхневому шарі матеріалу;
- мінімізація впливу фізичних і технологічних факторів на термомеханічну деструкцію полімерних складових.

3. Вперше теоретично встановлено і експериментально підтверджено механізм ефективного руйнування волокнистих полімерних композитів при різанні, що базується на впливі енергетичних характеристик процесу різання на динамічні пружні та міцнісні властивості композитів; це забезпечує досягнення високих експлуатаційних показників виробів.

4. Сформульовано наукове положення про вирішальну роль швидкості деформування волокнистого полімерного композиту, площі та часу контакту різального інструменту з оброблюваним матеріалом при різанні у:

- збільшенні питомої енергії дії контактних поверхонь інструменту на відокремлюваний шар і зміні умов релаксації напружень, що забезпечують зниження впливу механічного фактору на руйнування композиту по поверхні розділу структурних компонентів;

- зниженні роботи деформації та температури різання за рахунок зменшення динамічної ударної в'язкості, що знижує вплив теплового і хімічного фактору на руйнування по поверхнях розділу;

- зниженні енерговитрат на різання і зусиль різання, що забезпечує підвищення якості поверхневого шару композита за рахунок зменшення ворсистості обробленої поверхні та глибини диспергування наповнювача.

5. Сформульовано наукове положення про переважаючий вплив на показники якості поверхневого шару композитів умов різання, що визначають енергетичні характеристики цього процесу. Теоретично обґрунтовано та практично реалізовано умови ефективного різання, вибір яких засновано на встановленні раціональних енергетичних характеристик процесу, що забезпечує підвищення якості поверхневого шару і розширення функціональних можливостей застосування волокнистих полімерних композитів за рахунок локалізації руйнувань по поверхнях розділу структурних компонентів.

6. Сформульовано наукове положення про значний вплив геометричних параметрів пакування волокнистого наповнювача в композиті при виборі умов різання, на забезпечення максимальної динамічної адгезійної міцності зв'язку волокон з матрицею і мінімальної міцності на сколювання в умовній площині сколювання.

7. Сформульовано наукове положення про вирішальну роль забезпечення безперервності контакту при різанні волокнистих полімерних композитів спеціальними багатозубими осьовими інструментами з різноспрямованими ріжучими крайками в забезпеченні мінімальних перепадів складових сили різання. Це дозволяє мінімізувати вплив конструктивних і геометричних параметрів інструментів на руйнування композитів по поверхнях розділу за рахунок зменшення нерівномірності фрезерування.

8. Вперше встановлено вплив якісних характеристик поверхневого шару волокнистих полімерних композитів на їхні експлуатаційні властивості, що дозволило дати рекомендації по розширенню функціональних можливостей виробів з композитів отриманих, з використанням механічної обробки.

Практичне значення одержаних результатів для промисловості полягає в створенні ефективних процесів механічної обробки волокнистих полімерних композитів, що дозволяють розширити функціональні можливості цих матеріалів за рахунок значного поліпшення якості поверхневого шару. Запропонована методологія вибору раціональних способів і умов обробки композитів з волокнистим наповнювачем, яка заснована на встановленні такої комбінації динамічних пружних і міцнісних властивостей композитів з енергетичними характеристиками процесу різання, при яких мінімізується руйнування композиту по поверхні розділу структурних компонентів. Розроблено методики: визначення статичних і динамічних властивос-

тей композитів, кількісної оцінки якості поверхневого шару після механічної обробки, інтегрованої оцінки якості механічної обробки, визначення впливу умов різання на енергетичні характеристики процесу різання, визначення впливу якості поверхневого шару композитів після механічної обробки на їхні експлуатаційні характеристики.

Розроблено технологічні способи реалізації умов ефективного різання, в основу яких покладено збільшення швидкості деформування композиту при різанні та зменшення фактичної площі і часу контакту різального інструменту з оброблюваним матеріалом, що лягло в основу обґрунтування застосування нових, нетрадиційних способів і умов обробки полімерних композитів: високошвидкісна обробка; застосування вібраційного різання; використання спеціальної форми ріжучої частини інструментів.

Реалізовані процеси ефективної механічної обробки волокнистих полімерних композитів, розроблені практичні рекомендації з їхнього використання.

Результати роботи впроваджено на: ВАТ «Турбоатом» (м. Харків) для підвищення якості обробки волокнистих матеріалів, Науково-виробничому підприємстві «Оснащення» (м. Краматорськ) для застосування вібраційного різання та високошвидкісної обробки композитів, Науково-виробничому підприємстві «Хартрон-Плант» (м. Харків) для підвищення якості обробки композитів та стійкості ріжучих інструментів , Центральному державному конструкторському бюро «Протон» (м. Харків) для застосування ефективних режимів механічної обробки полімерних композитів із сумарним річним економічним ефектом близько 200 тис. грн. Результати роботи впроваджені в навчальний процес на кафедрі металорізального обладнання та транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії в курсі «Теорія різання матеріалів» при виконанні курсових та дипломних робіт.

Особистий внесок здобувача. Результати, які виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем самостійно. Постановка задач досліджень, аналіз і обговорення отриманих результатів виконувалися здобувачем разом з науковим консультантом. Розробка стендів, експериментальних установок, їх налагодження, виміри контрольованих параметрів проводилися разом з працівниками кафедри “Металорізальне обладнання та транспортні системи” Української інженерно-педагогічної академії.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати, представлені в дисертації, доповідалися та обговорювалися на: XI Міжнародному науковому семінарі “Интерпартнер -2001” – “Високі технології: розвиток і кадрове забезпечення”, Міжнародних науково-технічних конференціях “Високі технології в машинобудуванні” (м. Алушта - 2001, 2002, 2003, 2008 р.), Міжнародних наукових конференціях UNITECH-02, UNITECH-08 (г. Габрово, Болгарія 2002, 2008 р.), Міжнародній конференції MicroCAD 2005 (г. Мишкольц, Угорщина, 2005 р.), на науково-технічній конференції ФМІ НАНУ (м. Львів, 2010 р.), X Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технології освіти, здоров'я” (м. Харків, 2002 р.); на III Міжнародній науково-практичній конференції «Якість технологій – якість життя» (м. Харків 2011 р.) XVI Всеросійської науково-практичній конференції «Інноваційної технології в освіті та на виробництві» (м. Єкатеринбург, 2010 р.); XII і XIII Міжнародних конференціях «Сучасні технології у

виробництва» (г. Тяньзинь, Китай, 2006, 2009 р.); XLIV науково-практичній конференції науково-педагогічних працівників УПА (м. Харків, 2011 р.). Дисертація в повному обсязі доповідалася на спільних наукових семінарах кафедр металорізального обладнання та транспортних систем, інтегрованих технологій у машинобудуванні та опору матеріалів Української інженерно-педагогічної академії, а також кафедр інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семко і технології машинобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Публікації. Основний зміст дисертації відображено в 31 роботі, у тому числі 24 статтях у наукових фахових виданнях України, 1 монографії, 2 патентах України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 7 розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 485 сторінок, з них: 135 рисунків по тексту; 85 рисунків на 75 окремих сторінках; 32 таблиць по тексту; 6 таблиць на 6 окремих сторінках 3-х додатків на 65 сторінках, список використаних джерел з 226 найменувань на 20 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертації, сформульована її мета і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукова новизна та практична значимість роботи.

У першому розділі проведено аналіз проблеми досягнення необхідної якості поверхневого шару полімерних композитів при механічній обробці. Розкриті причини обмеження функціональних можливостей полімерних композитів, як конструкційних матеріалів, через наявність проблеми забезпечення необхідного якості поверхневого шару. Встановлені передумови вдосконалення процесів механічної обробки цього класу матеріалів.

Незважаючи на те, що проблемою забезпечення якості механічної обробки полімерних композитів займалися ряд дослідників (Семко М.Ф., Дрожжин В.І., Степанов А.А., Штучний В.П., Кобаяши А., Ярославцев В.М., Подураев В.Н., Лупкин Б.В., Тихомиров Р.А., Терентьев І.С., Петрова Н.А., Саленко О.Ф., König W., Teti R., Spur G., Wang D., Wiend A., Wunch U. і ін.), дотепер практично немає науково-обґрунтованих рекомендацій, що дозволяють уникнути руйнування поверхневого шару ВПК по поверхнях розділу структурних компонентів, або зменшити його глибину до рівня не більш 20-50 мкм і тим самим розширити область функціонального застосування цих матеріалів, завдяки значному поліпшенню експлуатаційних властивостей виробів.

Пояснюється це тим, що дослідниками не враховувалася зміна фізико-механічних властивостей структурних компонентів ВПК у процесі різання, що закладає початкові помилки у вихідні дані при моделюванні та дослідженні процесу різання полімерних композитів.

У літературних джерелах нами не знайдено інформації про вплив енергетичних характеристик процесу різання на динамічні пружні та міцнісні властивості композитів. Відсутні в літературі і системні відомості про роль енергетичних характеристик процесу різання у формуванні поверхневого шару при механічній обробці полімерних композитів.

Вищезазначене дає підставу сформулювати важливу наукову проблему, яка полягає в розробці загальної методології встановлення ефективних умов механічної обробки полімерних композитів, що базується на використанні впливу енергетичних характеристик процесу різання на динамічні пружні та міцнісні властивості композитів для досягнення напружено-деформованого стану поверхневого шару, що забезпечує локалізацію руйнувань по поверхнях розділу волокон з матрицею в поверхневому шарі. При цьому повною мірою повинні бути враховані фізичні особливості та закономірності процесу різання полімерних композитів.

Інтенсивний розвиток високотехнологічних галузей виробництва вимагає значного розширення застосування полімерних композитів, пред'являючи при цьому виробам з них усе більш жорсткі експлуатаційні вимоги. Сучасний стан виробництва виробів з полімерних композитів не дозволяє поки повною мірою використовувати унікальні властивості цих конструкційних матеріалів. Володіючи теоретично високими експлуатаційними властивостями, волокнисті полімерні композити в цілому мають суттєво занижені експлуатаційні характеристики виробів отриманих з використанням механічної обробки: механічну міцність, твердість обробленої поверхні, опір стиранню, вологопоглинання, діелектричні показники та інш. Встановлено основні причини вищезазначених проблем:

- гетерогенність структури композиту, яка через відмінність фізико-механічних, теплофізичних і механохімічних властивостей компонентів визначає особливості руйнування і стружкоутворення;
- анізотропія властивостей композиту, яка ставить у залежність характер руйнування від взаємного розташування вектора відносного руху ріжучого клину та умовних осей армуючих волокон;
- недостатня міцність адгезійних зв'язків між компонентами композиту, що приводить при різанні до їхнього порушення, руйнування композиту по поверхнях розділу та утворення специфічних дефектів на обробленій поверхні;
- високі пружні та абразивні властивості полімерних композитів, їх низька теплопровідність.

На підставі аналізу встановлених дослідниками закономірностей процесу різання полімерних волокнистих композитів, виявлених проблем, їх причин і проявів, сформульована концепція ефективного різання – мінімізація руйнувань композиту по поверхнях розділу структурних компонентів під впливом фізичних і технологічних параметрів процесу різання.

Результати аналізу наукових досліджень дали можливість визначити концептуальні шляхи вирішення основних проблем механічної обробки волокнистих полімерних композитів і сформулювати задачі, рішення яких дозволить вийти на технологічні способи реалізації процесів ефективного різання композитів, що забезпечить розширення їх функціональних можливостей.

В другому розділі приводиться загальна методика дослідження процесу різання композитів. Розроблено методики експериментального визначення фізико-механічних властивостей, у тому числі динамічних; сил і температури різання; якості поверхневого шару (ворсяності, шорсткості, ступеня деструкції, глибини дефектного шару); експлуатаційних характеристик композитів (діелектричні показники, вологопоглинання, опір стиранню, механічна міцність і твердість поверхневого ша-

ру); дослідження мікромеханіки різання; процесу стружкоутворення; теоретичного дослідження моделі напружено-деформованого стану; інтегральної оцінки якості поверхневого шару, дослідження процесу руйнування композита при різанні, визначення динамічних фізико-механічних властивостей композитів і їх складових.

У розділі обґрунтовується вибір оброблюваних матеріалів – склопластику, вуглепластику, органопластику, вуглеорганопластику і склоорганопластика. Обґрунтовано вибір інструментальних матеріалів, різальних інструментів, устаткування й експериментальних установок для проведення дослідження. Представлена методика планування експериментів і обробки експериментальних даних. Обґрунтований вибір діапазону технологічних параметрів обробки при проведенні дослідження.

Третій розділ присвячено встановленню ролі силових та енергетичних закономірностей процесу різання волокнистих полімерних композитів і їх впливу на якість поверхневого шару після механічної обробки.

Якість поверхневого шару композиту після механічної обробки оцінювали наступними параметрами: R_z – шорсткість обробленої поверхні, мкм; K_v – кількість незрізаних волокон на базовій площі, %; N – кількість стабільних вільних радикалів у поверхневому шарі (ступінь деструкції), спин/г; M – глибина дефектного шару, мкм.

Для об'єктивної оцінки силових та енергетичних характеристик процесу різання, розуміння його фізичної природи, впливу технологічних параметрів на руйнування композитів і формування поверхневого шару зроблено аналіз впливу цих умов на пружні та міцнісні властивості ВПК.

Статичні пружні та міцнісні властивості композитів визначали за допомогою стандартних методик, динамічні за допомогою спеціально розробленої методики на установці для динамічних випробувань зразків (рис.1).

Установлено, що властивості композитів суттєво залежать від швидкості та напрямку прикладеного навантаження (рис.2), що враховувалося в наступних дослідженнях.

При дослідженні поведінки композиту при руйнуванні в процесі різання виділяли два етапи: процес деформації матеріалу, що протікає до утворення ушкоджень і руйнування та процес деформації матеріалу, пов'язаний з виникненням, розвитком ушкоджень, що протікає до повного руйнування.

Перший етап характеризується пружною поведінкою зразка.

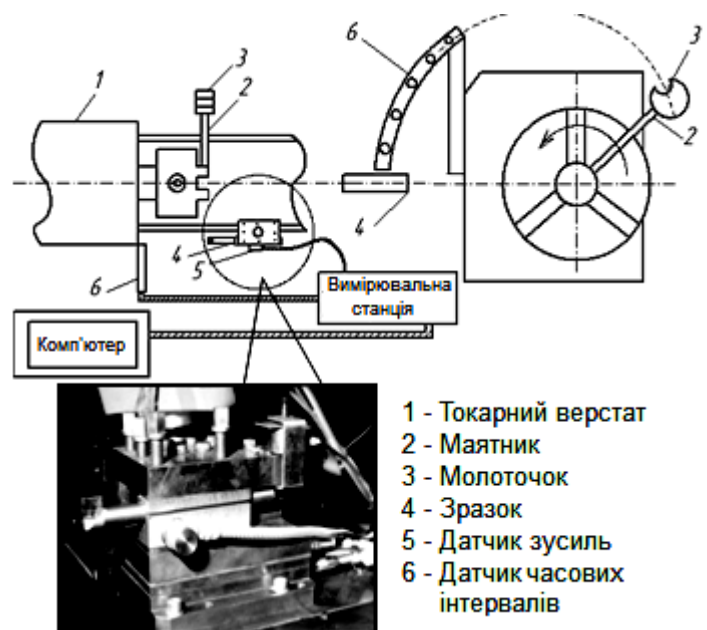


Рис.1. Схема установки для випробування композитів

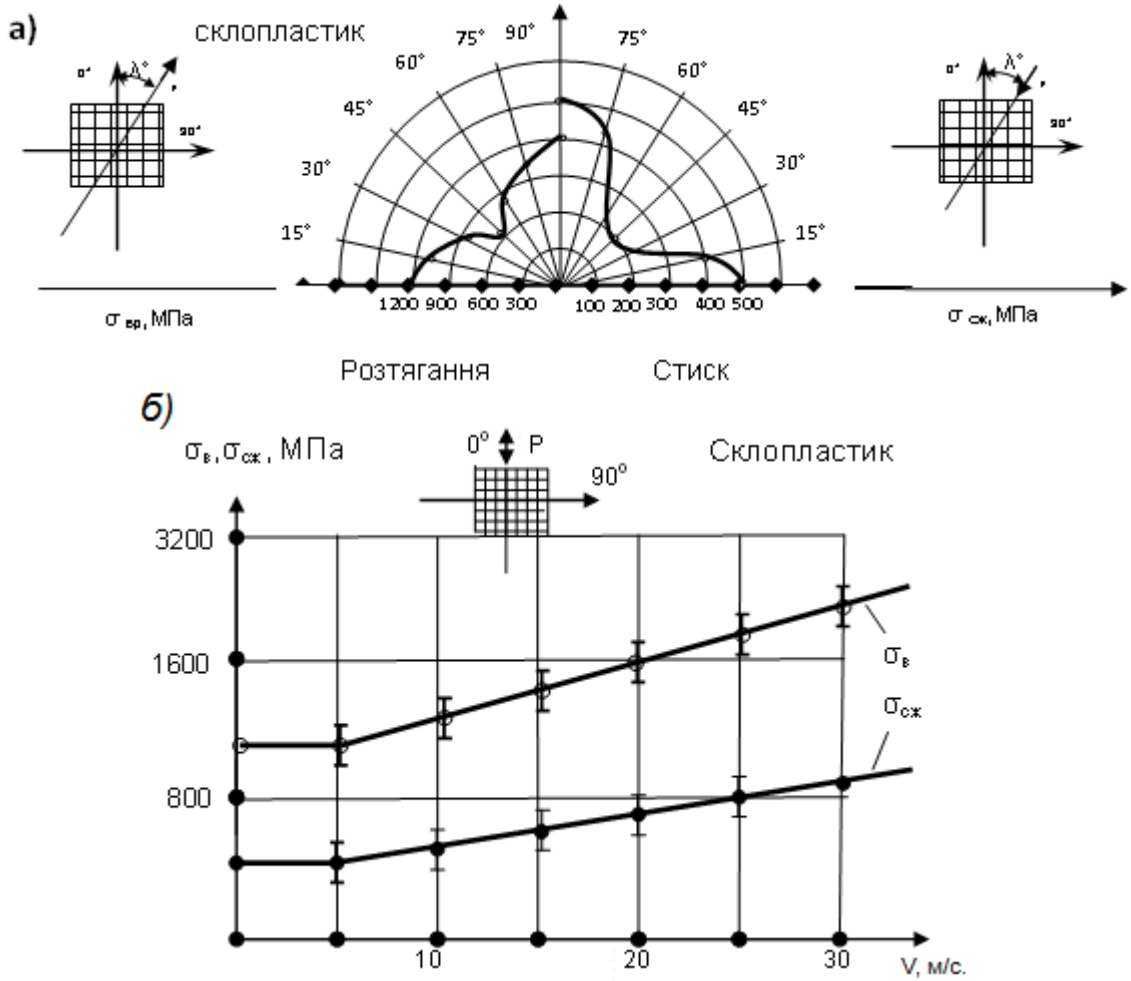


Рис.2. Залежність міцності композита від напрямку - а, і швидкості – б прикладеного навантаження.

На другому етапі відбувається розвиток тріщини, який супроводжується падінням навантаження. На рис.3 показана зміна в часі навантаження при руйнуванні склопластику для різних швидкостей деформації.

Сумарна робота, що витрачається на руйнування:

$$A = A_y + A_p = \int P \cdot V \cdot d\tau, \quad (1)$$

де A_y – робота пружної деформації, Н·м/с; A_p – робота руйнування, Н·м/с; P – прикладене навантаження, Н; V – швидкість прикладеного навантаження, м/с; τ – час, мс. Відношення роботи пружної деформації до роботи руйнування дає можливість визначити ступінь крихкості руйнування.

Встановлено, що зі зменшенням величини роботи A_p , руйнуван-

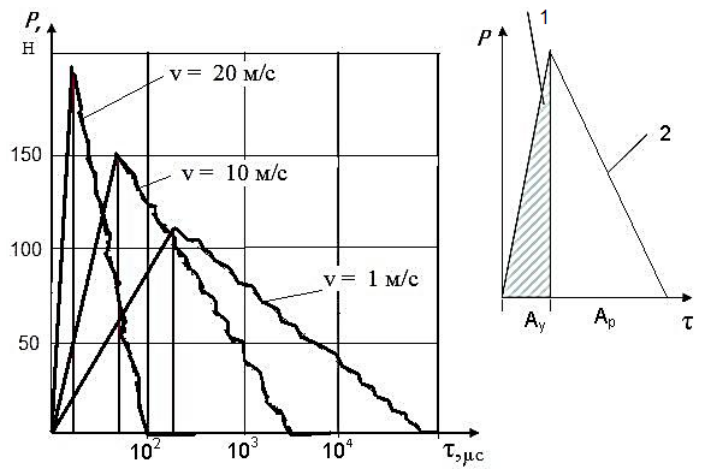


Рис.3. Зміна в часі навантаження при руйнуванні склопластику для різних швидкостей деформації. 1- етап пружної деформації, 2- етап руйнування.

ня наближається до абсолютно крихкого.

Зі збільшенням швидкості деформування і зниженням температури в зоні руйнування знижується ударна в'язкість композиту та енергія руйнування (енерговитрати на руйнування), підвищується крихкість руйнування за рахунок збільшення відношення роботи пружної деформації до роботи поширення тріщин. Крім того, при збільшенні швидкості деформування з 0,5 до 20 м/с підвищується адгезійна міцність зв'язку «волокно-матриця» на 60÷70%.

Встановлено, що зі збільшенням питомої енергії впливу ріжучого клину на відокремлюваний шар, поліпшуються вихідні параметри якості обробки композиту (рис.4) за рахунок:

- зміни умов релаксації напружень і мінімізації впливу механічного фактору на процес руйнування композиту по поверхні розділу;

- зменшення ударної в'язкості полімерних складових композиту, зниження роботи пластичної деформації і температури різання, що знижує вплив теплового та хімічного фактору на процес руйнування по поверхнях розділу структурних компонентів;

- збільшення напружень і деформацій, при яких відбувається руйнування по поверхнях розділу структурних компонентів.

Питому енергію дії ріжучого клину на відокремлюваний шар визначали як відношення добутку швидкості різання на проекцію сили стружкоутворення на площину різання до площі контакту різального інструменту з відокремлюваним шаром. Таким чином, зниження енерговитрат на різання в комбінації зі збільшенням питомої енергії дії ріжучого клину на відокремлюваний шар наближають характер руйнування композиту до характеру руйнування гомогенної структури за рахунок:

підвищення крихкості руйнування, адгезійної міцності зв'язку «волокно-матриця», зниження температури різання. Рекомендовано застосовувати умови різання, при яких забезпечується питома енергія дії контактних поверхонь інструменту на відокремлюваний шар не менше 2,5÷5 кДж/мм², а енерговитрати – не більше 1÷1,5 кН·м/с. Цей рівень енергетичних характеристик забезпечує необхідну якість

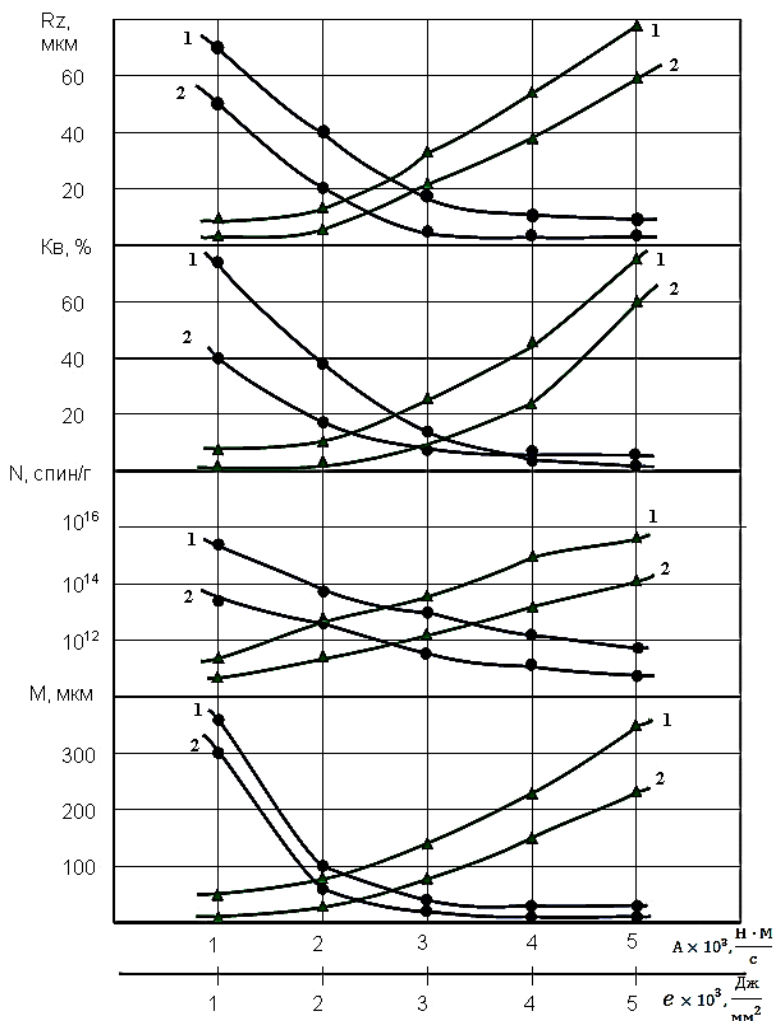


Рис.4. Залежність параметрів якості обробки при фрезеруванні вуглепластику -1 і склопластику -2 від енергетичних характеристик процесу різання: ●—● – питома енергія (e), ▲—▲ – енерговитрати (A)

обробки. Запропоновані шляхи зниження енерговитрат і збільшення питомої енергії: збільшення швидкості деформування при різанні, зменшення фактичної площі контакту різального інструменту з оброблюваним матеріалом, зниження сил на задній поверхні інструменту.

Для обчислення енерговитрат при різанні як суми робіт витрачених на деформування, руйнування, тертя по передній і задній поверхнях інструменту використовували результати дослідження впливу умов різання на фізичні та технологічні складові сили різання.

Встановлено, що найбільший вплив на силу різання при обробці волокнистих полімерних композитів виявляють параметри зрізу, величина зношування інструменту по задній поверхні (рис.5) і радіус округлення ріжучої крайки, а також напрямок армування.

Швидкість різання впливає на силу різання в діапазонах вище за 10÷15 м/с, (сила різання зменшується на 25÷30%), при цьому ступінь впливу інших умов різання знижується за рахунок зміни співвідношення фізико-механічних властивостей структурних компонентів композиту. Вирішальний вплив виявляє швидкість різання також на енергетичні характеристики процесу різання, особливо на питому енергію дії контактних поверхонь інструменту на відокремлюваний шар (рис.6).

Для досягнення значень складових сили різання ($P_z \leq 100 \div 150$ Н, $P_y \leq 60 \div 100$ Н), що відповідає раціональним енергетичним характеристикам процесу різання рекомендовано умови різання полімерів, армованих мінеральними волокнами (склопластик, вуглепластик): товщина зрізу – $a \leq 0,01 \div 0,015$ мм, припустиме зношування по задній поверхні – $h_3 \leq 0,15 \div 0,2$ мм, радіус округлення ріжучої крайки – $\rho \leq 10 \div 15$ мкм, швидкість різання – $V = 20 \div 25$ м/с. Для полімерів, армованих органічними

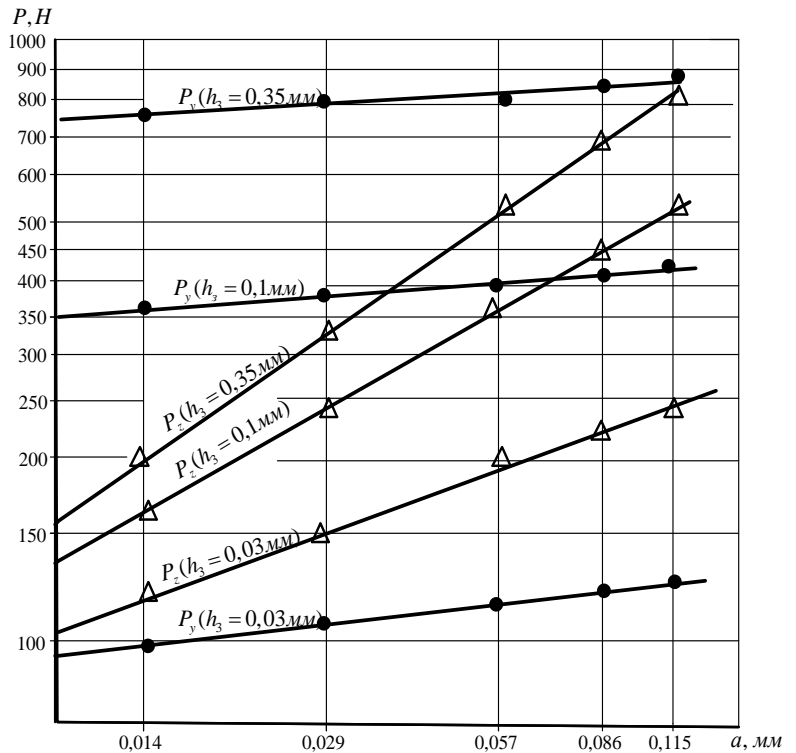


Рис. 5. Вплив товщини зрізу та зношування на силу різання при фрезеруванні склопластику

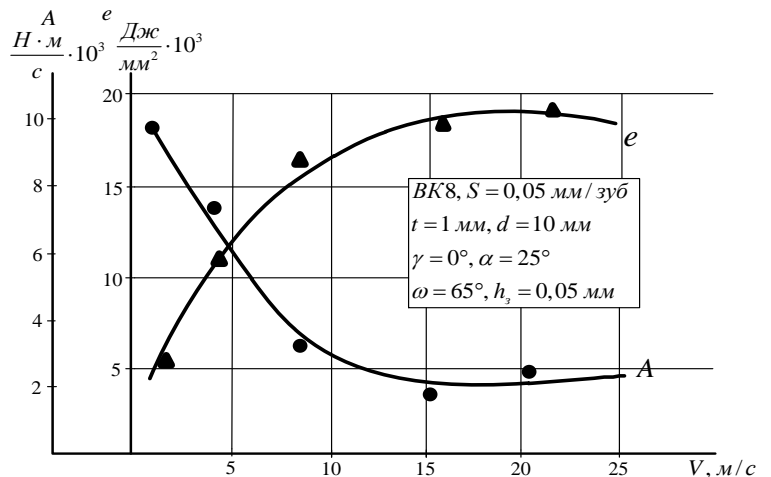


Рис. 6. Залежність енергетичних характеристик процесу різання від швидкості різання при фрезеруванні склоорганопластику

волокнами (органопластик): товщина зрізу – $a \leq 0,001 \div 0,01$ мм, припустиме зношування по задній поверхні – $h_3 \leq 0,1 \div 0,15$ мм, радіус округлення ріжучої крайки – $\rho \leq 5 \div 10$ мкм, швидкість різання - $V=15 \div 20$ м/с.

Таким чином встановлено, що швидкість різання і площа зрізу є визначальними параметрами в підвищенні ефективності процесу різання.

У четвертому розділі наведені результати дослідження впливу умов різання на напружено-деформований стан і руйнування композиту при різанні.

Для дослідження напружено-деформованого стану композиту, встановлення особливостей і закономірностей руйнування при різанні розроблена модель взаємодії ріжучого клина з оброблюваним волокнистим полімерним композитом (рис.7)

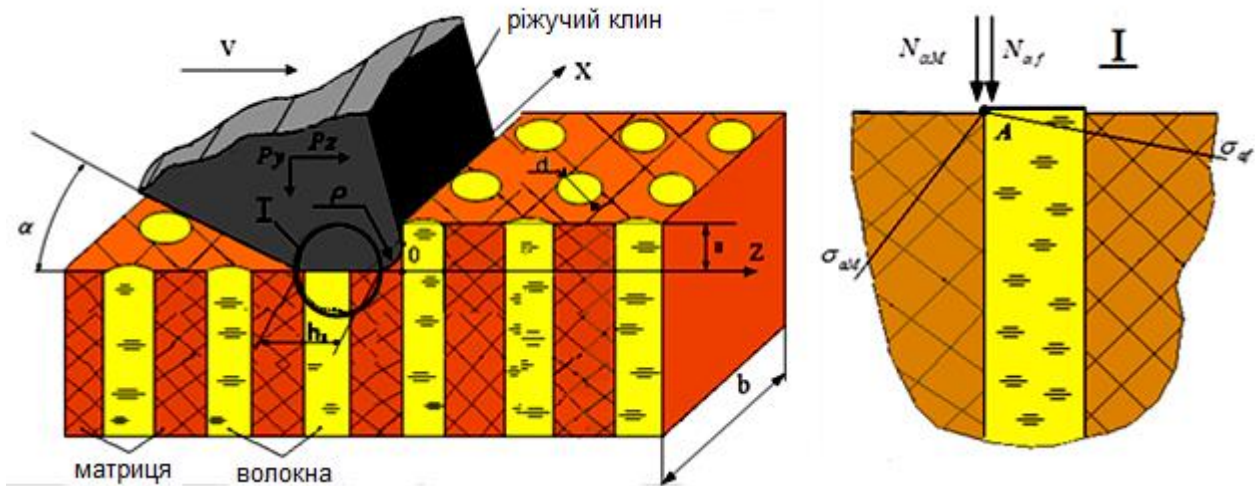


Рис.7. Розрахункова схема для визначення напружено-деформованого стану композиту

У представленій розрахунковій схемі прийнято, що волокнистий композит взаємодіє з абсолютно твердим інструментом, що має передній кут - γ , задній кут - α , площадку зношування по задній поверхні, довжиною – h_3 , мм, радіус округлення ріжучої крайки – ρ , мкм. Враховуючи відмінності по твердості та модулю пружності для оброблюваного і інструментального матеріалів, таке допущення правомірне.

На границі взаємодії оброблюваного композиту та інструменту в точці A прийнята умова навантаження нормальною – P_y і тангенціальною – P_z силами, розподіленими по площах контакту:

$$\sigma_{af} = \frac{4SN_{af}}{b \cdot h_3 \pi d^2 i}, \quad \sigma_{am} = \frac{N_{am}}{b \cdot h_3 \left(1 - \frac{\pi d^2 i}{4S}\right)}, \quad (2)$$

де σ_{af} , σ_{am} напруження що виникають у волокнах та матриці Н/м²; N_{af} , N_{am} - зусилля, що діють у волокнах і матриці в осьовому напрямку, Н; d - діаметр волокна, мм;

h_3 - зношування інструмента по задній поверхні, мм; i - кількість волокон на базовій площадці; S - величина базової площадки, мм²; b - ширина зразку, мм.

При дії стискаючих сил, коли досягається межа стійкості, матриця втрачає здатність утримувати волокна і композит руйнується. Ця межа стійкості визначається із залежності

$$[\sigma] = \sigma_f \cdot F + \sigma_M (1 - F), \quad (3)$$

де $[\sigma]$ - межа стійкості, Н/м²; σ_f - напруження у волокні, Н/м²; σ_M - напруження в матриці Н/м²; F - об'ємний вміст волокон, %.

Руйнування відбувається, коли напруга стиску досягає значення модуля пружності другого роду.

В якості математичної моделі матеріалу, як пружного середовища була використана модель ізотропного (із трансверсально – ізотропною структурою) пружного матеріалу. Для визначення характеристик односпрямованого армованого шару використані співвідношення, що базуються на правилі сумішей. Модуль пружності односпрямованого армованого шару в напрямку армування визначається залежністю

$$E_1 = FE_a + (1 - F)E_c, \quad (4)$$

де E_a - модуль пружності матеріалу волокон, МПа; E_c - модуль пружності матеріалу зв'язки, МПа; F - відносний об'ємний вміст волокон, %; a і c - тут і далі індекси відповідно відносяться до армуючих волокон і зв'язки.

Модуль пружності в напрямку, що є перпендикулярним напрямку армування визначається із залежності

$$E_2 = \frac{E_c}{(1 - \nu^2) \left(1 - \sqrt{\frac{F}{1 + F}} \right)}, \quad (5)$$

де ν_c - коефіцієнт Пуассона матеріалу зв'язки.

Модуль зсуву - G_{12} трансверсально ізотропного односпрямованого композиту

$$G_{12} = \frac{\left[(1 - \sqrt{F}) + \sqrt{F} \cdot G_a / G_c \right] G_c}{(1 - \sqrt{F} + F) + (\sqrt{F} - F) \cdot G_a / G_c}, \quad (6)$$

де G_a , G_c - модулі зсуву відповідно матеріалу волокон і зв'язки. Коефіцієнт Пуассона можна визначити за формулою

$$\nu_{12} = F \cdot \nu_a + (1 - F) \cdot \nu_c, \quad (7)$$

При цьому пружні та міцнісні динамічні властивості зв'язки і композиту в цілому визначалися експериментально, а властивості волокнистого наповнювача обчислювалися за правилом сумішей.

При рішенні задачі контактної взаємодії інструменту з оброблюваним матеріалом вважається, що декартові осі координат збігаються з напрямком осей анізотропії, причому напрям армування задається співпадаючим з напрямком однієї з осей координат.

При дослідженні використовувався метод граничних елементів у комбінації з методом скінчених елементів. Розрахунки напружень і деформацій здійснювали з використанням прикладного пакету ANSYS. Результати розрахунків одержали у вигляді полів напружень (рис 8).

Моделювання контактної взаємодії ріжучого клину з оброблюваним композитом дозволило встановити, що на характер і глибину руйнувань оброблюваного матеріалу по поверхнях розділу структурних компонентів впливають ті технологічні параметри, які визначають енергетичні характеристики процесу різання – це швидкість різання, параметри зрізу, величина зношування інструменту по задній поверхні та радіус округлення ріжучої крайки.

Зі зростанням швидкості різання збільшується межа міцності композиту, а напруження в поверхневому шарі зменшуються (рис. 9), завдяки чому глибина дефектного шару при механічній обробці зменшується.

Величина раціональної швидкості різання відповідає значенням, при яких кінетичної енергії стає досить для просування магістральної випереджальної тріщини з максимальною швидкістю. Швидкість просування тріщин визначали через швидкість поширення поперечних хвиль (хвиль Релея). Для полімерних композитів $V_{\text{трещ}} = 0,3C_2$ де $C_2 = \sqrt{G/\rho}$, G - модуль зсуву Па; ρ - густина $\text{кг/м}^3 \cdot 10^{-3}$.

При досягненні граничної швидкості закритичного росту тріщин (склопластик - 705 м/с, вуглепластик - 485 м/с, органопластик – 375 м/с), тобто такої, яка є максимально можливою для даного композиту і не залежить від рівня зовнішніх навантажень, а визначається тільки структурою матеріалу, кінетичної енергії стає досить не тільки для просування магістральної випереджальної тріщини, але й для злиття та просування розгалужених тріщин. Встановлено, що це відповідає швидкості різання

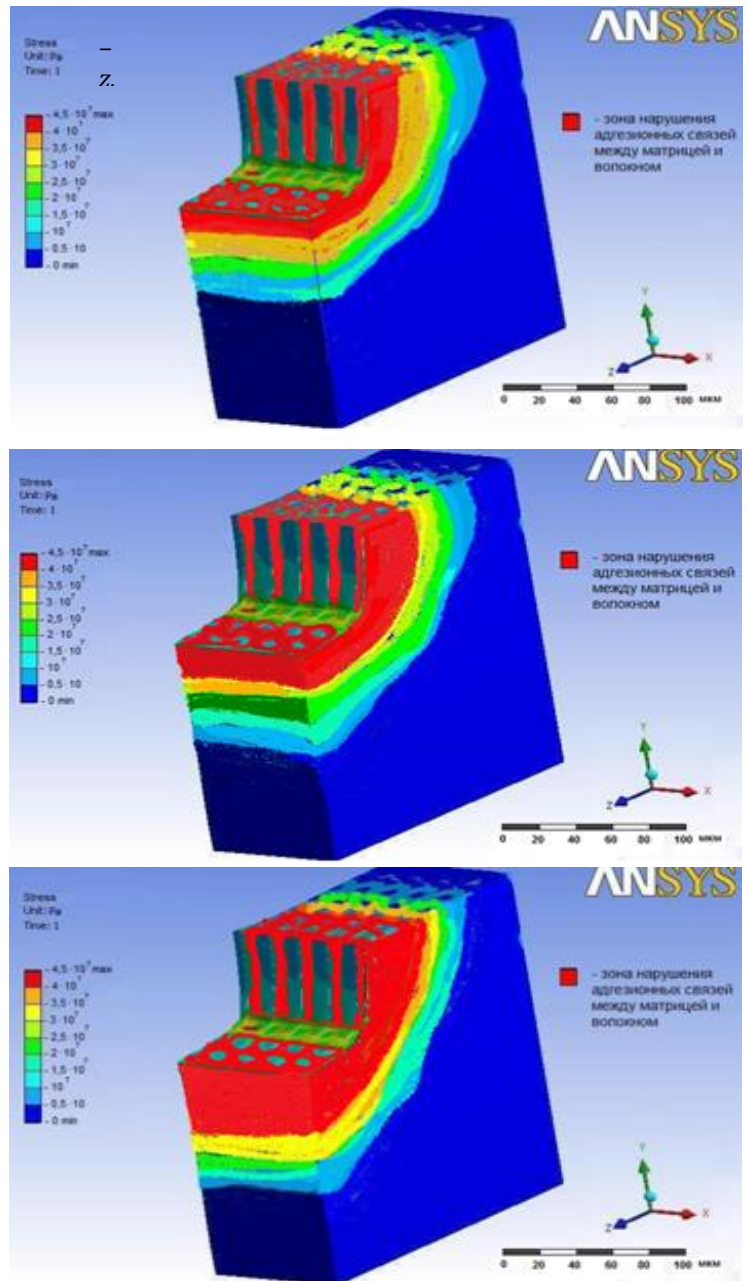


Рис.8. Поля напружень у зразку зі склопластику при різанні зі швидкістю а) – 20 м/с, б) – 10 м/с, в) – 1 м/с.

18÷22 м/с для склопластику, 16÷18 м/с для вуглепластику, 14÷16 м/с для органола-
стика. Умовний кут сколювання визначили використовуючи відомий метод рішення
задачі про дію зосереджених сил на краю півплощини із крайовою тріщиною

$$\theta_0 = \arctg \left[\frac{2(P_Z \cdot 0,824 + P_Y \cdot 1,294)(P_Z \cdot 1,294 + P_Y \cdot 0,824)}{(P_Z \cdot 0,824 + P_Y \cdot 1,294)^2 + (P_Z \cdot 1,294 + P_Y \cdot 0,824)^2} \right] \quad (8)$$

Радіус округлення ріжу-
чої крайки, як показали розра-
хунки, не повинен перевищу-
вати поперечних розмірів ар-
мующих волокон (5÷15 мкм),
інакше розтягуючі напружен-
ня у волокнах, в поверхневому
шарі, досягають межі, адгезій-
ної міцності з'єднання волокон
з матрицею до глибини
150÷300 мкм, що призводить
до руйнувань по поверхнях ро-
зділу структурних компонентів
(рис. 10).

Встановлено, що руйну-
вання композиту по поверхнях
розділу структурних компоне-
нтів у поверхневому шарі ви-
значається, головним чином,
величиною нормальних напру-
жень, що виникають під дією P_y
– радіальної скла дової сили рі-
зання, а отже величиною фак-
тичної площі контакту по зад-
ній поверхні (зношування й ве-
личина заднього кута). При цьому руйнуванні відбувається за рахунок досягнення
нормальними напруженнями – σ_y межі адгезійної міцності з'єднання волокон з мат-
рицею.

Проведені розрахунки дозволили встановити значення зношування, що допус-
кається, по задній поверхні не більш 0,12-0,15 мм при значеннях заднього кута 18-
20°. Це дозволяє втримувати енерговитрати при різанні на рівні 1,5 кН·м/с при гли-
бині дефектного шару не більш 50 мкм. Встановлено, що руйнування адгезійного
зв'язку «волокно - матриця» за рахунок досягнення нормальними напруженнями σ_z
адгезійної міцності $[\sigma_z]$ у поверхневому шарі відбувається тільки за рахунок збіль-
шення товщини зрізу до значення, які відповідають критичним значенням – голов-
ної складової сили різання. Щоб уникнути подібних руйнувань, згідно з розрахун-
ками, співвідношення швидкості різання, товщини зрізу та радіуса округлення ріжу-

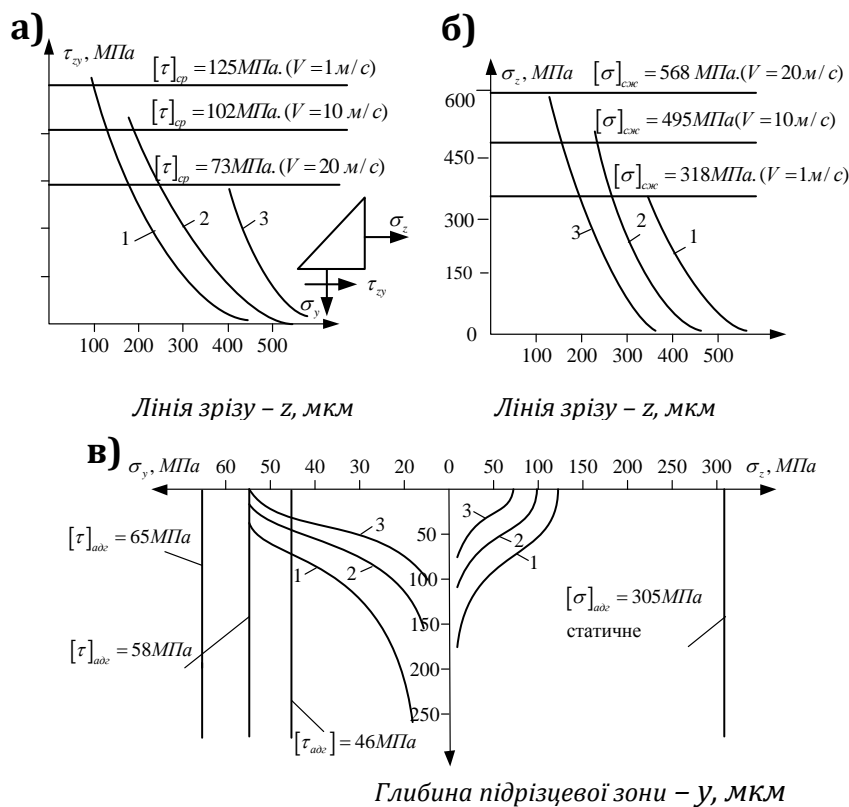


Рис. 9. Значення меж міцності та величин напружень в умовній площині сколювання – а, відокремлюваному шарі – б, підрізцевом шарі – у, для різних швидкостей різання: 1- $V = 1$ м/с; 2- $V = 10$ м/с; 3- $V = 20$ м/с при струганні склопластику

чої крайки повинні бути такими, щоб забезпечувати питому енергію дії контактних поверхонь на відокремлюваний шар, для склопластику не менш 2-2,5 кДж/мм.

Крім зазначеного, порушення цієї умови за рахунок збільшення товщини зрізу приводить до виникнення такого напружено-деформованого стану, при якому руйнування композиту вище площини різання відбувається за рахунок досягнення межі міцності на стиск, а не на зсув, що може вести до «витягання» волокон з матриці та значного погіршення якості поверхневого шару.

Встановлено, що контактні явища та механізм руйнування при різанні полімерних композитів визначаються їхньою структурою, відповідністю динамічних пружних і міцнісних властивостей матриці та наповнювачів, а також енергетичними характеристиками процесу різання.

Теоретично обґрунтовано умови ефективного різання, вибір яких базується на встановленні раціональних енергетичних характеристик процесу, що забезпечує підвищення якості поверхневого шару за рахунок локалізації руйнувань по поверхнях розділу структурних компонентів. При цих умовах глибина дефектного шару композиту не перевищує 20÷50 мкм при шорсткості $R_z < 20$ мкм.

Це забезпечується відповідним співвідношенням швидкості деформування при різанні та площі контактування інструменту з відокремлюваним шаром.

П'ятий розділ присвячений дослідженню якості поверхневого шару полімерних композитів після механічної обробки.

Завдання, які поставлені в цій частині дослідження, витікають із необхідності мінімізації впливу фізичних і технологічних параметрів процесу різання на руйнування композиту по поверхнях розділу структурних компонентів (волокон і матриці) і зводяться до наступного:

- визначити параметри процесу різання, що забезпечують необхідну якість поверхневого шару композита та встановити взаємозв'язок цих параметрів з енергетичними характеристиками процесу різання;

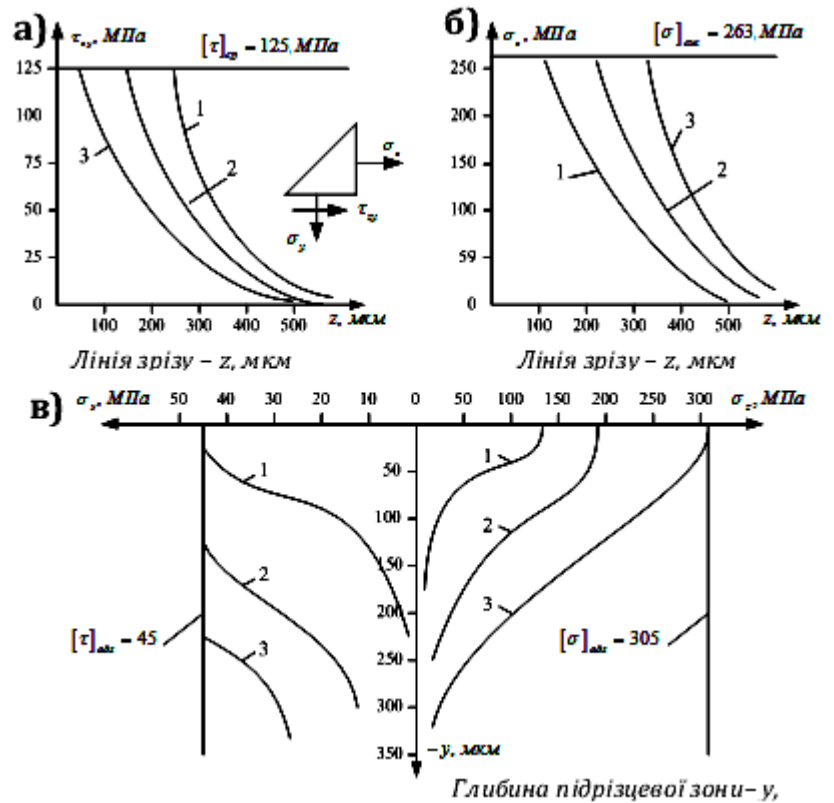


Рис. 11 Розподіл напружень в умовній площині сколювання – а; у відокремлюваному – б; поверхневого шарі – в; при струганні склопластику для різних значень радіуса округлення ріжучої крайки: 1- $\rho=5$ мкм, 2- $\rho=25$ мкм, 3- $\rho=45$ мкм

- сформулювати фізичні принципи забезпечення необхідної якості обробленої поверхні й поверхневого шару;
- розробити інтегральну оцінку якості поверхневого шару композита;
- розробити моделі якості поверхневого шару для управління процесом різання при різних технологічних вилах обробки полімерних волокнистих композитів.

Встановлено, що найбільший вплив на якість поверхневого шару, обробленого різанням композиту, виявляють ті умови різання, які здійснюють найбільший вплив на енергетичні характеристики процесу різання: швидкість різання і радіус округлення ріжучої крайки - за рахунок впливу на питому енергію різання, параметри зрізу і зношування - за рахунок впливу на енерговитрати процесу різання, а їх спільна дія визначає умови та ступінь руйнування по поверхнях розділу структурних компонентів, композиту.

Зношування по задній поверхні та радіус округлення ріжучої крайки суттєво впливають на стан поверхневого шару. При обробці полімерів, армованих органічними волокнами, визначальним є радіус округлення ріжучої крайки, збільшення якого призводить до зниження дотичних напружень в умовній площині сколювання і зростанню нормальних напружень уздовж осей волокон, що призводить до руйнування композиту уздовж поверхонь розділу в поверхневому шарі.

При обробці полімерів, армованих мінеральними волокнами, визначною є величина фактичної площі контакту інструменту по задній поверхні. З її збільшенням збільшується робота сил на задній поверхні, температура різання, а отже глибина і ступінь деструкції полімеру.

Вибір критерію зношування визначає технологічна ознака - стан поверхневого шару композиту. Припустиме зношування по задній поверхні перебуває в діапазоні $[h_3]=0,1\div 0,2$ мм, в залежності від типу композиту та інструментального матеріалу. Радіус округлення ріжучої крайки – не повинен перевищувати поперечних розмірів армуючого волокна (для полімерів, армованих органічними волокнами).

Встановлено, що вплив швидкості різання на стан поверхневого шару носить екстремальний характер (рис.11), зі збільшенням швидкості різання збільшується питома енергія дії контактних поверхонь на мікрооб'єми матриці та окремі волокна, підвищується крихкість руйнування, що знижує енерговитрати і температуру різання, у тому числі й за рахунок зниження фактичної площі контакту.

Після досягнення оптимального значення подальше збільшення швидкості різання приводить до стабілізації швидкості поширення тріщин, поступовому зростанню роботи тертя і температури, а відповідно ступеню термодеструкції полімеру. З ростом товщини зрізу зростає сила різання, особливо її головна складова – P_z , що приводить до росту нормальних напружень у поверхневому шарі σ_z аж до досягнення межі міцності композиту на стиск і межі адгезійної міцності на розрив. Це призводить до комбінації руйнування сколюванням і відривом. Адгезійний зв'язок у композиті порушується і спостерігається витягання волокон з матриці, при цьому суттєво знижується якість як поверхневого шару, так і обробленої поверхні.

Встановлено, що вибір умов різання повинен здійснюватися залежно від їхнього впливу на динамічні зміни фізико – механічних властивостей оброблюваного матеріалу в процесі різання.

При цьому необхідно забезпечувати мінімізацію ступеня впливу механічного, та теплового факторів на процес руйнування по поверхнях розділу. Для успішного рішення задачі оптимізації процесу різання для волокнистих полімерних композитів, що мають декілька (R_z , K_B , N , M) параметрів якості поверхневого шару, необхідно використовувати інтегральний безрозмірний показник якості, для приведення до якого скористалися функцією Харрінгтона (вид функції якості для фрезування склоорганопластика наведено на рис. 12).

Розроблено математичні моделі якості поверхневого шару для різних видів обробки, що до-

зволяють створити на їхній основі систему оптимального управління процесом різання волокнистих композитів.

Для точіння (склоорганопластик)

$$D = -2,3655 + 0,005 V + 2,2676 S + 0,0687 t + 0,0005 \tau - 0,0197 S \tau - 0,0049 V^2 + 5,1942 S^2 - 0,0092 t^2 - 3,6122 \tau^2. \quad (9)$$

Для фрезерування (склоорганопластик)

$$D = 0,4525 + 0,0235 V - 0,1248 S + 0,0027 \tau + 1,01 V S - 0,0091 S \tau - 0,4878 V^2 - 0,96 S^2 - 0,0001 \tau^2. \quad (10)$$

Для свердлування (склоорганопластик)

$$D = -0,075 + 1,5515 V + 0,3433 S + 0,858 t - 0,0008 \tau - 0,0008 t \tau - 0,7558 V^2 - 2164 S^2 - 0,0115 t^2 - 0,001 \tau^2. \quad (11)$$

де D – безрозмірний показник якості, V – швидкість різання, м/с;

S – подача, мм/зуб (мм/об); t – глибина різання, мм; τ – час роботи інструмента до досягнення критерію зношування, мм.

Узагальнена функція якості D являє собою середньгеометричне окремих показників якості d_i

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i},$$

де кожний індивідуальний показник якості d_i визначається за формулою $d_i = \exp[-\exp(-y')]$, де y' – значення індивідуальних показників якості на без-

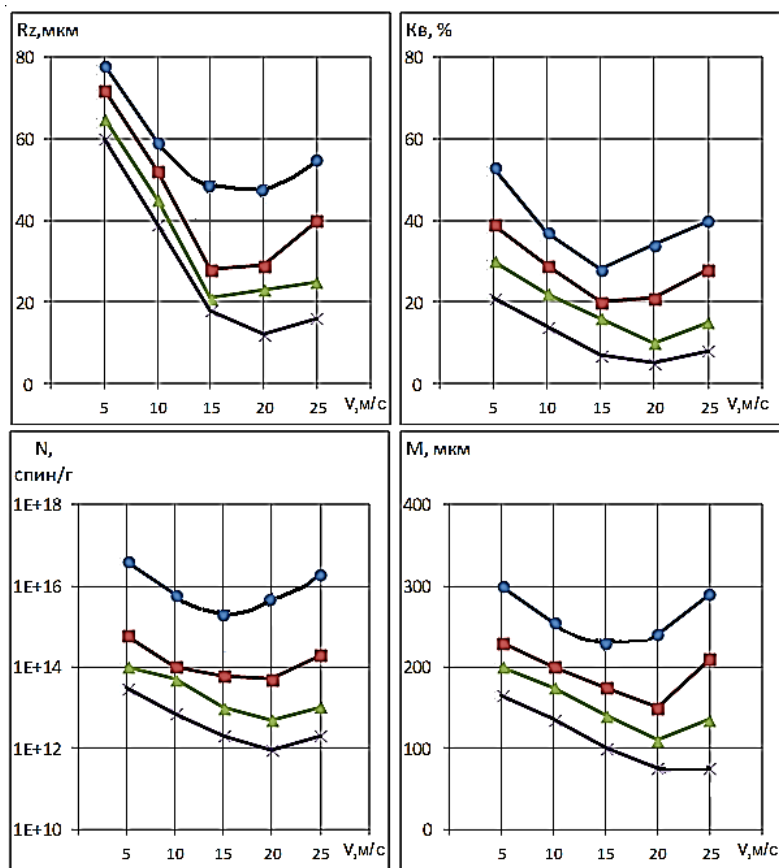


Рис. 11. Вплив швидкості різання на вихідні параметри якості поверхневого шару при фрезуванні: \times — \times – склопластика, \triangle — \triangle – склоорганопластика, \square — \square – углеорганопластика, \bullet — \bullet – органопластика

розмірній шкалі. Для переходу в безрозмірну шкалу за обмірюваними показниками якості y_i (R_z , K_B , N , M) були використані афінні перетворення. Після побудови шкали y' за допомогою експертних оцінок встановили відповідність параметрів якості кодованим значенням y' .

Пошук раціональних умов здійснювали за допомогою дослідження поверхні відклику другого порядку, яку будували за допомогою композиційного работотабельного уніформ-плану.

Вибір даного плану обумовлюється тим, що при цьому плануванні експерименту зберігаються такі властивості, як незалежність коефіцієнтів при лінійних членах і членах, що характеризують ефекти взаємодії.

Для визначення інтегрального показника якості та одержання математичних моделей якості за заданим планом для різних видів обробки використовували спеціальну програму для роботи з електронними таблицями Microsoft Excel. Використовуючи програму в середовищі MAPIL-V з геометричним аналізом перевели рівняння регресії в канонічну форму для встановлення виду поверхні відклику. Види поверхонь відклику для різних видів обробки наведені на рис. 13.

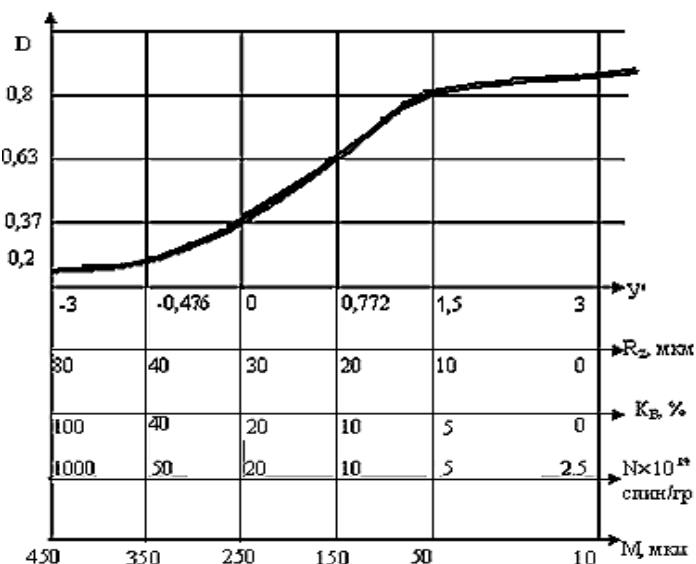


Рис. 12. Вид функції якості при фрезеруванні склоорганопластика.

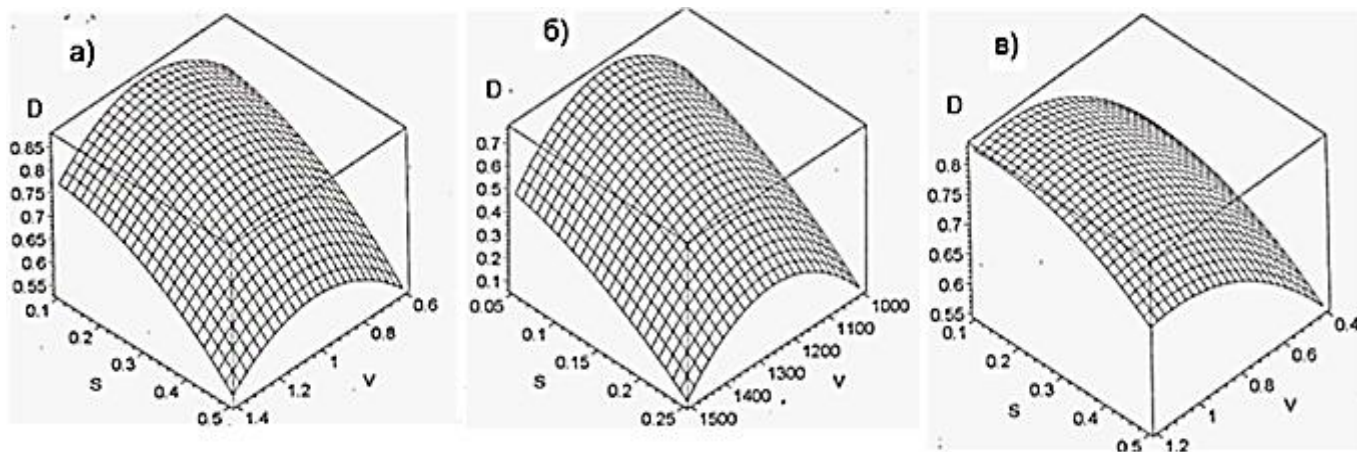


Рис. 13. Види поверхонь відклику при точінні – а, фрезеруванні – б, свердлуванні – в склоорганопластика

Одержані моделі були використані для рішення задачі досягнення максимальної продуктивності обробки при необхідній якості поверхневого шару. Для цього використовували метод гребневого аналізу (ридж-аналіз).

Експериментальне дослідження якості поверхневого шару композиту після механічної обробки і аналіз математичних моделей якості для різних видів обробки дозволили встановити, що умови різання повинні вибиратися залежно від їхнього впливу на зміну динамічних фізико-механічних властивостей композитів у процесі

різання, які визначають характер руйнування і в підсумку якість поверхневого шару. Експериментально підтверджено, що до цих умов відносяться швидкість різання, параметри зрізу та зношування (радіус округлення ріжучої крайки). Їхні значення визначаються раціональними енергетичними характеристиками процесу різання композитів, наведеними вище. Це забезпечує значення узагальненого показника якості поверхневого шару на рівні не нижче $0,75 \div 0,85$ ($R_Z \leq 20$ мм, $K_B \leq 5\%$, $N \leq 10^{12}$ спин/гр, $M \leq 50$ мкм).

Шостий розділ присвячений дослідженню кінематичних і силових характеристик спеціальних інструментів для обробки полімерних композитів. Наведено результати дослідження по встановленню раціональних характеристик процесу різання спеціальними багатозубими інструментами, що забезпечують необхідну якість поверхневого шару композиту.

Робоча частина інструментів містить дві ділянки (рис. 14) що мають ріжучі крайки з лівим нахилом Л під кутом ω_L і правим нахилом П під кутом ω_P , розділені між собою гвинтовою стружковою канавкою – А. У більшості випадків ці інструменти працюють за схемою циліндричного фрезерування. Така форма робочої частини дозволяє вести ефективну обробку полімерних композитів, що мають волокнисту структуру. Однак значні перепади сил різання через нерівномірність фрезерування викликають порушення адгезійних зв'язків між волокнами і матрицею, що призводить до порушень цілісності поверхневого шару та в цілому знижує ефективність спеціальних інструментів.

Проведено дослідження динаміки зміни сил різання за один оберт фрези в залежності від конструктивних і геометричних параметрів ріжучої частини, які визначають параметри зрізу (рис. 14).

Використовуючи відому в теорії різання матеріалів залежність, іменовану фрезерним інтегралом, з урахуванням конструктивних особливостей робочої частини спеціальних інструментів, одержали математичну модель сумарної окружної сили

$$P_z = \frac{2^{1-k}}{2-k} C_p C_\omega D_\phi \text{ctg} \omega \cdot s_z^{1-k} \sum_i^m \left[\sin^{2-k} \left(\frac{\theta_2}{2} \right) - \sin^{2-k} \left(\frac{\theta_1}{2} \right) \right], \quad (12)$$

де для зубів з лівим нахилом:

$$\theta_1 = \frac{2}{D_\phi} \left[b \text{tg} \zeta + (\pi - \varphi) \frac{D_\phi}{2} - \left(\frac{(\pi - \varphi) \frac{D_\phi}{2} \cdot \cos \omega}{\sin(\omega + \zeta)} + \frac{b}{\cos \zeta} - \frac{t_n}{\cos(\omega + \zeta)} \right) \frac{\sin(\omega + \zeta)}{\cos \omega} \right], \quad (13)$$

$$\theta_2 = \frac{2}{D_\phi} \left[(\pi - \varphi) \frac{D_\phi}{2} + \left(\frac{t_n^2}{\cos(\omega + \zeta) \cdot \cos \omega} - \frac{t_n (\pi - \varphi) \cdot D_\phi}{\cos(\omega + \zeta) \cdot 2} \right) \frac{\sin \zeta \cdot \cos \omega}{t_n} \right], \quad (14)$$

для зубів із правим нахилом:

$$\theta_1 = \frac{2}{D_\phi} \left[\frac{\pi D_\phi}{2} + \left(\frac{t_n^2}{\cos(\omega - \zeta) \cdot \cos \omega} - \frac{t_n (\pi - \varphi) \cdot D_\phi}{2 \cdot \cos(\omega + \zeta)} \right) \frac{\sin \zeta \cdot \cos \omega}{t_n} \right], \quad (15)$$

$$\theta_2 = \frac{2}{D_\phi} \left[\frac{\pi D_\phi}{2} + \frac{(\pi - \varphi) \cdot D_\phi}{2} + b \operatorname{tg} \zeta - \frac{t_n}{\cos \omega} - \frac{b}{\cos \omega \cdot \cos \zeta} \right], \quad (16)$$

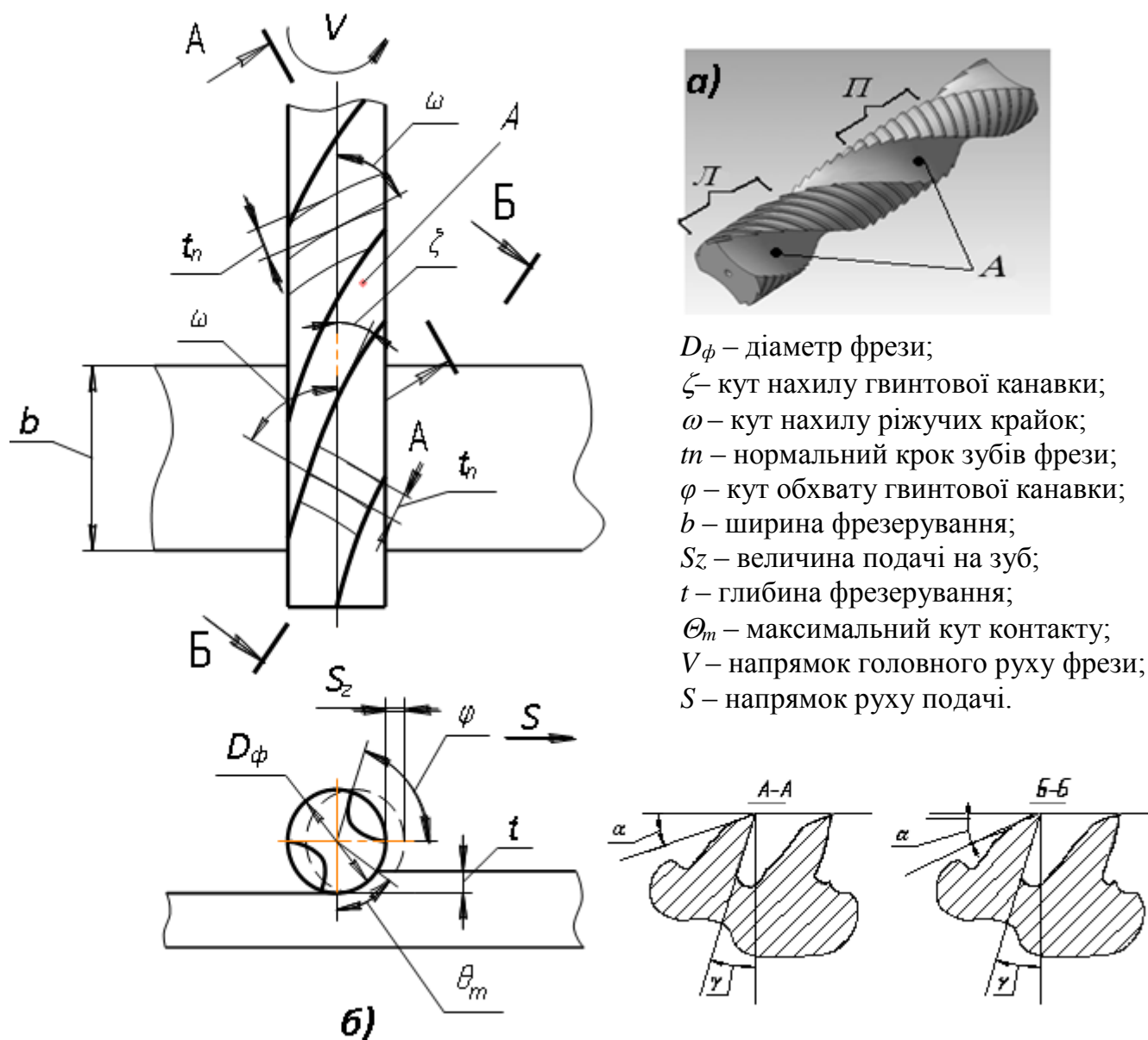


Рис. 14. Загальний вигляд спеціальних інструментів для обробки волокнистих полімерних композитів – а, і розрахункова схема для аналізу нерівномірності фрезерування – б

Постійна C_p і показник ступеня k установлені експериментально і визначаються маркою композиту та його механічними властивостями ($C_p = 90 \div 120$, $k = 0,52 \div 0,54$), постійна C_ω також установлена експериментально і враховує вплив кута нахилу гвинтового зуба ω° (для $\omega \geq 55^\circ$ - $C_\omega = 1,1 \div 1,2$; для $\omega \leq 55^\circ$ - $C_\omega = 1$) на головну складову сили різання; D_ϕ - діаметр фрези, мм; ζ - кут нахилу стружкової канавки, град; b - ширина фрезерування, мм; t_n - нормальний крок зубів, мм. Сумарна миттєва осьова сила:

$$P_{X_сум} = 0,3 \operatorname{tg} \omega \left(\sum_{i=1}^{k_{\text{Л}}} P_{Z_{\text{Л}i}} - \sum_{i=1}^{k_{\text{П}}} P_{Z_{\text{П}i}} \right), \quad (17)$$

де $P_{Z_{\text{Л}i}}$ – складова сили P_Z на i – i ріжучій крайці з лівим нахилом; $P_{Z_{\text{П}i}}$ – складова сили P_Z на i – i ріжучій крайці із правим ухилом; $k_{\text{Л}}$ – кількість ріжучих крайок з лівим нахилом, що перебувають у контакті із заготовкою; $k_{\text{П}}$ – кількість ріжучих крайок із правим нахилом, що перебувають у контакті із заготовкою.

Розроблена математична модель дозволяє визначити сумарну площу зрізу, а також миттєві значення головної та осьової складових сили різання в залежності від конструктивних і геометричних параметрів ріжучої частини та режимів різання. Модель дозволяє здійснювати розрахунки перепадів складових сили різання та аналізувати ступінь нерівномірності фрезерування. Мінімізація перепадів складових сили різання дозволяють поліпшити (в 2÷3 рази) якість поверхневого шару.

Для здійснення розрахунків по моделі були розроблені алгоритм і програма, яка складається із чотирьох блоків.

- У першому блоці вираховуються сили $P_{Z_сум}$ і $P_{X_сум}$ для n -ї кількості положень фрези від $\psi = 0$ до $\psi = 360^\circ$ при заданих значеннях геометричних параметрів фрези та режиму різання. Будуються графіки, що описують зміни сил різання за один оберт фрези, а також визначаються максимальні та мінімальні значення сил і різницю між ними (перепад). Ці графіки дозволяють зіставити значення, складових сил різання і їх перепадів для різних умов різання.

- Другий блок розрахунків присвячений дослідженню залежності перепадів сил різання від кожного з параметрів геометрії фрези або режимів різання. За результатами розрахунків будуються графіки залежності перепадів сил від досліджуваного параметра та обчислюється оптимальне значення, при якому перепад сил буде мінімальним.

- Третій блок розрахунків присвячений дослідженню залежності перепадів сил різання одночасно від двох параметрів геометрії фрези або режимів різання.

Побудовано тривимірні графіки залежності перепадів сил одночасно від двох досліджуваних параметрів.

Отримані залежності дозволяють підібрати попарну комбінацію параметрів процесу різання, при яких перепад складових сили різання буде мінімальним. На рис.15. наведені графіки залежності амплітуди коливань головної складової сили різання від параметрів узятих попарно. Аналізуючи наведені графіки, можна встановити, що при виборі кута нахилу стружкової канавки необхідно прагнути до максимальних значень, а діаметру фрези до мінімальних. У роботі дані конкретні рекомендації для кожного з параметрів.

- У четвертому блоці в циклах перебираються всі значення масивів параметрів; для кожного з варіантів розраховуються перепади сил. Отримано значення перепадів сил для всіх комбінацій значень геометричних параметрів і режимів різання, кожний з яких має свою область значень, результати зведені в таблицю з метою одержати інформацію про те, при яких геометричних параметрах фрези і режимах різання перепади сил будуть мінімальними.

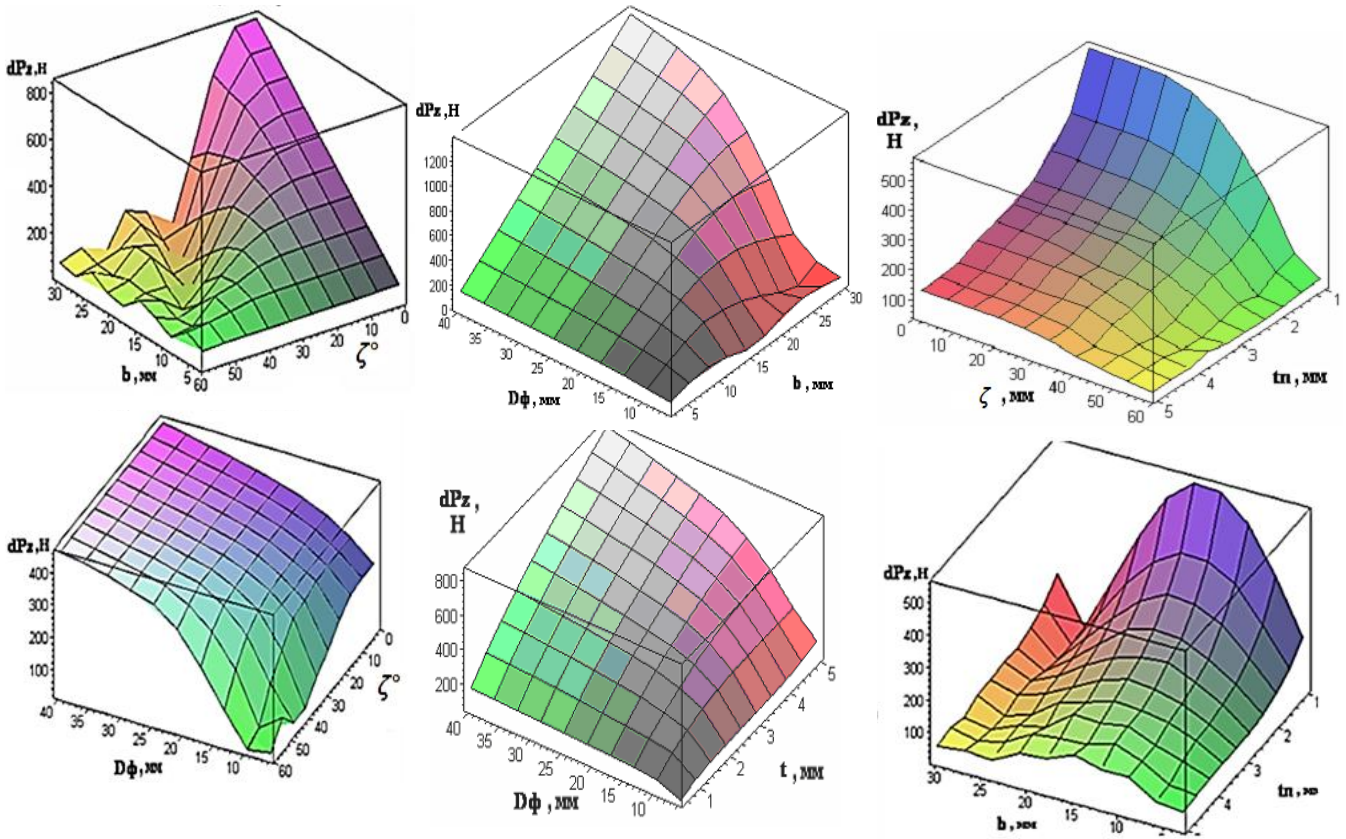


Рис.15. Амплітуда коливань головної складової сили різання в залежності від двох досліджуваних параметрів.

t_n - нормальний крок зубів, мм;

d_{pz} - амплітуда коливань головної складової сили різання, Н;

D_ϕ - діаметр фрези, мм;

ζ - кут нахилу стружкової канавки, град.

Проведені експериментальні дослідження дали відхилення перепадів окружної ΔP_z та осьової ΔP_x сил від розрахованих теоретично не більш 12-15%.

Дослідження динамічних характеристик процесу різання полімерних композитів багатозубими спеціальними інструментами дозволило встановити, що для досягнення якості поверхневого шару з рівнем узагальненого показника якості не нижче $D=0,85$, (це забезпечує необхідний рівень експлуатаційних властивостей виробів), необхідно щоб комбінації чисельних значень конструктивних, геометричних параметрів ріжучої частини спеціальних інструментів і режиму різання забезпечувало безперервність контакту інструменту із заготовкою заданої ширини, при цьому відношення ширини фрезерування до осьового кроку зубів повинно бути цілим числом, а кут нахилу гвинтового зуба знаходитись в діапазоні $55 \div 70^\circ$. За таких умов вдається досягти мінімальних значень перепадів сил різання та дефектів поверхневого шару композиту.

У цьому розділі наведено обґрунтування, особливості та раціональні параметри високошвидкісної та вібраційної обробки як технологічних способів реалізації принципів ефективного різання. Досліджено вплив якості поверхневого шару полімерних композитів на їхні експлуатаційні властивості. Встановлено функціональні можливості цих матеріалів після використання ефективних процесів механічної обробки.

Експериментально встановлено та теоретично обґрунтовано, що застосування традиційних способів і стандартних інструментів для обробки волокнистих композитів припустиме тільки для невідповідальних деталей з вимогами до шорсткості $R_z \geq 20$, мкм і глибини дефектного шару $M \geq 100$, мкм. Для цих випадків розроблені загальні рекомендації для різних видів обробки волокнистих полімерних композитів, що базуються на сучасному рівні верстатного парку та інструментального забезпечення.

Основним практичним результатом розділу і роботи в цілому є створення ефективних процесів механічної обробки волокнистих полімерних композитів, що дозволяють розширити функціональні можливості цих матеріалів за рахунок значного поліпшення якості поверхневого шару.

Встановлено, що підвищення якості поверхневого шару волокнистих полімерних композитів найбільш ефективно можна здійснити при застосуванні високошвидкісного різання, при цьому підтверджена його ефективність тільки для операції фрезерування, через необхідність забезпечення переривчастості контакту та змінюваності контактних поверхонь інструменту в процесі високошвидкісної обробки.

Встановлено, що для видів обробки, де високошвидкісне різання технологічно або економічно невиправдано, або таке що технічно не може бути реалізовано (наприклад для точіння або свердлування, де складно забезпечити переривчастість контакту або змінюваність контактних поверхонь у процесі різання), доцільно застосувати вібраційне різання, яке дозволяє досягати необхідної для розширення функціональних можливостей полімерних композитів якості поверхневого шару. На рис.16. показані фактори, що сприяють підвищенню якості поверхневого шару при високошвидкісному та вібраційному різанні.

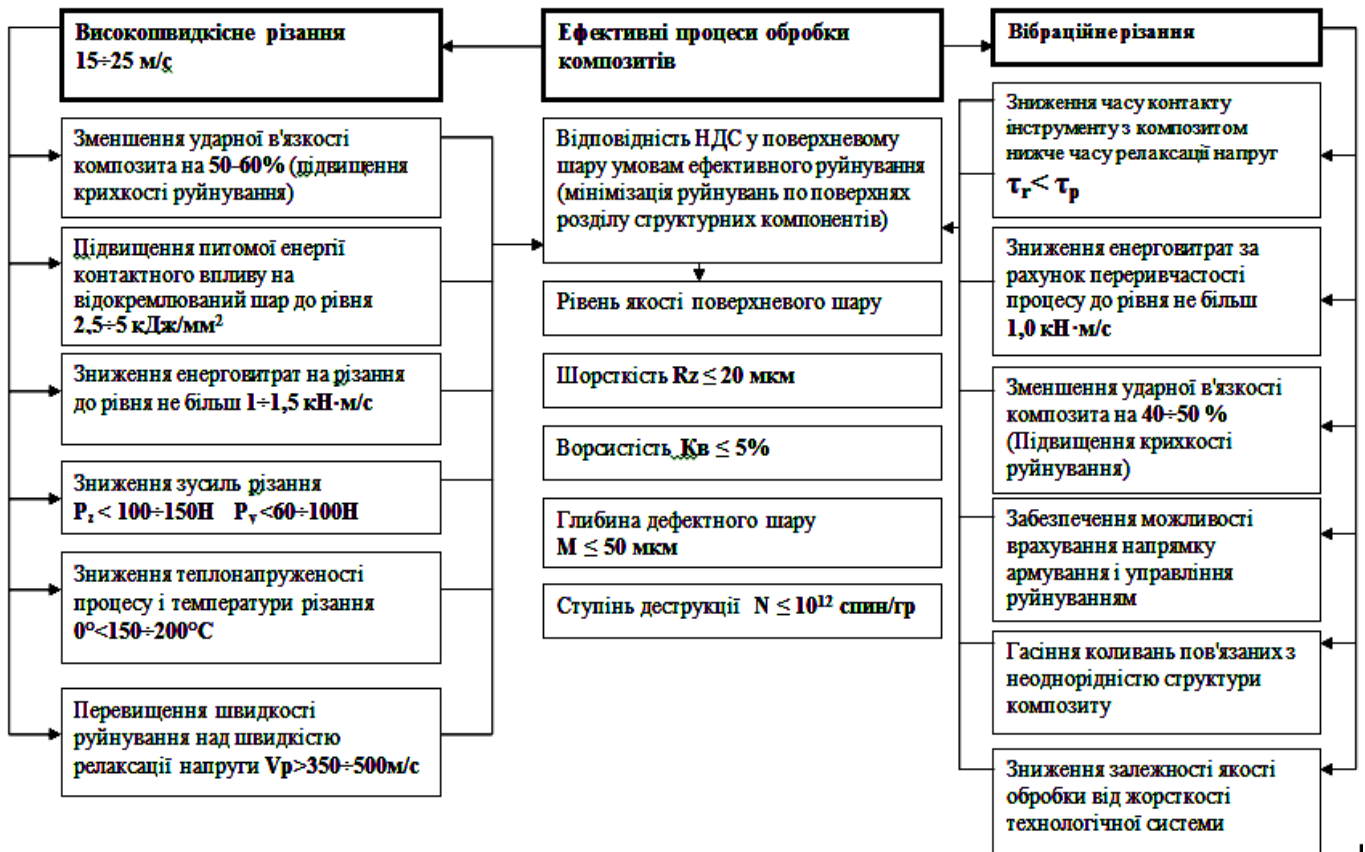


Рис. 16. Встановлені фактори які сприяють підвищенню якості поверхневого шару композитів при високошвидкісному та вібраційному різанні

На основі високошвидкісного, вібраційного різання та застосування спеціальних інструментів створено високоефективні процеси механічної обробки волокнистих полімерних композитів. При цьому розроблені теоретичні основи, схеми обробки й запропоновані умови ефективного різання.

Для розширення функціональних можливостей полімерних композитів, установлення нових областей застосування та номенклатури виробів за рахунок використання переваг створених ефективних процесів, установили експериментальні закономірності впливу якості поверхневого шару волокнистих полімерних композитів на їхні експлуатаційні властивості-міцність, втомні характеристики, твердість, вологопоглинання, гальванічний потенціал, зносостійкість поверхонь, об'ємний електричний опір, електричну міцність, тангенс кута діелектричних втрат. Це дозволило розробити практичні рекомендації для заміни металевих конструкційних матеріалів на полімерні композиційні (рис. 17). Визначена номенклатура конкретних виробів з полімерних композитів, які можна застосовувати в різних галузях промисловості.

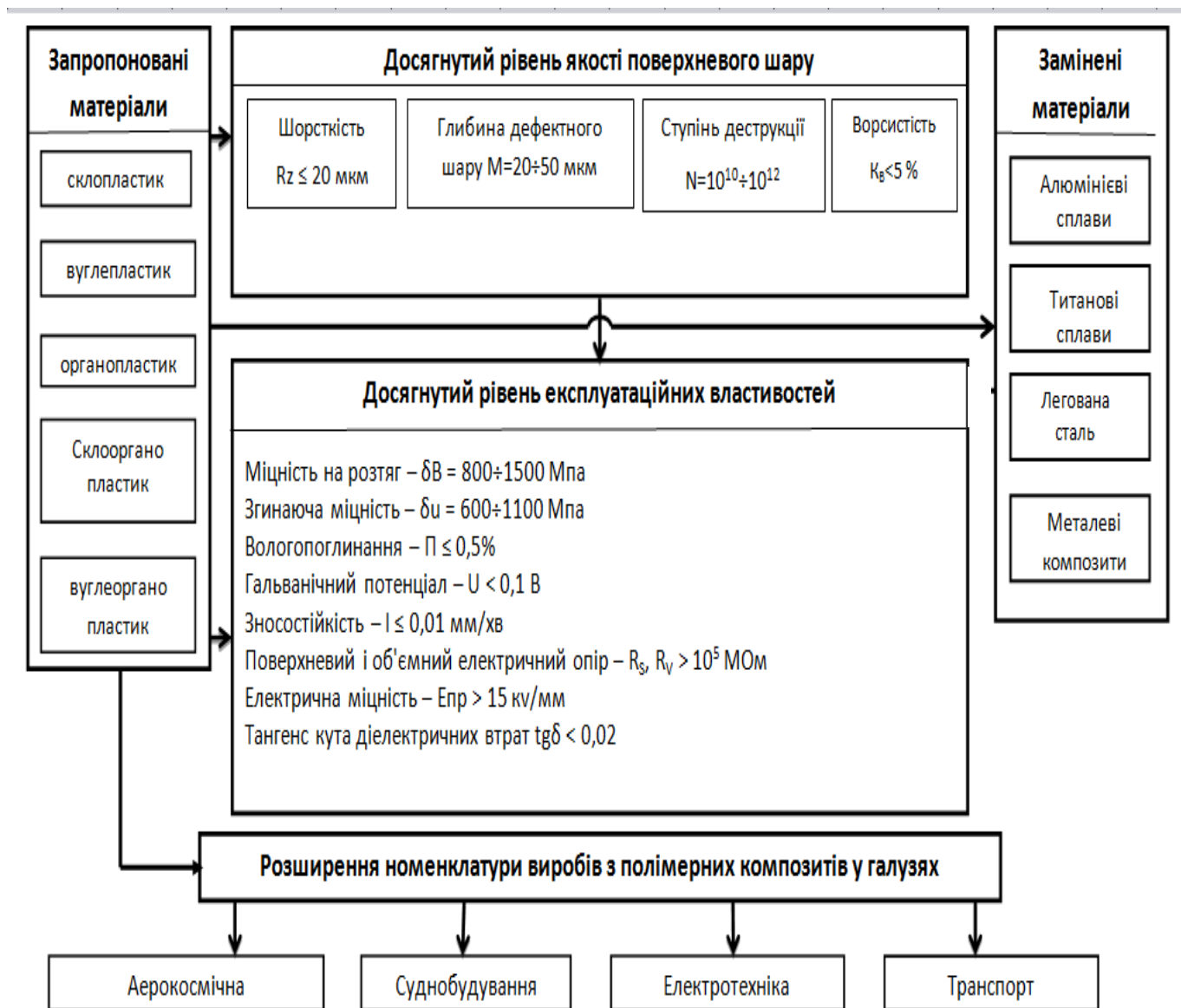


Рис.17. Розширення функціональних можливостей волокнистих полімерних композитів

В додатках А, Б, В наведено акти впровадження результатів дослідження, тривимірні графіки залежностей інтегрального показника якості від умов різання та результати моделювання процесу різання полімерних композитів спеціальними інструментами.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі використання сучасних положень теорії різання та механіки руйнування, всебічного аналізу енергетичних характеристик процесу різання і установлення його фізичних особливостей та закономірностей, вирішена науково-практична проблема підвищення якості поверхневого шару волокнистих полімерних композитів після механічної обробки, що дозволяє розширити функціональні можливості цих матеріалів за рахунок поліпшення їх експлуатаційних характеристик.

1. На основі використання критеріїв міцності та руйнування волокнистих полімерних композитів розроблена загальна методологія встановлення ефективних умов їх механічної обробки, що базується на врахуванні зміни динамічних пружних, міцнісних властивостей і енергетичних характеристик процесу різання. Основу концептуальної моделі забезпечення необхідної високої якості поверхневого шару волокнистих полімерних композитів після механічної обробки визначають умови різання, що забезпечують локалізацію руйнувань по поверхнях розділу структурних компонентів у поверхневому шарі композитів.

2. Створена модель взаємодії ріжучого клина з оброблюваним волокнистим композитом, розроблені експериментальні та теоретичні методики визначення динамічних пружних і міцнісних властивостей композиту, енергетичних характеристик процесу різання, що дозволило провести всебічний аналіз впливу умов різання на характеристики поверхневого шару (шорсткість, ворсяність, глибину дефектного шару, ступінь деструкції).

3. Встановлені силові та енергетичні характеристики процесу різання волокнистих полімерних композитів і їх вплив на якість поверхневого шару. Встановлено, що збільшення питомої енергії дії контактних поверхонь інструмента на відокремлюваний шар до рівня $2,5 \div 5$ кДж/мм² у комбінації зі зниженням енерговитрат на різання до $1,5$ кН·м/с сприяють зниженню глибини дефектного шару в 10 разів (глибина до 20 - 50 мкм). Встановлено, що локалізація руйнувань на поверхнях розділу досягається за рахунок збільшення швидкості деформування та зменшення площі і часу контакту різального інструменту з оброблюваним матеріалом.

4. На основі розробленої експериментальної методики встановлено вплив силових і енергетичних характеристик процесу різання на динамічні пружні та міцнісні властивості волокнистих полімерних композитів. Зі збільшенням питомої енергії впливу контактних поверхонь інструменту на відокремлюваний шар підвищуються: межа міцності на стиск і адгезійна міцність зв'язку «волокно-матриця», а межа міцності на зсув та ударна в'язкість композиту знижуються. Це створює передумови для

встановлення напружено-деформованого стану в процесі різання, при якому локалізуються руйнування композиту по поверхнях розділу в глибину приповерхневого шару не більше ніж на $20\div 50$ мкм.

5. Виявлені особливості і закономірності впливу різального інструменту на волокнистий полімерний композит з використанням методу граничних елементів у комбінації з методом скінчених елементів і прикладного пакету ANSYS. Встановлено, що на характер і глибину руйнувань оброблюваного матеріалу по поверхнях розділу структурних компонентів впливають ті технологічні параметри процесу різання, які впливають на енергетичні характеристики процесу різання – це швидкість різання, товщина зрізу, величина зношування по задній поверхні та радіус округлення ріжучої крайки. Раціональна швидкість різання визначається виходячи зі співвідношення динамічних значень адгезійної міцності зв'язку «волокно-матриця» і меж міцності композиту на стиск і зсув. Величина цієї швидкості різання відповідає значенням, при яких кінетичної енергії стає досить для просування магістральної випереджальної тріщини з максимальною швидкістю. Визначено раціональні енергетичні характеристики процесу різання склопластику: співвідношення швидкості різання, товщини зрізу, радіуса округлення ріжучої крайки та величини фактичної площі контакту по задній поверхні повинні бути такі, щоб забезпечувалася питома енергія впливу контактних поверхонь інструмента на відокремлюваний шар не менш $2,5$ кДж/мм² при енерговитратах на різання не більш $1,5$ кН·м/с. При цих умовах глибина дефектного шару не перевищує $20\div 50$ мкм, у той час як для традиційних умов різання вона становить до 300 мкм.

6. Розроблена та теоретично обґрунтована методика кількісної оцінки якості поверхневого шару за чотирма параметрами: шорсткість обробленої поверхні, ворсяність обробленої поверхні, глибина дефектного шару та ступінь деструкції полімерних складових композиту. Рекомендовано використовувати інтегральний показник якості для рішення задач пошуку оптимальних режимів різання композитів. Вперше створені математичні моделі якості поверхневого шару для різних видів обробки та різних представників волокнистих полімерних композитів.

7. Експериментально встановлено вплив умов різання на показники якості поверхневого шару волокнистих полімерних композитів. Підтверджено превалюючий вплив на показники якості тих умов обробки, які визначають енергетичні характеристики процесу різання. Встановлено, що вплив швидкості різання на стан поверхневого шару носить екстремальний характер; зі збільшенням швидкості різання збільшується питома енергія дії контактних поверхонь на мікрооб'єми матриці та окремі волокна, підвищується крихкість руйнування, що знижує енерговитрати і температуру різання, у тому числі і за рахунок зниження фактичної площі контакту. Після досягнення оптимального значення подальше збільшення швидкості різання на фоні стабілізації швидкості поширення тріщин призводить до поступового росту роботи тертя й температури, а отже і ступеня термодеструкції полімеру. Збільшення радіуса округлення ріжучої крайки до $15\div 20$ мкм і фактичної довжини контакту по задній

поверхні до 100÷120 мкм призводить до зменшення дотичних напружень в умовній площині сколювання та збільшення дотичних напружень уздовж поверхонь розділу, що приводить до їхніх руйнувань, збільшення роботи сил на задній поверхні, температури різання, а отже, глибини і ступеня деструкції. Запропоновані раціональні умови різання для різних композитів, що враховують геометричні параметри, структури цих матеріалів.

8. На основі моделювання процесу різання волокнистих полімерних композитів спеціальними осьовими багатозубими інструментами встановлено вплив ступеня нерівномірності фрезерування на руйнування по поверхні розділу « волокно-матриця». Показано, що для зменшення ступеня нерівномірності фрезерування необхідно підбирати такі співвідношення діаметра фрези, глибини і ширини фрезерування, кута нахилу стружкових канавок і кута контакту інструменту із заготовкою, щоб забезпечити безперервний контакт фрези з оброблюваним матеріалом. Розроблена математична модель дозволяє визначити такі співвідношення. Запропонована методика вибору раціональних динамічних характеристик процесу різання волокнистих полімерних композитів спеціальними інструментами. Отримані практичні рекомендації з їхнього використання.

9. Теоретично обґрунтовані технологічні способи реалізації умов ефективного різання та запропоновані ефективні технологічні процеси механічної обробки. Установлено, що для локалізації руйнувань композита по поверхнях розділу необхідно: перевищення швидкості деформування композита над швидкістю релаксації напружень, максимальне зменшення динамічної ударної в'язкості і збільшення модуля пружності першого роду, встановлення раціональних енергетичних характеристик процесу різання, наближення характеру руйнування композита до характеру руйнування гомогенної структури. Ці умови реалізуються за рахунок застосування високошвидкісного різання. Запропоновані практичні рекомендації застосування процесів високошвидкісної обробки.

10. Для розширення функціональних можливостей полімерних композитів шляхом поліпшення стану поверхневого шару та експлуатаційних характеристик виробів за рахунок зменшення ударної в'язкості композитів і підвищення крихкості руйнування, гасіння коливальних, пов'язаних з неоднорідністю структури композитів, зниження енерговитрат і сили різання, зниження часу контакту інструменту з оброблюваним матеріалом, зниження залежності якості обробки від жорсткості технологічної системи, рекомендовано застосування вібраційного різання. Дані практичні рекомендації з вибору його раціональних параметрів.

11. Встановлено вплив якості поверхневого шару волокнистих полімерних композитів після механічної обробки на їхні експлуатаційні характеристики та на цій основі розроблені практичні рекомендації з розширення функціональних можливостей цих матеріалів. Результати, роботи впроваджені на: ВАТ «Турбоатом», Науково-виробничому підприємстві «Оснащення», Науково-виробничому підприємстві «Хартрон-Плант», Центральному казенному конструкторському бюро «Про-

тон» із сумарним річним економічним ефектом близько 200 тис. грн. Результати роботи впроваджені в навчальний процес в Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Тарасюк А.П. Механическая обработка волокнистых полимерных композитов: монографія / Н.В. Верезуб, А.П. Тарасюк, Г.Л. Хавин, А.А. Гетманов. – Харьков: ХГАДУ (ХАДИ), 2001.-180 с.

Здобувачем встановлені фізичні особливості та закономірності процесу різання полімерних композитів. Визначені експлуатаційні показники виробів. Запропоновані високоефективні процеси механічної обробки.

2. Тарасюк А.П. Деякі проблеми та шляхи дослідження поверхневого шару оброблених різанням волокнистих композитів / А.П. Тарасюк // Вісник Сумського державного аграрного університету. – Суми: СДАУ, 2000. – вип.5. – С. 118-124.

3. Тарасюк А.П. Энергетические аспекты разрушения полимерных композитов при резании / Н.В. Верезуб, Г.Л. Хавин, А.П., А.П. Тарасюк // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – вип. 59. – С. 28-34.

Здобувачем встановлені енергетичні характеристики процесу різання композитів.

4. Тарасюк А.П. Предпосылки совершенствования процессов механической обработки волокнистых композитов / А.П. Тарасюк // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – вип. 60. – С. 221-228.

5. Тарасюк А.П. Проблемы исследования поверхностного слоя детали из волокнистых полимерных композитов, обработанных резанием / А.П. Тарасюк // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПИ», 2001. - №1. – С. 259-262.

6. Тарасюк А.П. Разработка принципов создания экспертной системы выбора эффективных процессов механической обработки волокнистых материалов / А.П. Тарасюк // Високі технології: розвиток та кадрове забезпечення: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПИ», 2001. – С. 243.

7. Тарасюк А.П. Механика разрушения волокнистых полимерных композитов при резании / Н.В. Верезуб, Г.Л. Хавин, А.П. Тарасюк // резание и инструмент в технологических системах. – Харків: НТУ «ХПИ», 2002. – вип. 61. –С. 206-213.

Здобувачем встановлені особливості руйнування полімерних композитів при різанні.

8. Тарасюк А.П. Механика резания волокнистых полимерных композитов / Н.В. Верезуб, А.П. Тарасюк // Вопросы механики и физики процессов резания и холодного пластического деформирования: зб. наук. праць. – К.: ИНМ ім. В.Н. Бакуля НАН України, 2002. – С. 187 -195.

Здобувачем проведено дослідження механіки різання полімерів армованих органічними волокнами..

9. Тарасюк А.П. Использование интегрированного подхода к оценке качества механической обработки волокнистых композитов при оптимизации процесса резания / А.А. Тарасюк // Резание и инструмент в технологических системах. – Харків: НТУ «ХП», 2002. – вип.. 62. – С. 132-138.

10. Тарасюк А.П. Пути улучшения качественных характеристик поверхностного слоя при резании волокнистых полимерных композитов / А.П. Тарасюк // Резание и инструмент в технологических системах. – Харків: НТУ «ХП», 2002. – вип.. 63. – С. 157-162.

11. Тарасюк А.П. Особенности формирования поверхностного слоя при механической обработке волокнистых полимерных композитов / А.П. Тарасюк // Резание и инструмент в технологических системах. – Харків: НТУ «ХП», 2003. – вип.. 64. – С.193–198.

12. Тарасюк А.П. Підвищення вібраційного різання волокнистих полімерних композитів / Н.В. Верезуб, А.П. Тарасюк // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля – Луганськ: СНУ, 2005. - №11. – С. 80-85.

Здобувачем запропоновано спосіб підвищення ефективності вібраційного різання полімерних композитів.

13. Тарасюк А.П. Резка стеклопластика специальным алмазным инструментом / А.П. Тарасюк, Н.В. Верезуб, А. Смит, А. Федоров // Резание и инструмент в технологических системах. – Харків: НТУ «ХП», 2006. – вип. 70. – С. 448-456.

Здобувачем запропонована форма ріжучої частини спеціального алмазного інструменту для різання склопластика.

14. Тарасюк А.П. Влияние условий обработки на силу резания при фрезеровании волокнистых полимерных композиционных материалов/ А.П. Тарасюк // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХП», 2008. – вип. 2. – С. 66-71.

15. Тарасюк А.П. Особенности расчета суммарной площади сечения среза и мгновенной окружной силы при фрезеровании инструментами с разнонаправленными режущими кромками / А.П. Тарасюк, Ю.Н. Мальцев // Резание и инструмент в технологических системах. – Харків: НТУ «ХП». 2008. – вип.. 75. – С. 401-411.

Здобувачем розроблена математична модель для дослідження динаміки фрезерування полімерних композитів спеціальними багатозубими інструментами.

16. Тарасюк А.П. Расчет динамических характеристик фрезерования специальным инструментом для обработки волокнистых полимерных композиционных материалов. / А.П. Тарасюк, Ю.Н. Мальцев // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХП», 2008. – вип. 2. – С. 426-433.

Здобувачем запропоновано алгоритм розрахунків динамічних характеристик процесу різання полімерних композитів спеціальними інструментами.

17. Тарасюк А.П. Особенности расчета суммарной площади сечения среза и мгновенной окружной силы при фрезеровании инструментами с радионаправленными кромками/ А. П. Тарасюк, П.В. Кобеляков // *Машинобудування*. – Харків: УПА, 2008. - №3. – С. 82-96.

Здобувачем здійснено постановку задачі, розроблено розрахункові схеми та математичні моделі для дослідження нерівномірності фрезування полімерних композитів спеціальними інструментами.

18. Тарасюк А.П. Особенности геометрии свердел для обработки полимерных материалов / А.П. Тарасюк, О.Л Кондратюк, Ю.І. Сичов // *Машинобудування*. – Харків: УПА, 2009. - №4. – С. 120-125.

Здобувачем запропонована форма стружкової канавки у свердла для обробки полімерних матеріалів.

19. Тарасюк А.П. Влияние условий резания на напряженное состояние и разрушение волокнистых полимерных композиционных материалов/ А.П. Тарасюк // *Резание и инструмент в технологических системах*. – Харків: НТУ «ХПИ», 2009. – вип. 76. – С. 185-193.

20. Тарасюк А.П. исследование процесса чистовой обработки новым инструментальным наноматериалом «Волькар» / А.П. Тарасюк, А.В. Холод // *Машинобудування*. – Харків: УПА, 2009. - №4. – С. 126-132.

Здобувачем проаналізована можливість застосування інструментальних наноматеріалів для заміни дорогих надтвердих матеріалів, в т.ч. для обробки неметалів.

21. Тарасюк А.П. Пристрій для обробки кінців труб/ Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, Б.Г. Лях, В.І. Неко, В.В. Самчук // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – Харків: «Технологічний центр», 2010. - №5/5 (47). – С. 24-29.

Здобувачем розроблені раціональні режими різання для обробки кінців труб.

22. Тарасюк А.П. Метод відновлення висоти колон на прямій за допомогою світла відбитого від колон під різними кутами / О.М. Литвин, А.П. Тарасюк, О.О. Литвин // *Обчислювальні методи і системи перетворення інформації*. – Львів: ФМУ НАНУ, 2010. – С. 244-248.

Здобувачем запропоновано і науково обгрунтовано спосіб заміру ворсянності обробленої поверхні волокнистих композитів за допомогою відбитого світла.

23. Тарасюк А.П. Керування режимами алмазного свердління в деталях з тендітних неметалічних матеріалів / О.Л. Кондратюк, А.П. Тарасюк, А.О. Скоркін, О.О. Литвинова // *Східно - Європейський журнал передових технологій*. – Харків: «Технологічний центр», 2010. - №5/5 (47) – С. 51–54.

Здобувачем запропоновано алгоритм управління режимами алмазного свердління неметалевих матеріалів.

24. Тарасюк А.П. Розробка безвібраційних обробних комплексів/ Ю.І. Сичов, А.П. Тарасюк, Б.Г. Лях, В.В. Самчук // *Східно - Європейський журнал передових технологій*. – Харків: «Технологічний центр», 2011 - №3/7 (51) – С. 46–49.

Здобувачем розроблено схему безвібраційних обробних комплексів.

25. Пат. 18200 А. Україна, В26Д 1/12, В23С 5/10. Різальний інструмент для обробки волокнистих матеріалів / А.П. Тарасюк, О.А. Мельниченко, М.В. Захаров, П.В. Кушніров; заявник та власник патенту Сумський державний університет; опубл. 01.07.1997, Бюл. №6.

Здобувачем запропонована нова форма ріжучої частини кінцевої фрези для обробки волокнистих матеріалів.

26. Пат. 203227 А Україна, В23Е 27/00. Різець / А.П. Тарасюк, О.А. Мельниченко, М.В. Захаров, П.В. Кушніров; заявник та власник патенту Сумський державний університет; опубл. 15.07.1997, Бюл. №7.

Здобувачем запропонована нова форма ріжучої частини різця для обробки полімерних композитів.

27. Тарасюк А.П. Оптимизация процесса резания высокопрочных полимерных композиционных материалов / В.І. Дрожжин, А.П. Тарасюк // Оптимизация процессов обработки конструкционных материалов: сб. науч. труд. – Уфа: УГАТУ, 1996. – С. 17–20.

Здобувачем встановлені критерії оптимізації процесу різання надміцних композитів.

28. Тарасюк А.П. Интегрированный подход к оценке качества механической обработки волокнистых композитов / А.П. Тарасюк // УНИТЕХ – 02: сб. науч. праць. – Габрово (Болгарія), 2002. – С. 349-351.

29. Тарасюк А.П. Проблемы обеспечения равномерности фрезерования композитов специальными инструментами / А.П. Тарасюк // УНИТЕХ – 08: сб. науч. праць. – Габрово (Болгарія), 2008. – С. 147–152.

30. Tarasyuk A. Theory of vibration machining process/ А. Tarasyuk, N. Verezub // Micro CAD 2005 : сб. науч. праць. – Mishole (Угорщина), 2005. – С. 89–93.

Здобування розроблені режими вібраційного різання полімерних композитів.

31. Tarasyuk A. Mechanics of fibereinforced plastic machining / О. Verezub, А. Fedorov, А. Tarasyuk, N. Verezub // ENGINEERING & AVTORATION PROBLEMS. Inter – national journal. – Москва, 2010. – NI. – С. 85–89.

Здобувачем установлені раціональні умови механічної обробки полімерних композитів.

АНОТАЦІЇ

Тарасюк А.П. Научные основы расширения функциональных возможностей полимерных композитов за счет создания эффективных процессов механической обработки. - Рукопись

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.03.01. – процессы механической обработки, станки и инструменты. – Украинская инженерно – педагогическая академия, Харьков 2011.

В диссертации представлено новое решение актуальной научно – технической проблемы повышения качества поверхностного слоя волокнистых полимерных композитов после механической обработки, что позволило расширить функциональные возможности этих материалов за счет улучшения их эксплуатационных характеристик. Сформулирована концепция эффективности процесса резания волокнистых полимерных композитов, основанная на минимизации влияния физических и технологических факторов на разрушение композита по поверхностям раздела структурных компонентов. Реализован новый подход в обеспечении условий эффективного резания, в основу которого положено повышение удельной энергии воздействия контактных поверхностей режущего инструмента на отделяемый слой, минимизация энергозатрат на процесс резания; повышение прочности адгезионной связи волокон с матрицей в подрезцовой зоне и снижение величин напряжений и деформаций, при которых происходит разрушение композита в условной плоскости скалывания за счет управления изменением динамических и прочностных свойств обрабатываемого материала, минимизация влияния физических и технологических факторов на термомеханическую деструкцию полимерных составляющих композита.

Показано, что увеличение скорости деформирования и уменьшение площади и времени контакта режущего инструмента с микрообъемами матрицы и отдельными волокнами обеспечивает увеличение удельной энергии воздействия контактных поверхностей инструмента на отделяемый слой и изменение условий релаксации напряжений, обеспечивающих снижение влияния механического фактора на разрушение композита по поверхности раздела структурных компонентов, снижение работы деформации и температуры резания за счет уменьшения динамической ударной вязкости, что снижает влияние теплового и химического фактора на разрушение по поверхностям раздела структурных компонентов, снижение энергозатрат на резание, что обеспечивает повышение качества поверхностного слоя композита за счет снижения шероховатости и ворсистости обработанной поверхности и глубины диспергирования и деструктирования наполнителя.

Показано, что силовые и энергетические характеристики процесса резания являются определяющими в формировании поверхностного слоя и в конечном итоге определяют его качество. Установлено, что уменьшение удельной энергии воздействия контактных поверхностей инструмента на отделяемый слой до уровня $2,5 \text{ кДж/мм}^2$ в сочетании со снижением энергозатрат на резание до $1,5 \text{ кН}\cdot\text{м/с}$ способствует уменьшению глубины дефектного слоя композита в 10 раз.

Моделирование контактного взаимодействия режущего инструмента с волокнистым полимерным композитом позволило установить, что на характер и глубину разрушений обрабатываемого материала по поверхностям раздела структурных компонентов оказывают влияние те технологические параметры процесса резания, которые оказывают наибольшее влияние на энергетические характеристики процесса – это скорость резания, параметры среза, величина радиуса округления режущей кромки.

Установлено значительное влияние геометрических параметров упаковки волокнистого наполнителя в композите на обеспечение максимальной динамической адгезионной прочности связи волокон с матрицей, что определило выбор рациональных схем и параметров обработки композитов.

Разработана и теоретически обоснована методика количественной оценки качества поверхностного слоя по четырем параметрам – шероховатость и ворсистость обработанной поверхности, глубина и степень деструкции поверхностного слоя. Впервые созданы математические модели качества поверхностного слоя для различных видов обработки и различных представителей волокнистых полимерных композитов.

Разработаны технологические способы реализации условий эффективного резания, в основу которых положено увеличение скорости деформирования композита при резании и уменьшение фактической площади и времени контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом, что легло в основу обоснования новых нетрадиционных способов и условий обработки полимерных композитов: высокоскоростная обработка, применение вибрационного резания, использование специальной формы режущей части инструментов.

Показана решающая роль непрерывности контакта при резании волокнистых полимерных композитов специальными многозубыми осевыми инструментами в обеспечении минимальных перепадов составляющих силы резания.

Это обеспечивает минимизацию влияния конструктивных и геометрических параметров инструментов на разрушение композитов по поверхностям раздела структурных композитов.

Впервые установлено влияние качественных характеристик поверхностного слоя волокнистых полимерных композитов на их эксплуатационные свойства, что позволило дать рекомендации по расширению функциональных возможностей изделий из композитов.

Основным практическим результатом работы являются создание и внедрение эффективных процессов механической обработки волокнистых полимерных композитов, позволяющих расширить номенклатуру применяемых изделий из этих материалов и заменить во многих случаях дорогостоящие металлы и сплавы.

Ключевые слова: процесс резания, механическая обработка, математическое моделирование, качество поверхностного слоя, полимерный композит, поверхность раздела, энергетические характеристики, разрушение, высокоскоростное резание, вибрационное резание, эксплуатационные свойства.

Тарасюк А.П. Наукові основи розширення функціональних можливостей полімерних композитів за рахунок створення ефективних процесів механічної обробки. – Рукопис

Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси технічної обробки, верстати та інструменти. – Українська інженерно-педагогічна академія, Харків 2011.

В дисертації представлено нове рішення актуальної науково-технічної проблеми підвищення якості поверхневого шару волокнистих полімерних композитів після механічної обробки, що дозволило розширити функціональні можливості цих матеріалів за рахунок покращення їх експлуатаційних характеристик.

Реалізовано новий підхід до забезпечення умов ефективного різання в основу якого покладено підвищення питомої енергії дії контактних поверхонь різального інструменту на відокремлювання шару, мінімізація енерговитрат на процес різання, підвищення міцності адгезійного зв'язку волокон з матрицею в поверхневому шарі та зниження величин напруг і деформацій, при яких проходить руйнування композиту в умовній площині сколювання.

Розроблені технологічні способи реалізації умов ефективного різання, в основу яких покладено збільшення швидкості деформування композиту при різанні та зменшення фактичної площі та часу контакту різального інструменту з оброблюваним матеріалом, що лягло в основу обґрунтування нових нетрадиційних способів та умов обробки полімерних композитів: високошвидкісна обробка, застосування вібраційного різання, використання спеціальної форми різальної частини інструментів.

Основним практичним результатом роботи є розробка і впровадження ефективних процесів механічної обробки волокнистих полімерних композитів, що дозволяє розширити номенклатуру виробів з цих матеріалів і замінити в багатьох випадках дорогі метали та сплави.

Ключові слова: процес різання, механічна обробка, математичне моделювання, якість поверхневого шару, полімерний композит, поверхня розділу, енергетичні характеристики, високошвидкісне різання, вібраційне різання, експлуатаційні властивості.

Tarasuk A.P. The scientific basic foundation of polymer compounds enhancement for account of effective processes of mechanical treatment making. – Manuscript.

Dissertation for a degree of Doctor of Technical Sciences in speciality 05.03.01. – processes of mechanical treatment, machine tools, instruments. Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv 2011.

The dissertation presents a new solution of actual scientific-technical problem of quality improvement of surface layer of sliver polymer compounds after mechanical treatment, allowing to extend functional opportunities of these materials for account of their performance characteristics.

A new approach to provide conditions of effective cutting is realized. The specific energy increasing of contact surfaces acting of cutting instrument on loose ply, the minimization of power inputs on cutting process, the hardening of adhesive bond of fibres

with matrix in undercutter zone and decreasing of stress and deformation rate, at which composite destruction happened in conventional plane are assumed as a basis of this approach.

The technological ways of conditions realization of effective cutting are developed. The increasing of compounds straining speed at cutting and reducing of actual area and contact time of cutting instrument with work piece are assumed as a basis of new non-traditional ways and conditions of polymer compounds treatment - high-velocity manufacturing, application of vibration cutting, using of specific form of cutting part of instruments.

The development and implementation of effective processes of mechanical treatment of sliver polymer compounds is a basic practical result and it allows to expand the product mix from these materials and replace expensive materials and alloys in most cases.

Key words - cutting process, polymer compound, mathematic modeling, quality of surface layer, mechanical treatment, energy characteristics, deformation, high-speed cutting, vibrational cutting, service properties.