

УДК 621.24.34:50

ПРО ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СИЛОВИХ ГОЛОВОК ДЛЯ СВЕРДЛІННЯ КАРБОН-ПОЛІМЕРНИХ І КАРБОН-КАРБОНОВИХ КОМПОЗИЦІЙ

О. О. Ченчева

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: chenchevaolga@gmail.com

Широке застосування композитних матеріалів в авіа- та космічній галузі, що пред'являє високі вимоги до якості обробки поверхні обумовлює необхідність оптимізації процесів механічної обробки та інструменту. Специфіка властивостей та будови, а також особливості протікання процесів стружкоутворення в зоні різання, пов'язаних з формуванням тріщин у тілі оброблюваного матеріалу, надають перевагу застосуванню алмазного інструменту при різанні та свердлуванні карбон-карбонів композитів. Для досягнення необхідної якості поверхні та здійснення процесу різання з гармонійною або квазігармонійною зміною швидкості і напрямку подачі запропоновано використання шпindelного вузла з співвісно розташованими машинами. Таке рішення забезпечує простоту керування режимами обробки через відсутність зайвих зубчастих та інших передач, що підвищує точність і стабільність роботи системи.

Ключові слова: композит, тріщиноутворення, співвісні машини, мотор-шпindel.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ СИЛОВЫХ ГОЛОВОК ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ КАРБОН-ПОЛИМЕРНЫХ И КАРБОН-КАРБОНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

О. А. Ченчевая

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: chenchevaolga@gmail.com

Широкое применение композитных материалов в авиа- и космической отрасли предъявляемые высокие требования к качеству обработки поверхности обуславливают необходимость оптимизации процессов механической обработки и инструмента. Специфика свойств и строения, а также особенности протекания процессов стружкообразования в зоне резания, связанных с формированием трещин в теле обрабатываемого материала, отдают предпочтение применению алмазного инструмента при резке и сверлении карбон-карбонных композитов. Для достижения необходимого качества поверхности и осуществления процесса резания с гармоническим или квазигармоническим изменением скорости и направлением подачи предложено использование шпindelного узла с соосно расположенными машинами. Такое решение обеспечивает простоту управления режимами обработки из-за отсутствия лишних зубчатых и других передач, что повышает точность и стабильность работы системы.

Ключевые слова: композит, трещинообразование, соосные машины, мотор-шпindel.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. В сучасному машинобудуванні все більшого поширення набувають нові композиційні матеріали із заданими фізико-механічними властивостями, серед яких найбільша кількість припадає на шарувато-волокнисті композиції на основі скляних та графітних волокон. Такі матеріали характеризуються цілим комплексом фізико-механічних властивостей, що становлять інтерес для високотехнологічного виробництва: міцністю, анізотропністю, задовільною теплостійкістю, малою вагою, високою навантажувальною здатністю та ін.

Незважаючи на те, що більшості виробів вдається надати необхідну форму на етапі формування заготовки, потреба в кінцевій обробці та в доведенні до технічних вимог не втрачає своєї актуальності. Так, виконання різних отворів, уступів, вирізка вікон, обробка кромки – як правило супроводжують будь технологічний процес і за трудомісткістю іноді перевищують викладку, просочування зв'язником та формування виробу в цілому. Іншою проблемою є неоднорідна структура матеріалу і різка відмінність механічних властивостей його компонентів, що в кінцевому рахунку призводить до різкого погіршення якості крайки при спробах обробити подібні матеріали традиційним різальним інструментом.

Саме тому пошук способів і шляхів підвищення ефективності обробки, забезпечення належної її

якості є головним напрямом досліджень провідних фахівців у галузі механічного оброблення.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Нині більшість операцій із формування дрібних елементів та точних поверхонь здійснюється механічним способом [1] - різанням або шліфуванням; останнім часом також активно ведуться роботи по застосуванню гідроабразивних методів обробки для виконання зазначених специфічних операцій [2, 16].

Механічне різання композиційних матеріалів, незважаючи на їх більш низьку міцність порівняно з металами і сплавами, є більш трудомістким, енергота матеріально-витратним. Це пояснюється структурою матеріалу, а також тим, що армувальні волокна, які входять до складу композиту, в більшості випадків є осередками виникнення високих температур, адгезійних пошкоджень поверхні ріжучого клина та інших негативних явищ.

Основним механізмом формування нових поверхонь при механічній обробці є процес стружкоутворення, пов'язаний із багатоплановими явищами зародження та розвитку мікрodefektів, що ведуть до виникнення тріщин у тілі оброблюваного матеріалу на макрорівні [2]. Так, аналізуючи стружкоутворення при різанні матеріалу різальним клином (рис. 1, а), автор роботи [3] зазначив, що напружений стан у вершині тріщини, утвореної під дією інструменту вздовж гіпотетичної поверхні різання, забезпечує розвиток і поширення тріщин в напрямку

вектора швидкості головного руху. Теорія Гріффітса для пружних тіл, до яких можна віднести і розглянутий клас матеріалів, (за умови стабільної міцності за усіма напрямками), дає можливість очікувати відхилення тріщини від початкового напрямку при $K_{II} \neq 0$ (зсуву) на певний кут $\chi = -\chi_c$, що збігається з напрямком максимального значення сили P , яка зумовлює розвиток тріщини. Таким чином, прикладене зовнішнє зусилля, при якому буде спостерігатися активне тріщиноутворення, має перевищувати опір розтріскування.

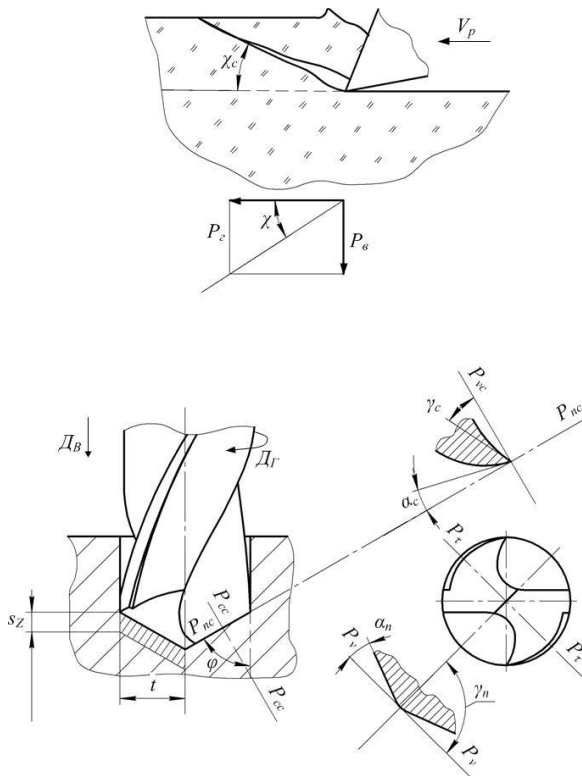


Рисунок 1 – Стружкоутворення як наслідок розвитку тріщини в матеріалі

При свердлуванні матеріалів (рис. 1, б) силове навантаження матеріалу змінюється, як і змінюється рівнодіюча, внаслідок чого зона тріщино утворення охоплюватиме певний обсяг матеріалу як у зоні дії різальних клинів, так і біля бокових різальних стрічок.

Внаслідок недосконалості структури і властивостей реальних композиційних матеріалів, а також відмінності фізико-механічних властивостей його компонентів, повний опір розтріскування буде залежати від різних того чи іншого прояву тріщиноутворення (виникнення тріщин зсуву або тріщин відриву). Якщо взяти до уваги, що напрям тріщини завжди сприяє її розкриттю, задача оцінки ймовірного напрямку розвитку тріщини зводиться до встановлення очікуваної епюри силового навантаження інструментом зони різання, яка залежить від схеми обробки та умов її виконання.

У роботі [5] автором показано, що існує певна критична швидкість росту тріщини, при перевищенні якої тріщина починає розгалужуватися. При цьому в [4] показано, що регулюванням виду наванта-

ження і енергосиловими параметрами процес розгалуження та біфуркації може бути локалізовано.

Відомо, що збільшення критичного навантаження викликає деяке зростання критичної швидкості розвитку тріщини, водночас скорочуючи шлях до початку її біфуркації. В армованих композитах існує критична швидкість поширення тріщин, яка не залежить від підведеної енергії. Це явище обумовлюється поглинанням і накопиченням мікрodefektів, локалізованих в напрямку приблизно $\chi = 60^\circ$, де існують максимальні розтяжні напруження. Розгалуження і вторинне розгалуження як правило відбувається під кутом $\chi' = 20^\circ$ щодо направлення магістральної тріщини. Важливим є той факт, що довжина тріщини до моменту розгалуження залежить від зовнішнього навантаження і зменшується при зростанні навантаження.

Дослідження особливостей лезового різання армованих неметалічних матеріалів, проведені авторами [1,3,6], зокрема, склопластиків, показують, що неоднорідна структура матеріалу призводить до перерозподілу областей накопичення мікротріщин: при русі ріжучого клина уздовж напрямку армування висока концентрація, взаємодія і злиття мікротріщин веде до утворення мікротріщин, які можуть знаходитися на відстані від різального клину або торкатися його, розташовуючись щодо вектора головного руху під кутом $15^\circ - 20^\circ$; при русі ріжучого клина під кутом 90° до напрямку армування вони зосереджуються в полімерній матриці і на межі «волокно-матриця». Біфуркація в цьому випадку йде під кутом $40^\circ - 60^\circ$. Структура поперечно армованого пластику стримує розвиток магістральної тріщини і відводить її уздовж волокна. Саме на цій ділянці мають місце дефекти, пов'язані з хімічною полімеризацією, залишками реакцій, що послаблюють міцність композиту в цій зоні.

Рух ріжучого інструменту також викликає значну деформацію волокон, що веде до перерозподілу навантажень в зоні різання. У роботі [6] також наголошується, що обробка поперечно армованого пластику відбувається зі значним розшаруванням волокон і матриці, порушенням структури поверхні та істотним зниженням якості обробки.

Періодичне зародження, розвиток і злиття тріщин, що веде до відокремлення частинок матеріалу, що зумовлює циклічність характеру процесу лезв'їної обробки, при якому сила різання спочатку підвищується до максимального значення (при зародженні сітки тріщин), а потім стрімко знижується (при появі магістральної тріщини і відділенні елемента стружки).

Автори робіт [7–8] пропонують вести обробку армованих матеріалів з періодичним навантаженням інструменту (свердла) осьовою силою. При цьому в якості навантажувального елемента використовують спеціальний привод, який дозволяє після незначного занурення свердла виводити його із зони різання, тим самим перешкоджати підвищенню температури.

Якщо взяти до уваги результати робіт Дрожжина [9] то очевидно, що з позицій механіки руйнування композиційних матеріалів таке навантаження повинно бути високоінтенсивним і з більш високою частотою.

У цьому випадку утворення тріщин у тілі матеріалу сприятиме підвищенню оброблюваності матеріалу.

Використання комбінованого приводу – подачі та вібраційного (імпульсного) як активізатора про-

цесу - дозволяє представити схему формування поверхні різання згідно рис. 2.

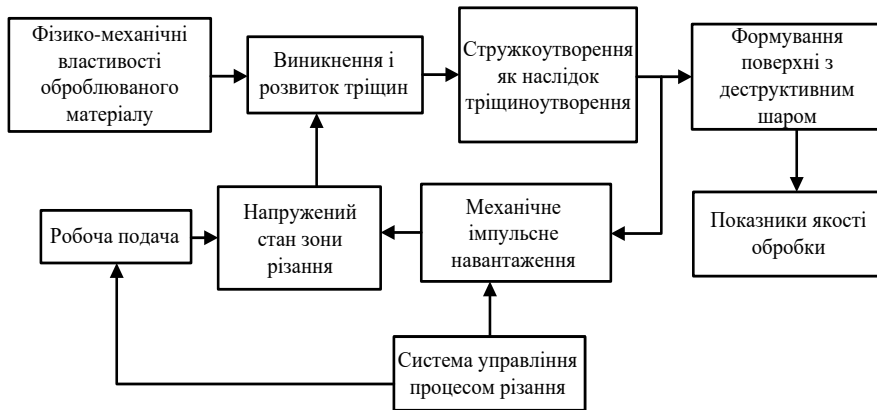


Рисунок 2 – Схема формування поверхні різання при свердлінні з імпульсною (вібраційною) подачею

При цьому формування поверхні і, відповідно, деструктивного шару обумовлюється проявом наступних механізмів руйнування [8]:

- руйнування окремих волокон, розташованих безпосередньо в зоні навантаження при $q\sigma_f > \sigma_{fb}$;
- відшарування зруйнованих волокон при $q\sigma_f < \sigma_{fb}$ та $q_1\sigma_{fb} > \sigma_{f\tau}$;
- розвиток тріщин в волокні при $q\sigma_f < \sigma_{fb}$ та $q_2\sigma_{fb} > \sigma_{fm}$.

Тут позначено: σ_f – напруга в волокні; σ_{fb} – локальний межа міцності волокон; $\sigma_{f\tau}$ і σ_{fm} – мінімальні напруги в волокні, при яких його руйнування викликало б відшарування або розвиток тріщин в матриці; q, q_1, q_2 – коефіцієнти, що враховують циклічну ударно-динамічне навантаження робочим інструментом.

Рухаючись всередину оброблюваної заготовки, інструмент викликає руйнування матеріалу закогезійним і адгезійним механізмами. Руйнування окремих волокон виникає внаслідок перевищення виникаючих напруг σ_f локального межі міцності σ_{fb} . Оскільки адгезійну міцність зв'язку між волокнами і матрицею як правило нижче σ_{fb} , пружні переміщення в зоні різання можуть викликати відшарування волокна від матриці або розвиток когезійної тріщини. Довжина виключення волокна при розшаруванні визначається рівнянням [4]:

$$l_0 = \frac{\sigma_{fb} - \sigma_{f\tau}}{13\sqrt{b'E k_\tau \tau_\tau}} l_c, \quad (1)$$

де b' – глибина тріщини; l_c – критична довжина; E – модуль пружності; τ_τ – дотичні напруження; $k_\tau = 0,3...1,5$

Ударно-імпульсне навантаження зони різання викликає вертикальне і горизонтальне переміщення мікрооб'ємів заготовки до моменту, коли за рахунок обертання свердла ріжучий клин почне процес різання.

Досить часто для виконання отворів значного діаметра (понад 5 мм) використовують кільцеві свердла з алмазовмісним шаром (рис. 3). Такі свердла забезпечують достатньо високу якість оброблення, не потребують використання потужних приводів, однак володіють малою продуктивністю. Іншою проблемою є те, що свердла не сприймають значних осьових навантажень, зняття алмазовмісним шаром оброблюваного матеріалу є досить малим і низькопродуктивним, а спроба підвищити продуктивність за рахунок збільшення зусилля подачі веде до перегріву самого свердла і його деформування.



Рисунок 3 – Використовувані для обробки вуглець-вуглецевих композицій кільцеві свердла

Оскільки точність обробки та якість крайки безпосередньо залежать від силового навантаження свердлом поверхні, розглянемо напружений стан матеріалу під дією кільцевого індентору (рис. 4).

Нехай свердло являє собою трубу зовнішнім радіусом r_z та внутрішнім r_{bm} , труба розташована перпендикулярно до поверхні, і при силі дії викликає появу у відповідних мікрообсягах тіла товщиною h_{ob} напружень $\sigma_r, \sigma_z, \sigma_t$ та τ .

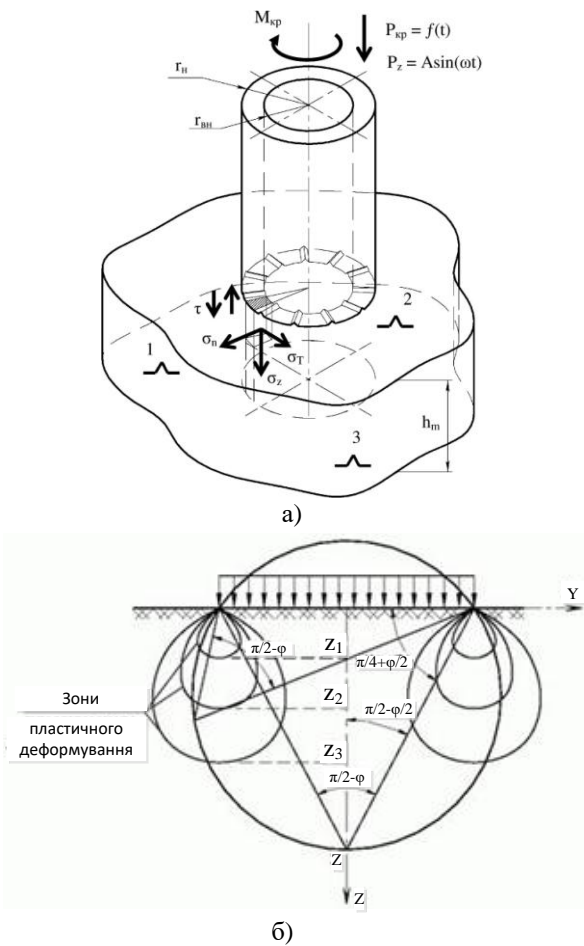


Рисунок 4 – Дія свердла (а) і напружено-деформований стан в зоні різання (б)

Складові переміщень $U(t)$ і $H(t)$ в певній точці поверхні, що сприймає практично перпендикулярну навантаження, згідно розрахунковій схемі (рис. 4,б), легко отримати з рівнянь, що зв'язують напруги і деформації:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= 2G \left(\frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\mu \varepsilon}{1-2\mu} \right); \\ \sigma_t &= 2G \left(\frac{U}{r} + \frac{\mu \varepsilon}{1-2\mu} \right); \\ \sigma_z &= 2G \left(\frac{\partial H}{\partial z} + \frac{\mu \varepsilon}{1-2\mu} \right); \\ \tau &= G \left(\frac{\partial H}{\partial z} + \frac{\mu \varepsilon}{1-2\mu} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

за умови, що

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \varepsilon_r + \varepsilon_t + \varepsilon_z = \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{U}{r_m} \frac{\partial H}{\partial z}, \\ \varepsilon &= \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)G} (\sigma_r + \sigma_t + \sigma_z) = \frac{1-2\mu}{E} (\sigma_r + \sigma_t + \sigma_z) \end{aligned}$$

а

$$\begin{cases} (1-2\mu) \left[\Delta U - \frac{U}{r_m^2} \right] + \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} = 0; \\ (1-2\mu) \Delta U + \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Тож для кільцевого впливу отримуємо значення величини $U(t)$ і $H(t)$:

$$\begin{aligned} U(t) &= -\frac{(1-2\mu)}{G} \frac{P_z(t)}{(D_{\max} - D_{\min})^2} r, r > \frac{D_{\max}}{2} \\ H(t) &= -\frac{(1-2\mu)}{G} P_z(t) \frac{2}{\pi(D_{\max} - D_{\min})} \end{aligned} \quad (4)$$

Тут G – модуль зсуву оброблюваного матеріалу; μ – його коефіцієнт Пуассона; ε – об'ємна деформація; $\Delta = \frac{d^2}{dr^2} + \frac{d}{r dr} + \frac{d^2}{dz^2}$ – оператор Лапласа.

Введення коефіцієнтів q, q_1, q_2 дозволяє оцінити вплив умов навантаження на перерозподіл напружень у матриці і в армуючих волокнах, оцінити поширення деструкції та товщину деструктивного шару на поверхні різання.

Локальні процеси ударно-динамічного руйнування викликають перерозподіл напружень у мікроб'ємах композиту, що розраховуються відповідними коефіцієнтами перенапруження K, K_ϕ, K_m . Одночасно з цим, руйнування окремих волокон супроводжується перерозподілом напружень на сусідні волокна і частковим поглинанням навантаження матрицею.

Згідно з [2] коефіцієнти перерозподілу навантажень можна визначити наступним чином:

$$K = \frac{1}{\sum 1/\phi(r_{ij})}, \quad (5)$$

де $\phi(r_{ij})$ – функція, що враховує амплітуду додаткових навантажень в армувальних волокнах в системі координат ZOY .

З урахуванням дії ефектів в зоні свердління коефіцієнт K_m перерозподілу напружень в матриці визначимо так

$$K_m = \frac{0.105}{1 + 3.16 \frac{b}{E_m}} c_p, \quad (6)$$

коефіцієнт перерозподілу напружень в сусідніх волокнах

$$K = K_m \left(1 - \frac{b'}{b} \right) \phi(r_{ij}) \quad (7)$$

а коефіцієнт перерозподілу напружень внаслідок відшарування волокна від матриці – в такому вигляді:

$$K_v = K \left(\frac{l_0}{l_c} + 1 \right) \quad (8)$$

Функцію $\phi(r_{ij})$ визначили у вигляді $\phi(r_{ij}) = r_{ij}^q$, причому

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}. \quad (9)$$

Розглянемо формування борозенки різа у вигляді кільцевого елемента (рис. 5), створюваного торцем свердла, як поверхню, яка формується не тільки за рахунок мікрорізання алмазними зернами, а і за рахунок пошкодження поверхневого шару від силової дії інструменту.

При свердлуванні на поверхні утвориться деструктивний шар товщиною δ_d внаслідок чого реальний отвір матиме діаметральний розмір $D_i = D_{\max} + 2\delta_d$. Величину δ_d встановимо, використавши підхід, висвітлений у [4]. Тоді фрагмент кіль-

цевої поверхні безкінечно малого перетину dx порівняно із радіусом інструменту R_i сприйматиме силове навантаження від зусилля головного руху $P_g = M_{kr}/D_i$ та зусилля подачі $P_p = f(t)$. Деструктивний шар утворюватиметься у випадку, якщо мікроруйнування поширяться від зони зовнішньої дії алмазних зерен.

Розглядатимемо оброблювану заготовку як твердий півпростір, фізико-механічні властивості якого у кожній точці в загальному випадку відмінні і можуть бути визначені на основі експериментальних досліджень. Нанесемо на поверхню заготовки ортогональну сітку з кроком $\Delta x \Delta y$ та присвоїмо кожному вузлу маркер A_{ij} . У кожній точці вузла A_{ij} відтворимо перпендикулярну вісь. Визначимо фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу у вузлах та вглиб з кроком Δz .

Виділимо тонкий перетин Δx , що знаходиться між двома площинами (рис.5, б), які проходять через вузли A_{ij} та A_{i+1j} . Вважаємо, що фізико-механічні властивості окремих фракцій матеріалу в межах виділеного тонкого шару є незмінними і встановлюються як середнє арифметичне властивостей, визначених у точка A_{ij} та A_{i+1j} , і так само можуть визначатися у сусідніх тонких шарах $A_{i-1j} - A_{ij}$ та $A_{i+1j} - A_{i+2j}$.

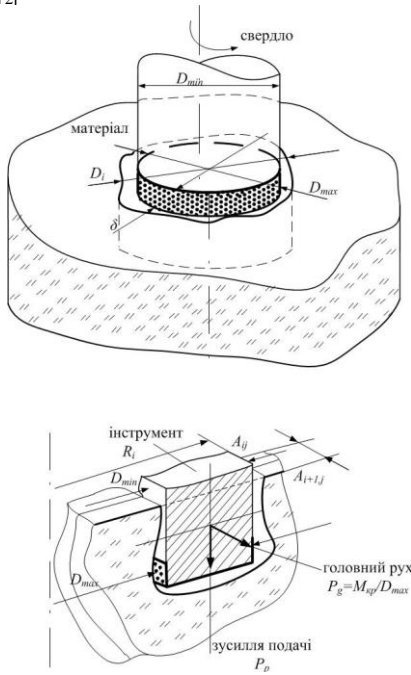


Рисунок 5 – Утворення деструктивного шару у зоні обробки кільцевим свердлом

Таке припущення дозволяє звести задачу об'ємного формування борозенки різи до площинної задачі розвитку профілю борозенки різи в певному перетині. При цьому, оброблюваний композит можна уявити як ортотропний матеріал, в якому спостерігається послідовна зміна фракцій з детермінованими властивостями.

Вважаючи, що композит, в основному, являє собою двофазний матеріал (армувальна матриця та наповнювач), кожна з фаз у якому взаємодіє з іншою уздовж межі контакту, розглядаємо існування

перехідної ділянки, що утворюється на адгезійному зчепленні фаз та володіє власними фізико-механічними властивостями.

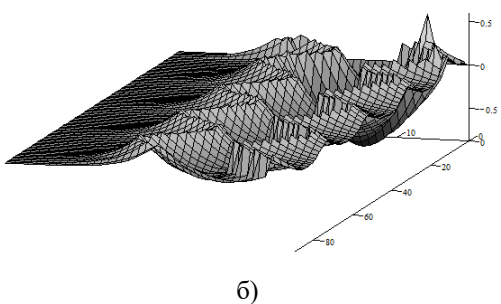
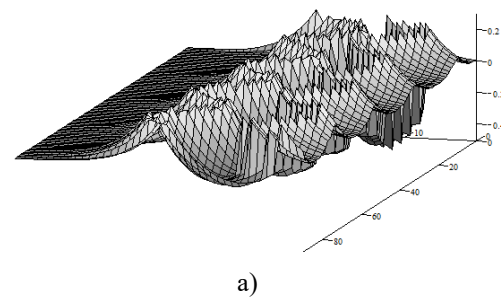
Такий підхід забезпечує визначення властивостей матеріалу у вузлах z_{ij} як $\sigma_{ij} = \sigma_{0ij} + \sigma'_{ij}$, де σ_{0ij} встановлюється на основі детермінованої послідовності переходу від одної складової композиту до іншої, а σ'_{ij} враховує ймовірну відмінність властивостей у фіксованих вузлах, розташованих на одному рівні z_{ij} .

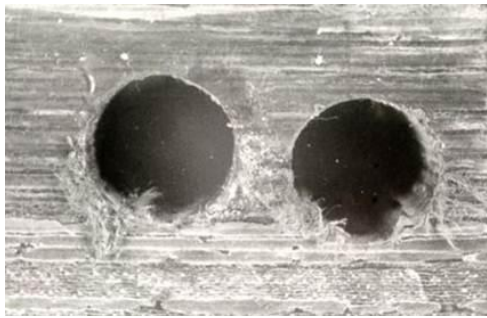
Для встановлення профілю видаленого з перетину з елемента поверхні оброблюваної заготовки при струминному впливі скористуємося положенням про існування кількох механізмів мікроруйнування композитів при локальному навантаженні [7]:

- руйнування окремих волокон, що розташовані у зоні навантаження при $q\sigma_f > \sigma_{fb}$;
- відшарування зруйнованих волокон при $q\sigma_f < \sigma_{fb}$ та $q_1\sigma_{fb} > \sigma_{fv}$;
- розвиток тріщини у волокні при $q\sigma_f < \sigma_{fb}$ та $q_2\sigma_{fb} > \sigma_{fv}$.

В якості критерію макроруйнування в зоні різання приймемо одночасний прояв механізмів розривання волокон ріжучим клином і сіткою тріщин у всіх сусідніх з розглянутим V_{ijk} вузлом: V_{ijk+1} , V_{ij+1k} , V_{ij-1k} , V_{ijk-1} . Приймемо до уваги, що у разі, коли вимога виконується, вузол відносять до контуру отриманого отвору. В іншому випадку мова може йти про формування деструктивного шару. Випадок існування трьох вузлів розглядається як можливий рух магістральної тріщини, для якої виконується розрахунок навантаження від дії інструменту. При цьому перерозподіл навантажень виконується аналогічно розглянутому вище випадку.

В результаті моделювання нами отримано ряд контурів перетину поверхні, які доводять існування суттєвих пошкоджень на поверхнях адгезії компонентів композиційного матеріалу (рис. 6, а).





в)

Рисунок 6 – Моделі розвитку поверхонь перетину різа композиційного матеріалу кільцевим свердлом (а, б) та фото реальних отворів (в), отриманих свердлами для прийнятих умов моделювання: а – різання без циклічної подачі; б – різання із циклічною подачею; в – отвори, отримані без циклічної подачі

З урахуванням результатів, отриманих авторами робіт [1, 6, 8], запропоновано обробку кільцевим алмазовмісним свердлом здійснювати із циклічною подачею. Для реалізації цього процесу запропоновано використовувати силовий шпиндель зі сполученими електричними машинами [10].

Цей пристрій представляє собою з'єднані електричні машини, здатні виконувати як головний рух (обертання основного шпинделя) так і рух подачі. Принципова схема пристрою – шпиндельного вузла показана на рис. 7. Вузол складається з корпусу 1, в якому, з одного боку, з можливістю позовжнього руху уздовж центральної осі, змонтована піноль 2, що зафіксована від можливого повороту штифтом 3, що контактує з прямолінійним напрямним пазом 4, розташованим на корпусі 1.

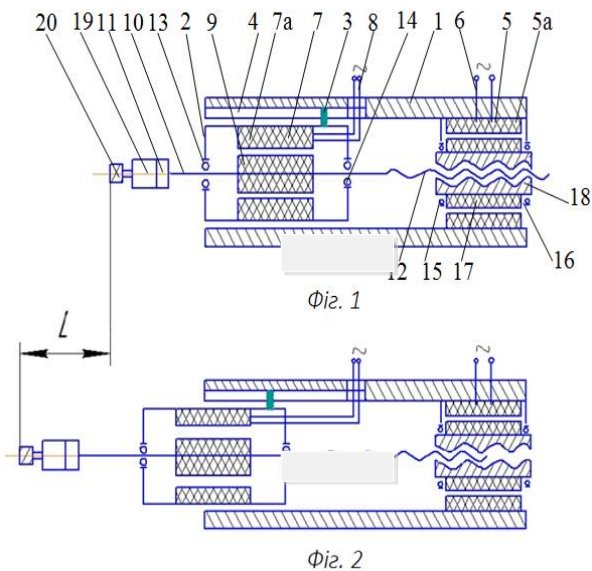


Рисунок 7 – Принципова схема силової головки

За рухомою піноллю 2 змонтований статор 5 електроприводу головного руху з обмоткою 5а з клемми для подачі напруги 6 так, що осі пінолі 2 і обмотки 5а збігаються. У внутрішній порожнині

пінолі 2 нерухомо змонтований статор 7 електроприводу руху подачі з обмоткою 7а з клемми для подачі напруги 8, усередині якого встановлений ротор 9, нерухомо з'єднаний зі шпинделем 10, виконаним у вигляді валу, один з торців якого містить фланець для кріплення інструменту 11, а на іншому кінці виконана гвинтова поверхня 12. Для забезпечення обертального руху шпиндель 10 змонтований на упорно-радіальних опорах (підшипниках) 13 і 14, встановлених в піноль 2.

Концентрично до статора 5 у радіально-упорних опорах 15 і 16, змонтованих в корпусі 1, розміщений ротор 17, нерухомо з'єднаний з гайкою 18, причому осі роторів 17 і 9 і, відповідно, шпинделя 10 і гайки 18 збігаються, а гвинтова поверхня 12 шпинделя 10 з'єднана з гвинтовою поверхнею гайки 18, утворюючи з нею рухоме з'єднання типу «гвинт-гайка».

На фланці 11 змонтовано затискний пристрій 19, в якому закріплений інструмент 20. З вихідним торцем шпинделя 10 і з торцем гайки 18 з'єднані датчики кутів поворотів 21 і 22, які, відповідно, в свою чергу, підключені до системи управління 23 і контролюють кути повороту φ_1 шпинделя 10 і φ_2 гайки 18. Система управління 23 з'єднана вихідними ланцюгами з клемми 6 і 8, і разом з датчиками кутів положень 21 і 22 утворює замкнутий електромеханічний контур.

Таке поєднання – корпусу з рухомих шпинделем і затискним пристроєм, пінолі, розташованої в передній частині корпусу, статора електричної машини головного руху, шпинделя з розподіленою обмоткою, закріпленого всередині пінолі, ротора, жорстко з'єднаного зі шпинделем, а також електропривода подачі у вигляді додаткового статора електричної машини, сполученого з корпусом та встановленим співвісно шпинделя і ротора, що взаємодіє через з'єднання «гвинт-гайка» з піноллю, дає можливість виконувати рух подачі при виникненні різниці в кутових швидкостях двох роторів, яка контролюється відповідною системою управління; при цьому співвісно виконання електроприводу позбавляє від перекосів шпиндель і дозволяє врівноважити зусилля подачі при свердлінні; відсутність зайвих зубчастих та інших передач підвищує точність і стабільність роботи системи.

Пристрій працює наступним чином. У початковий момент часу піноль 2 разом зі змонтованим в ній індуктором 7, і встановлених на опорах 13 і 14 шпинделем 10, жорстко з'єднаний з ротором 9 і контактує своєю гвинтовою поверхнею 12 з відповідною гвинтовою поверхнею гайки 18, встановленої на опорах 15 і 16, що знаходиться в крайньому правому положенні, тобто в стані, коли піноль 2 повністю знаходиться в корпусі 1, а гвинтовий кінець шпинделя 12 вгвинчений у відповідну різьбу гайки 18.

Після подачі від системи управління 23 керуючої напруги через клемми 6 і 8 на обмотки 5а та 7а, магнітні поля, що виникають, взаємодіють з роторами 9 і 17 відповідно, і починають обертати останні. Від повертання піноль 2 обмежена штифтом 3, контактує з прямолінійним напрямним пазом 4, виконаним на корпусі 1. При цьому магнітне поле статора

7 забезпечує створення крутного моменту M_1 на роторі 9 і, відповідно, на шпинделі 10, який через фланцевий кінець 11 передає його за допомогою затискного пристрою 19 на 20 інструмент, а поле статора 5 створює момент M_2 , який необхідний для подолання сил опору руху і для підтримки такого відносного положення шпинделя 10 і гайки 18, при якому неузгодженість моментів M_1 і M_2 відсутня і кут $\delta = \varphi_2 - \varphi_1$ дорівнює 0. Відповідні кути повороту шпинделя 10 (φ_1) і гайки 18 (φ_2) контролюються датчиками кутів поворотів 21 і 22, відповідно, з'єднаними з системою управління 23.

Для повідомлення робочого інструменту 20 руху подачі система управління 23 змінює струм, що надходить до обмоток 7 і 5 через клеми 8 і 6 так, щоб виникло неузгодженість моментів M_1 і M_2 , кут $\delta = \varphi_2 - \varphi_1$ був відмінним від нуля. При цьому буде виникати відносний рух шпинделя 10 і гайки 18, в результаті чого гвинтовий кінець 12 почне переміщатися по гвинтовій поверхні гайки 18 і через радіально-упорні групи опор 13, 14 і 15, 16 передавати зусилля подачі на піноль 2, викликаючи її переміщення вздовж осі з корпусу 1. При цьому інструмент отримає переміщення на величину L , мм, що визначається кроком гвинта T , мм, і залежить від кута δ : $L = \delta T / 2\pi$ де $\delta = \varphi_2 - \varphi_1$, рад.

Для повернення пінолі 2 шпинделя 10 у вихідне положення система управління 23 створює негативну неузгодженість моментів M_1 і M_2 , в результаті чого гвинтовий кінець 12 шпинделя 10 угвинчується в гайку 18.

Подача струму на обмотки 5 і 7 за певними законами дозволяє забезпечити не тільки обертання – головний рух ріжучого інструменту 20, але і повідомляти рух подачі, разом з останньою можлива реалізація допоміжних переміщень – пульсуючих, імпульсних, що найбільш важливо для обробки шарувато-волокнистих пластиків.

При моделюванні задавали різні циклові навантаження робочому шпинделю. Приймали для уваги, що оброблюваний матеріал – карбон-карбонівий композит типу C-41, що обробляється свердлом номінальним діаметром 10,0 мм. Умови якісного мікрорізання задавали у вигляді зламу волокна без порушення адгезійного зв'язку матриці із армувальним волокном, формування деструктивного шару уявляли як зону виключення волокна із матриці, що прогнозується наведеними вище рівняннями. Роботу подачі встановлювали на рівні 15 мм/хв., частоту обертання шпинделю – 180 с^{-1} . Вважали, що абразивні зерна рівномірно розташовані на периферії круга, в один шар, а щільність наповнення становить 80%, що відповідає мікрофотографії, отриманої нами при мікроелектронному дослідженні поверхні різального інструменту (рис. 8).), вважали також, що кожне абразивне зерно на поверхні здатне виконати як роботу різання, так і мікроруйнування, причому руйнування волокна може відбуватися як із півруглицевою матрицею (когезійно), так і за рахунок порушення адгезійного зв'язку.

При цьому отримано наступні результати (рис. 8).

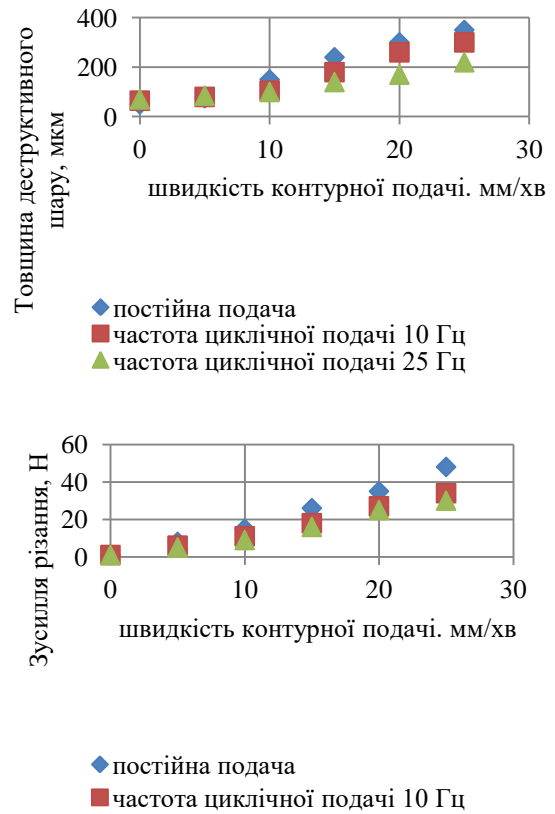


Рисунок 8 – Мікрофотографія крайки алмазовмісного кільцевого свердла та залежність зусилля лінійної подачі і якості крайки при застосуванні силової головки із засобами циклічного навантаження оброблюваної поверхні

Надання циклічної подачі з частотою до 10-25 Гц призводить до часткового зменшення дефектного шару, однак із одночасним зменшенням зусилля різання на 35-40%, тобто можна припустити, що циклічне навантаження ініціює появу мікротріщин у тілі заготовки, як це було досліджено автором у роботі [5]. Отримані результати (рис. 8) добре узгоджуються із змодельованими поверхнями, зображеними на рис. 6, а,б.

Потребують подальшого дослідження явища у зоні різання з метою оптимізації геометричних параметрів різальної крайки кільцевого свердла, оскільки продукти руйнування вочевидь мають суттєвий вплив на якість крайок різання та на зусилля постувної подачі.

ВИСНОВКИ. В результаті виконаного комплексу теоретико-експериментальних досліджень оцінено напружений стан зони різання в композиційних матеріалах на основі карбонівих волокон та показано, що обробка їх кільцевими алмазовмісними свердлами є доцільною та ефективною. Використання циклічної лінійної подачі дозволяє значно зменшити товщину деструктивного шару та зменшити зусилля різання, у той же час потребують подальших досліджень питання раціональних геометричних розмірів торця інструменту, наявності на ньому порожнинних елементів для відведення мікростружки із зони оброблення.

Також доведено, що запропонована конструкція силової головки із сполученими електричними машинами для забезпечення обертового і поступального рухів у співвісному виконанні є перспективним технічним рішенням, яке може з успіхом використовуватися як у ручному інструменті, так і в автоматизованих обробних системах із програмним керуванням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мелентьев Р.Ю., Натальчишин В.В. Особенности механической обработки полимерных композиционных материалов // 36. наук. праць НУК. – 2013. – № 4. – С. 30–34.
2. Формування деструктивного шару на краях оболонкових виробів із неметалевих композитів при гідро – та гідроабразивному різанні / О.Ф. Саленко, О.В. Фомовська, В.О. Дудюк // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Серія Машинобудування. – № 59. – С. 210–215.
3. Ярославцев В.М. Процесс образования стружки при резании полимерных композиционных материалов с волокнистыми наполнителями // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2012. – № 2 87. – С. 81–87.
4. Визначення поверхневого деструктивного шару при обробці конструкційних неметалевих композитів і його впливу на механічні властивості виробів / О.Ф. Саленко, В.В. Драгобецький, О.В. Фомовська, В.О. Дудюк, О.М. Мана // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Випуск 1/2010 (60). – С. 82–90.
5. Повышение эффективности гидроструйного использованием управляемого резания средств третинообразования / В.Н. Орел, В.Т. Щетинин, А.Ф. Саленко, Н.Н. Яцина // Восточно-Европейский журнал передовых технологий / Вып 1(79). – Харьков, 2016. – С. 81–86.
6. Механическая обработка волокнистых полимерных композитов / Н. В. Верезуб, А. П. Тарасюк, Г. Л. Хавин. – Харьков: Издательство ХГАДУ (ХАДИ), 2001. – 180 с.
7. Энергетические аспекты разрушения полимерных композитов при резании / Н. В. Верезуб, Г. Л. Хавин, А. П. Тарасюк // Резание и инструмент в технологических системах: Международный научно-технический сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ» – 2001. – Вып. 59. – С. 28–34.
8. Кузнецов Ю.Н., Дмитриев Д.А. Концепция гибридных компоновок станков с параллельной кинематикой на модульном принципе // Междунар. науч. конф. «Техника, технологии и системы Tekhsis 2009». – Plovdiv: Technical University Sofia, 2009. – PP. 19–36.
9. Дрожжин В. И., Верезуб Н. В. Измерение температуры при резании неметаллических материалов инструментом из сверхтвердых материалов поликристаллов // Алмазы и сверхтвердые материалы. – 1976. – Вып. 11. – С. 17–19.
10. Ченчева О.О., Саленко О.Ф. Про доцільність використання сполучених обертових електричних машин у силових головках нового технологічного обладнання // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Вип. 4/2014(87). – С. 111–118.
11. Cutting of polycrystalline superhard materials by jet methods / A.F. Salenko, V.T. Schetinin, G.V. Gabuzyan, V.A. Nikitin, N.V. Novikov, S.A. Klimenko // Journal of Superhard Materials, 2016, Vol. 38, no 5, pp. 80–94.

ABOUT USING SPECIAL POWER HEADS FOR DRILLING CARBON-POLYMER AND CARBON-CARBON COMPOSITIONS

O. Chencheva

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: chenchevaolga@gmail.com

Purpose. The aim of this study is to evaluate the possibility of improving the mechanical efficiency of diamond drilling carbon fiber composite materials with the use of devices providing cyclic linear flow. **Methodology.** Computer simulation of the surface intersection, which proves the presence of significant damage on the composite material components surfaces during drilling operation. **Results.** We have shown that drilling of composites using diamond tubular drills allow the precision processing to ensure the required surface quality. Application spindle unit coaxially with machines increases the rigidity of the system and simplifies the control system of the main drive and feeder, assessed the state of stress in the cutting area of composite materials based on carbon fibers and shown that the processing of diamonds ring drills are appropriate and effective. **Practical value.** The design of power heads with the united electric machines to provide rotational and translational motions is a promising technological solution that can be used in both hand tools and automated systems with program management to ensure the required surface quality of the composite. Reference 11, figures 8.

Key words: composite, cracking, coaxially located machine, motor-spindle.

REFERENCES

1. Melent'ev, R. Y. ,Natal'chishin, V.V (2013) *Osobennostimekhanicheskoyobrabotkipolimernykhkompozitsionnykhmaterialov* [Features of machining of polymer composites]Collection of scientific papers of NUSNo. 4. pp. 30 — 34.
2. Salenko, O. F, Fomovska, O. V., Duduk, V. O (2010) *Formyvannyadestruktivnogosharynakraikakhvyroviviznemetalevykhkompozitiv pry hidro- ta hidroabrazivnomy rizanni*[The formation of destructive layer edge products of non-metallic composites at hydro and hydroabrasive cutting] // Herald of the National technology University of Ukraine, Series Mashinobuduvannya No. 59 – pp. 210-215.

3. Yaroslavtsev, V. M., (2012), *Protsess obrazovannya struzhky pry rezannyi polimernykh kompozytsionnykh materialov s voloknistymy napolnnyetelyami* [The process of the chip formation during cutting of polymer composite materials with fibrous fillers], Vestnik MGTU im. Bauman. Ser. "Mashynostroeniye", No. 2 87., pp. 81-87.
4. Salenko, O. F., Drogobetsky, V. V., Fomovska, O. V., Duduk, V. O., Mana, O. M., (2010), *Vyznachennya poverkhnevoho destruktyvnoho шару pry obrobtsi konstruktsiy ny khnemetalovykh kompozytiviyohovplyvunamexanichnivlastyviyrobiv* [The destructive determination of the surface layer during processing of non-structural composites and its influence on the mechanical properties of the products], Visnyk KDPU imeni Mykhayla Ostrogradskogo No. 1/2010 (60), pp. 82–90.
5. Orel, V. N., Shchetinin, V. T., Salenko, A. F., Jacina, N. N. (2016) *Povyshenyeeffektyvnostyhydrostruynohorezanyia yspol'zovanyemsredstvupravlyaemohotreshchynooobrazovanyia* [Improving the efficiency of hydro-jetting using a controlled cutting tools cracking], East European journal of advanced technologies. No 1(79), Kharkov, pp. 81-86.
6. Verezub, N. V., Khavin, G. L., Tarasyuk, A. P. (2001) *Mekhanicheskaya obrabotkavoloknistykhpolimernykhkompozytov* [Mechanical processing of fibrous polymer composites], Publishing house GHADU (HADI), Kharkov, Ukraine
7. Verezub, N. V., Khavin, G. L., Tarasyuk, A. P. (2001) *Enerhetycheskyeaspektyrazrushenyiapolymernykhkompozytov pry rezannyi* [Energy aspects of the disruption of polymer composites during cutting] NTU "KHPI", Kharkov, no. 59. pp. 28–34
8. Kuznetsov, Yu. N., Dmytryev, D. A. (2009), *Kontseptsiyahybridnykhkomponovokstankov s parallel'noykynematykoynamodul'nompryntsyype* [The concept of hybrid configurations of machines with parallel kinematics on a modular principle], Materials of International Scientific Conference "Equipment, Technologies and Systems, Plovdiv, Technical University Sofia, Bulgaria, pp. 19–36.
9. Drozhzhin, V. I., Verezub, N. V. (1976) *Yzmerenyetemperatory pry rezannyinemetallycheskykhmaterialovynstrumentomizsv erkhtverdykhmaterialovpolykrystallov* [Temperature measurements during the cutting of nonmetallic materials using tools made of superhard materials of polycrystals], Diamonds and superhard materials. , vol. pp. 17–19.
10. Chencheva O. O., Salenko O. F. *Pro dotsil'nist' vykorystanniyaspoluchenykhobertovykhelektrychnykh mashyn u sylovykhholovkakh v novomtekhnohichnohoobladnannya* [The feasibility of using the United rotating electrical machines in the power heads of a new technological equipment], *Transactions of KremenchukMykhailoOstrogradskyi National University*, no 4(87), pp. 111-118.
11. A. F. Salenko, V. T. Schetinin, G. V. Gabuzyan, V. A. Nikitin, N. V. Novikov, S. A. Klimenko, *Cutting of polycrystalline superhard materials by jet methods*, *Journal of Superhard Materials*, 2016, Vol. 38, no 5, pp. 80-94.

Стаття надійшла 17.10.2016.