

УДК 678.029.3

©Бабай С.О., Тарасюк А.П.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ВИРОБУ З ВУГЛЕ-ОРГАНОПЛАСТИКА**

### **1. Постановка проблеми**

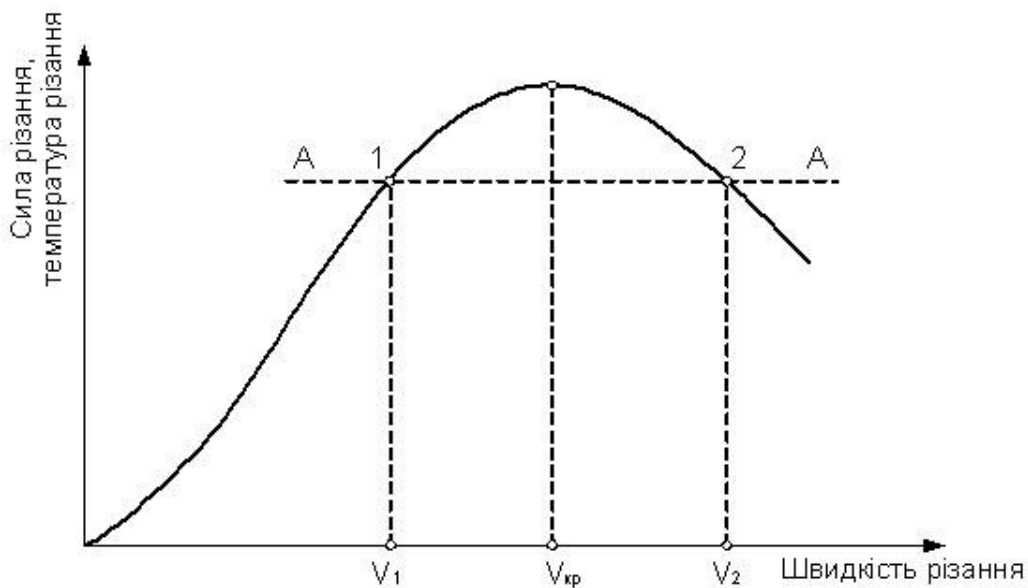
Підвищення ефективності механічної обробки є важливим завданням сучасного машинобудування, що включає досягнення найбільш високої продуктивності обробки із забезпеченням заданого рівня якості поверхневого слою деталей.

Раніше представлені основні положення механіки різання полімерних композитів визначили напрямки створення високоефективних процесів механічної обробки високоміцних полімерних композитів. Реалізація основних положень механіки різання базується на використанні оригінальних ріжучих інструментів, високих швидкостей різання, мінімальних перетинів шару, що зрізається.

Однією з ефективних напрямків рішення цієї задачі є високошвидкісна обробка, яка сьогодні стає ключовим чинником успіху сучасного виробництва.

Теоретичним обґрунтуванням високошвидкісної обробки є так звані криві Заломона (рис. 1), які показують зниження сил різання в деякому діапазоні швидкостей [7]. К. Заломон стверджував, що для всіх матеріалів залежність температури, що значною мірою визначає стійкість ріжучого інструменту і якості обробленої поверхні від швидкості різання, носить екстремальний характер. Тобто із збільшенням швидкості температура різання спочатку збільшується до якоїсь максимальної величини, а з подальшим зростанням швидкості температура різання починає поступово зменшуватися і, нарешті, досягає такої величини, при якій знову допустиме різання, тобто температурні умови роботи інструменту стають такими ж, як при звичайних швидкостях різання.

Пряма А-А (рис. 1), паралельна осі абсцис, пересікає криву в двох крапках – 1 і 2. Звідси видно, що температура, допустима на лезі інструменту при його роботі із заданою величиною стійкості, може мати місце при двох різко різних швидкостях різання  $V_1$  і  $V_2$ .  $V_{кр}$  – критична швидкість, вище за яку обробка не виробляється.  $V_2$  – швидкість, вище за яку обробка знову ставати можливою. Зона швидкостей, вище за швидкість  $V_2$ , вважається зоною високошвидкісного різання. Для різних матеріалів точка 2 відповідає різним швидкостям різання.



**Рис. 1** – Криві Заломона

Високошвидкісна обробка поєднує правильний вибір всіх складових чинників, обуславлюючих процес обробки: верстат, система управління, технологічне оснащення, кваліфікація технолога програміста і оператора верстата з ЧПУ.

## **2. Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Перші роботи з оброблюваності полімерних композитів з'явилися в СРСР в 30-і роки. П.М. Козлов [2] вивчив дію наповнювача композитів на стан різального інструменту, зробив правильний вивід про вплив состава пластмас на стан ріжучих кромки інструмента. У ці ж роки з'явилася робота Л.І. Лисенко

[3], який установив взаємозв'язок між зношуванням різального інструменту і якістю обробленої поверхні. В 40-60 роках ХХ століття опублікований ряд робіт з вивчення процесу різання волокнистих полімерних композитів, де особливо виділяються роботи М.Н. Ларіна [3], А.І. Ісаєва [6], С.В. Єгорова [4]. У дослідженнях С.В. Єгорова вперше вивчена роль силового й температурного фактора при обробці пластмас. На прикладі обробки склотекстоліту зроблений аналіз процесу стружковитворювання, а стружка, що утворюється, характеризується як стружка надлому, яка багато в чому визначає значну шорсткість обробленої поверхні. С.В.Єгоров встановив зв'язок між зношуванням різального інструменту і якістю поверхні.

Найбільш докладними роботами того часу з'явилися дослідження А.І. Ісаєва [6], у яких визначені оптимальні геометричні параметри й режими фрезерування при обробці термопластичних і наповнених пластмас.

Поряд з Харківською школою в 70-80 роки велися інтенсивні дослідження в механічному інституті (м. Санкт-Петербург) під керівництвом А.А. Степанова, Омськом політехнічному інституті під керівництвом Б.П. Штучного, Державному технічному університеті імені Баумана (м. Москва) під керівництвом В.Н. Подураєва і В.М.Ярославцева, Інституті надтвердих матеріалів НАН України В.Г.Сороченко.

Широкомасштабні дослідження фізичних явищ процесу різання полімерних композитів і розробки на їхній основі науково обґрунтованих режимів різання дозволили авторському колективу з м. Москви, Харкова, Санкт-Петербурга, Омська опублікувати в 1982 році «Загальномашинобудівні нормативи режимів різання, норм зношування й витрати різців, свердлів і фрез при обробці неметалічних конструкційних матеріалів (пластмас)». Автори перерахованих робіт внесли значний вклад у розвиток науки про різання неметалічних матеріалів, створили фундамент нового наукового напрямку. Завдяки цим роботам механічна обробка пластмас знайшла широке застосування в технології машинобудування.

### **3. Мета дослідження**

Створення й реалізація високоефективних процесів лезвійної обробки волокнистих полімерних композитів на основі дослідження закономірностей мікромеханіки різання. Проводимо теоретичні дослідження полімерних композитів базуються на положеннях теорії різання й теорії формоутворення поверхонь, фізико-хімічної теорії контактної взаємодії інструментального й оброблюваного матеріалів. При проведенні експериментального дослідження обробляли матеріал – органопластик і вуглепластик.

### **4. Викладання основного матеріалу**

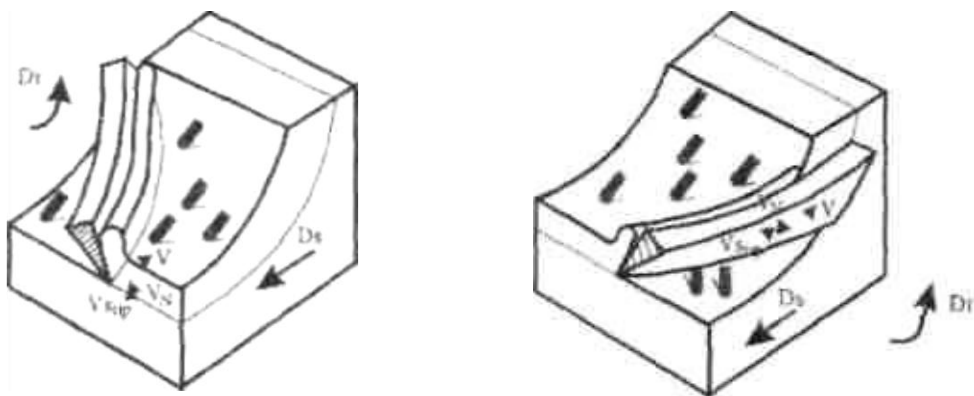
Процес контактної взаємодії інструмента з матеріалом визначає якісні й кількісні показники процесу різання в цілому, тому встановлення закономірностей і особливостей цієї взаємодії має велике значення для обґрунтованого рішення практичних питань механічної обробки полімерних композитів. Це особливо важливо, коли в технологічній системі пропонується істотна зміна умов різання (форми ріжучої частини інструментів і режимів різання).

У процесі різання волокнистих композитів, під дією механічних сил, механохімічних процесів і температури відбувається порушення адгезійних зв'язків між волокнистим наповнювачем і полімерною матрицею. Виникаючі в процесі контактування ріжучого клина з оброблюваним матеріалом здвигові деформації, приводять до зсуву роздроблених елементів матриці в поверхневому слої й вигину волокон, що відслоювалися, у напрямку дії сили різання. Зниження міцності адгезійних зв'язків між матрицею й волокном, високе відносне подовження органічних волокон, більш низький опір зрушенню ПКМ уздовж волокон, чому поперек, відмінність пружних властивостей сполучного й наповнювача, приводять до того, що розшарування перешкоджають руйнуванню ПКМ, як монолітної гомогенної структури [1].

Оскільки радіус округлення ріжучої кромки фрези ( $\rho = 20-40$  мкм), після закінчення періоду приробітки більше поперечних розмірів волокон і значно

більше товщини зрізу на ділянці поверхні різання, що формує оброблену поверхню клин, що ріже, взаємодіє з деформованими волокнами, що відслайовувалися, прикромочною ділянкою задньої поверхні. При цьому уздовж осі волокна діють розтягувальні напруги, які не досягають критичної величини через високе відносне подовження органічних волокон, досить високої межі міцності при розтяганні, а також вдавнення волокон у дефектний слой. Багатьма дослідниками рекомендується уникати таких умов різання, при яких у волокнах виникають розтягувальні напруги уздовж осі, і по можливості створювати умови, що забезпечують напруги стиску уздовж осі при обробці органопластиків і армованих ПКМ на їхній основі.

Логічно припустити, що при русі ріжучого клина в напрямку протилежнім вигину волокон, останні будуть випробовувати напруги стиску, що підвищує ймовірність їх руйнування, оскільки межа міцності при стиску в кілька раз менше межі міцності при розтяганні волокон. Такі умови різання можна реалізувати, тільки використовуючи фрези з новою формою зуба й різноспрямованими ріжучими кромками.



**Рис. 2** – Схема фрезерування волокнистих ПКМ фрезой с різнонаправленими різальними кромками

Спрощена схема обробки, що дозволяє зрозуміти принцип роботи цих інструментів, наведено на (рис. 2) [1].

Очевидно, що фрезерування інструментами з різноспрямованими ріжучими кромками буде ефективно тільки в тому випадку, якщо кожне

волокно в процесі різання випробовує вплив ріжучих кромок як з лівим, так і із правим нахилом, хоча б один раз (рис. 1).

Зі збільшенням зношування подача, при якій можна досягти заданої припустимої висоти ворсистості, зменшується. Збільшення необхідного числа впливів ріжучого клина на волокно зі збільшенням зношування, пояснюється збільшенням радіуса округлення ріжучої кромки, що приводить до збільшення площі контакту ріжуча кромко-волокно величини, що супроводжується зниженням, дотичних напружень.

Описана форма зуба лягла в основу створення ще однієї гама різальних інструментів для обробки волокнистих композитів – фрез із різноспрямованими ріжучими кромками. Їхньою відмінною рисою є наявність зубів, що чергуються, з лівим і правим нахилом гвинтових ріжучих кромок.

У процесі різання волокнистих композитів, під дією механічних сил, механохімічних процесів і температури відбувається порушення адгезійних зв'язків між волокнистим наповнювачем і полімерною матрицею. Це приводить до виникнення специфічного дефекту обробленої поверхні, так званої ворсистості. Особливо характерний цей дефект для полімерів, армованих органічними волокнами.

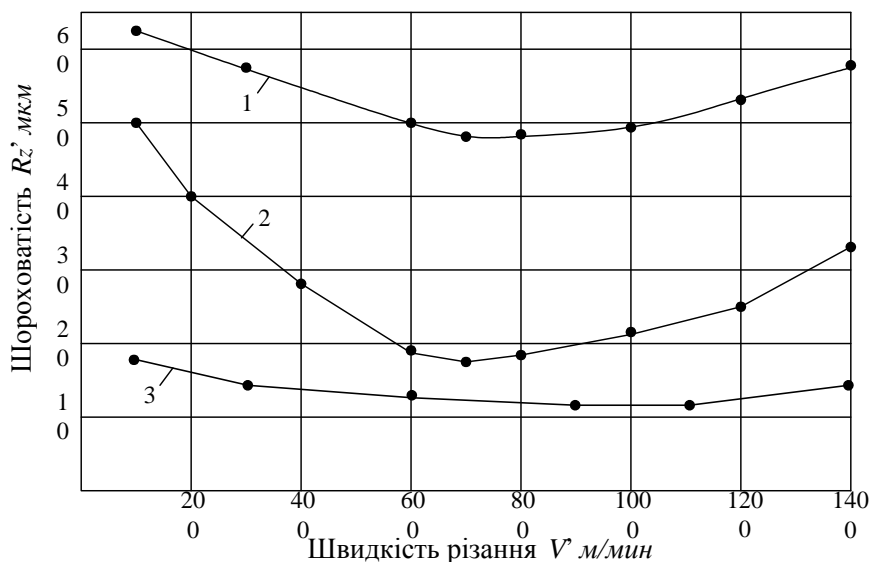
Варіювання умовами різання з використанням традиційних інструментів не дає бажаного результату в істотнім зниженні цього дефекту.

На основі виявлених кінематичних особливостей і закономірностей різання волокнистих композитів було встановлено, що ефективно зрізання волокон можливо тільки у випадку, якщо напрямок відносного руху ріжучих кромок буде протилежним напрямку вигину волокна, що відслоювалося, у межах дефектного слою, це може бути забезпечене тільки із застосуванням спеціальної ріжучої частини, що має різноспрямовані ріжучі кромки. Причому вперше встановлене, що для забезпечення ефективності зрізання волокон відношення головної складової сили різання до осьової не повинне перевищувати 1,5-2,5, на відміну від, що раніше допускаються 7-10; це забезпечується за рахунок збільшення кута нахилу гвинтового зуба до  $60^{\circ}$ - $65^{\circ}$ , а

також ретельного заточення й доведення прикромочних ділянок інструментів, при цьому радіус округлення ріжучої кромки заточеного інструмента повинен бути одного розмірного порядку з діаметром арміруючих елементів полімерних композитів.

Ефект високих швидкостей різання забезпечує направлене руйнування армуючих елементів композиту, що робить слой, що зрізається, досить рівним, стабільним і це наводить до поліпшення якості обробленої поверхні. Шорсткість обробленої поверхні при високих швидкостях різання і малих перетинах зрізу знижується в 1,75-2,5 разу.

На рис. 3 представлений графік залежностей шорсткості обробленої поверхні полімерних композитів від швидкості різання.



**Рис. 3** – Шорсткість обробленої поверхні при високошвидкісному фрезеруванні: 1 – органопластика кінцевою стандартною фрезою; 2 – органопластика фрезою з новою формою зуба; 3 – углепластика фрезою з новою формою зуба

Представлений графік показує, що високі швидкості обробки у поєднанні з фрезою з новою формою зуба значно підвищують якість обробленої поверхні, що є основною вимогою високошвидкісної обробки.

Результати порівняльного аналізу процесів високошвидкісного і традиційного фрезерування показують на 15-30-кратне збільшення

продуктивності при використанні високошвидкісного фрезерування; зменшення шорсткості поверхні в 1,75-2,5 разу.

Крім того, спостерігається значне поліпшення якості обробленої поверхні за рахунок зниження кількості і висоти незрізаних армуючих волокон, що пояснюється підвищенням питомої кінетичної енергії взаємодії ріжучого клину і волокон, що відслоювалися від матриці.

## **Висновки**

1. Проведений літературний огляд по вивченню структури й властивостей композиційних матеріалів, закономірностей механічної обробки й особливостей механіки різання полімерних композитів. Виявлені проблеми, що існують у даній галузі знань. Сформульовані мети й завдання даної роботи, рішення яких необхідно для поліпшення процесу різання волокнистих полімерних композитів.

2. Для теоретичного дослідження руйнування композита по поверхнях роздязнула в процесі різання розроблена модель контактної взаємодії різального інструменту з оброблюваним матеріалом.

3. З метою визначення впливу різних геометричних і технологічних факторів на розподіл напруг і початок руйнування, проведений ряд розрахунків, зокрема, досліджувався вплив на характер напружено-деформованого стану й руйнування швидкості різання, товщини зрізу, радіуса округлення ріжучої кромки, величин переднього й заднього кутів, зношування інструмента по задній поверхні.

3. За результатами аналізу технологічної системи визначена область ефективної обробки полімерних композитів з високими швидкостями різання. Проведений порівняльний аналіз застосування традиційного й високошвидкісного процесу обробки полімерних композитів, який дозволив виявити значні особливості й переваги обробки з високими швидкостями різання, а саме: висока якість обробленої поверхні, малі значення шорсткості, висока продуктивність процесу.



### **Список використаних джерел**

1. Современные композитные материалы / под ред. П. Крока, Л. Броутмана, пер. с англ. – М., 1970.
2. Кербер М. Л. Полимерные композитные материалы. Структура. Свойства. Технологии / М. Л. Кербер. – М. : МЭИ, 1999. – 372 с.
3. Достижения в области композиционных материалов: пер. с англ. / под ред. Дж. Пиатти. – М. : Металлургия, 1982. –304 с.
4. Семко М. Ф. Механическая обработка пластмасс / М. Ф. Семко, И. Г. Басканов, В. И. Дрожжин. – М.: Машиностроение, 1965. – 132 с.
5. Ларин М. Н. Фрезерование пластмасс, текстолита и гетинакса / М. Н. Ларин, Б. А. Игнатов // Новые достижения в области обработки резания металлов и пластмасс. – М. : Машгиз, 1952. – 39 с.
6. Исаев А. И. Обработка резания конструктивных пластмасс / А. И. Исаев. – М. ; Свердловск : Машгиз, 1944. – 40 с.

***Бабай С.А. Тарасюк А.П.*** «Повышение эффективности механической обработки изделия из угле-органопластика»

Создание и реализация высокоэффективных процессов лезвийной обработки волокнистых полимерных композитов на основе исследования закономерностей микромеханики резания. Проводим теоретические исследования полимерных композитов базируются на положениях теории резания и теории формообразования поверхностей, физико-химической теории контактного взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов. При проведении экспериментального исследования обрабатывали материал – органопластики и углепластики.

***Ключевые слова:*** композиты, полимерная матрица, адгезионная связь, механохимические процессы, варьирование, процесс резания, скорость резания.

**Бабай С.О., Тарасюк А.П.** «Підвищення ефективності механічної обробки виробу з вугле-органопластика»

Створення й реалізація високоефективних процесів лезвійної обробки волокнистих полімерних композитів на основі дослідження закономірностей мікромеханіки різання. Проводимо теоретичні дослідження полімерних композитів базуються на положеннях теорії різання й теорії формоутворення поверхонь, фізико-хімічної теорії контактної взаємодії інструментального й оброблюваного матеріалів. При проведенні експериментального дослідження обробляли матеріал – органопластик і вуглепластик.

**Ключові слова:** композити, полімерна матриця, адгезійний зв'язок, механохімічні процеси, варіювання, процес різання, швидкість різання.

**Babay S.A. Tarasyuk A.P.** “Increase of efficiency of tooling of good from coal-organoplastics.”

Creation and realization of high-performance processes of edge cutting machining of fibred polymeric composites on the basis of research of conformities to the law of cutting micromechanics. We conduct theoretical researches of polymeric composites are based on positions of theory of cutting and theory of shaping of surfaces, physical and chemical theory of contact co-operation of instrumental and processed materials. During conducting of experimental research processed material – organoplastics and coal plastic.

**Key words:** composite, polymeric matrix, adhesive connection, mechanics-chemical processes, varying, cutting process, cutting speed.

Стаття надійшла до редакції 30 березня 2010 р.