

УДК 621.914

## СТРУМИННІ МЕТОДИ ОБРОБКИ СУЧАСНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Саленко О.Ф.<sup>1</sup>, Кліменко С.А.<sup>2</sup>, Щетинін В.Т.<sup>2</sup>, Самусенко О. А.<sup>3</sup>

1 – Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, м. Кременчук

2 – Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, м. Київ

3 – ГКБ «Южное», г. Днепр

*Анотація:* Виконано комплекс теоретико-експериментальних досліджень за результатами якого оцінено напружений стан зони різання в композиційних матеріалах на основі карбонових волокон при різних методах обробки, встановлена прогнозована деструкція матеріалу та показано, що одержання репрезентативних зразків для механічних випробувань можливе при певній послідовності обробки.

*Ключові слова:* струминно-абразивне різання, композиційні матеріали, гідро абразив, напружений стан

Струминні технології знаходять все більше поширення в ряді господарських галузей – в машинобудуванні, обробній та переробній промисловості, при видобутку корисних копалин. Зазвичай струмінь рідини, що витікає з соплового насадку під тиском до 250 МПа та формується отвором біля 0,1-0,5 мм, задовільно виконує кероване руйнування матеріалів із межею міцності до 25-40 МПа; підвищення тиску до 600-630 МПа дозволяє виконувати обробку також легких металів і сплавів.

Спроможність струменя вільно обтікати перепони, змінювати форму та розподіл питомих енергетичних характеристик за перетином призводить до того, що к.к.д. струминних технологій рідко перевищує 0,1-0,8%. Отже, закономірними та логічними є намагання провідних науковців підвищити ефективність обробки шляхом зміни умов взаємодії струменя із перепорою, зміни властивостей самого струменя, зміни стану оброблюваної поверхні перед струминним впливом.

Зазнають змін і технічні засоби забезпечення формування струменя, джерела живлення високого тиску [1,2].

Нині найбільш застосовуваною є процес струминно-абразивного різання, на долю якого припадає понад 90% обсягів виконання робіт. Цей спосіб залишає далеко позаду інші технічні рішення щодо підвищення ефективності процесу – водо крижане різання; різання розчинним полімером та ін..

Пристрій для гідроабразивного різання є досить простим, і конструктивно являє собою додатково встановлену за соплом змішувальну камеру, в якій закріплена калібрувальна трубка. На відміну від струминного різання, при якому локальне кероване руйнування заготовки відбувається внаслідок розміцнення матеріалу, явищ високо еластичної незворотньої деформації, а в окремих випадках прояву механізмів квазікрихкого руйнування, що веде до поєднання мікрodefektів та утворення магістральних тріщини або макропорожнини із виникненням нової поверхні поділу, гідро абразивний процес активно протікає за рахунок мікрорізання частинками абразиву, і в меншому ступені, за рахунок деформаційно-зношувальної складової. При цьому продуктивність процесу зростає у кілька разів, а к.к.д. починає наближатися до 3-5%.

Звичайно різко зростає і ширина різку: якщо при струминній обробці вдається утримувати її в межах 0,3-0,6 мм, то наявність калібрувальної трубки, якою прямує абразивний потік, вимагає збільшення прохідного отвору до 0,75-1,2 мм.

Різ у цьому випадку стає ширшим, а якість крайки обумовлюється фракційністю абразивних зерен і параметрами струминно-абразивного потоку [3].

При різанні водо крижаним струменем абразивними зернами постають частинки криги, які утворюються при сполученні водяного потоку із криогенною рідиною – наприклад, рідким азотом. Однак, оскільки твердість крижинок значно менша за твердість кварцового або гранатового піску, продуктивність процесу залишається невисокою, і пропорційне збільшення енерговитрат підвищує параметр продуктивності лише частково. Однак безсумнівною перевагою методу є те, що мікрокрижинки після виконання роботи руйнування просто тануть і не забруднюють ні рідину, ні торці оброблюваного матеріалу.

Існують розробки, які передбачаються використання у якості інструменту струменя рідини із пропущеним крізь нього променем потужного лазера. Імпульс випромінювання лазера, спрямлений струминкою рідини, досягає поверхні у зоні різання і локально розігріває матеріал. При цьому на поверхні утворюється каверна із пересиченої пари, яка, в момент відсутності імпульсу, схлопується, викликаючи гідродинамічне навантаження поверхні. Почергове теплове та гідродинамічне навантаження із інтенсивним охолодженням зони за межами дії лазера призводить до активного руйнування поверхні, і різанню піддаються навіть високоміцні матеріали.

Звичайно такий процес є гібридним і вважати його виключно струминним вже не можна. Метод струминно-лазерного впливу володіє надзвичайно широкими технологічними властивостями, оскільки варіювання параметрами формування струминно-лазерного потоку можна змінювати умови теплового, гідродинамічного процесів, змінювати форму плями контакту, а, отже, і профіль борозенки різки. В окремих випадках вдається проводити тільки модифікацію поверхневого шару (наприклад, її полірування, активізацію термохімічних процесів тощо).

Різання нових композиційних матеріалів струминними методами залишається ще досить важким, хоча і перспективним процесом. Особливо це стосується випадків, коли інші методи механічного оброблення можуть змінити властивості поверхневого шару матеріалу або виробу в цілому, викликати порушення адгезійного зчеплення компонентів композита. Остання проблема є найбільш важливою, особливо для випадку, коли заготовки із композиційних матеріалів мають дрібні елементи, точні поверхні, жорсткі допуски на виконуваний розмір та на взаємне розташування поверхонь.

Нами проведено комплекс досліджень із прецизійної обробки заготовок із композитів, використовуваних у якості зразків для механічних, механіко-фізичних та хімічних випробувань.

У якості об'єкту досліджень було обрано карбон-карбоніві матеріали з 3-D плетінням та карбон полімерні матеріали, використовувани а аерокосмічній техніці (рис. 1).

Струминно-абразивне контурне різання здійснювалося на лазерно-струминному комплексі ЛСК-400-5 з 5-координатною системою керування, який дозволяє здійснювати контурне різання гідроабразивним потоком діаметром 1,02 мм, який витікає із калібрувальної трубки з масовою витратою абразивних часток 0,4-0,6 кг/хв; у якості абразиву використовували гранатовий пісок фракцією 50/75 мкм. Швидкість контурної подачі становила 300-800 мм/хв і залежала від виду оброблюваного зразка. Для порівняння якості отриманого різку обробку дублювали іншими механічними методами: відрізанням алмазовмічним кругом, обробкою погрузним пильним полотном (реноватором), фрезерування спеціальним надтвердим інструментом.

Було встановлено, що режими різання, а також параметри застосовуваного інструмента безпосередньо визначають не тільки продуктивність обробки, але й товщину деструкції поверхневого шару. Останні виявилися чутливими і до явищ зношування інструмента: зміни



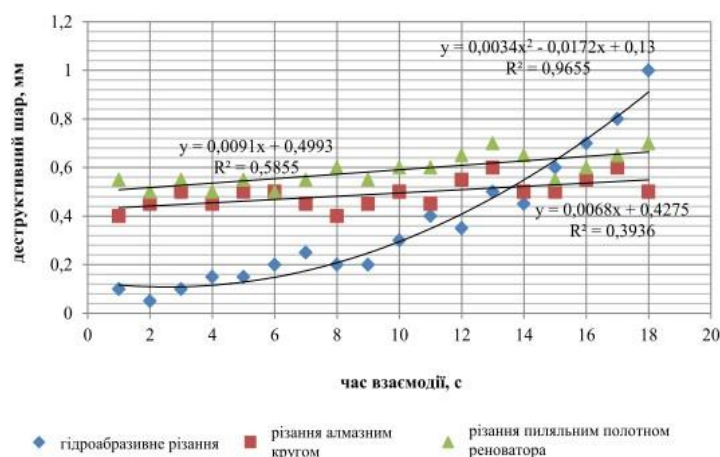


Рис. 3. Зміна ширини зони деструкції залежно від часу взаємодії поверхні різання з інструментом

Нехай одержання масиву властивостей готового виробу (зразка для механічних випробувань) у вигляді множин  $Fi(l, b, h, r, \delta \dots)$  можливе реалізацією деякої сукупності технологічних впливів  $M_j$ , властивих тому або іншому методу обробки. Кожний технологічний вплив можна представити у вигляді сукупності множин властивостей інструмента  $T_j$ , динамічних властивостей обробної системи  $W_j$ , способу силового впливу  $P_j$ , для яких  $(T_j, W_j, P_j) \in M_j$ , що дає можливість для заготовки з властивостями  $S_i$  вихідні параметри якості представити як  $Fi(l, b, h, r, \delta \dots) = M_j \cdot S_i$ .

Грунтуючись на положеннях, висвітлених у роботі [4], можемо записати умову забезпечення вихідних параметрів обробки:

$$Fi(l, b, h, r, \delta \dots) = T_j \cdot S_i \cap W_j \cdot S_i \cap P_j,$$

що дає сукупність варіантів переходів обробки, кращий з якого можна вибрати за певним критерієм.

При цьому головною умовою одержання необхідного результату є обмеження товщини деструктивного шару на рівні  $>2\%$  бази вимірів.

Виконані дослідження стану поверхні при різних методах обробки дозволили одержати залежності, що зв'язують умови проведення обробки з товщиною деструктивного шару для карбон-карбонівих і карбон-полімерних матеріалів.

Так, якщо необхідно отримати зразок  $a \times b \times h$  з кубічної заготовки розмірами  $A \times B \times L$ , причому зразок містить криволінійні ділянки радіусами  $r_i$ . Можливі наступні технологічні операції:  $(R_2)-(R_1)$ ;  $(R_2)-(R_5)$ ;  $(R_2)-(R_4)-(R_5)$ . При оптимізації процесу за критерієм мінімізації часу обробки для заданого рівня якості одержаний варіант функціонально орієнтованого процесу  $(R_2)-(R_4)-(R_5)$ . Така послідовність операцій дозволяє максимально повно використовувати всі переваги гідроабразивного різання (значне скорочення часу обробки) й уникнути деструкції матеріалу в момент пробою струменем.

**Висновки.** У результаті виконаного комплексу теоретико-експериментальних досліджень оцінено напружений стан зони різання в композиційних матеріалах на основі карбонівих волокон при різних методах обробки, установлена прогнозована деструкція матеріалу та показано, що одержання репрезентативних зразків для механічних випробувань можливе при певній послідовності обробки: абразивне обрізання алмазовмісним інструментом, одержання умов для введення гідроабразивного струменя (свердління) і наступна струминно-абразивна обробка.

#### Список літератури:

1. *Повышение эффективности гидроструйного резания использованием управляемого резания средств трещинообразования* / В. Н. Орел, В. Т. Щетинин, А. Ф. Саленко, Н. Н. Яцына // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2016. – Вып. 1 (79). – С. 81–86.

2. *Повышение* эффективности процесса струйно-лазерного перфорирования листовых заготовок профилированным потоком / В. Ю. Холодный, С. В. Коваленко, Ю. А. Павлюченко, Г. В. Габузян, А. Ф. Саленко // Вестник двигателестроения. – Запорожье: ОАО Мотор Сич, 2015. – № 1. – С. 106–113.
  3. *Повышение* точности контурного гидроабразивного резания пластин из твердых сплавов и сверхтвердых материалов / А. Ф. Саленко, В. Т. Щетинин, А. Н. Федотьев // Сверхтвердые материалы. – Киев: Наукова думка, 2014. – № 3. – С. 73–82.
  4. *О возможности* гидроабразивной прошивки отверстий в заготовках из функциональных материалов / А. Ф. Саленко, А. Н. Мана, В. С. Петропольский и др. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: збір. наук. праць. – Краматорськ, 2011. – Вип. 29. – С. 107–118.
-