

5. У подальшому слід розглянути вплив кутового положення рухомої платформи на приведену податливість, визначити глобальні показники приведеної жорсткості у робочому просторі гексапода, розробити аналітичні залежності для визначення раціонального положення полюсу інструмента.

Список літератури

1. Вайнштейн И.В. Экспериментальное исследование статической жесткости пятикоординатного фрезерного станка с параллельной кинематикой / И.В. Вайнштейн, Н.А. Серков, Р.О. Сироткин // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2007. – №5. – С. 102-109.
2. Кириченко А.М. Показники жорсткості верстатного обладнання з паралельною кінематикою / А.М. Кириченко // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 22. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С.272-282.
3. Струтинський В.Б. Теоретичний аналіз жорсткості шестикоординатного механізму паралельної структури / В.Б. Струтинський, А.М. Кириченко // Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”. Серія „Машинобудування”. – 2009. – №57. – С. 198-207.
4. Струтинський В.Б. Оцінка деформативності ланок змінної довжини обладнання з паралельною кінематикою / В.Б. Струтинський, А.М. Кириченко // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямком "Інженерна механіка"). – Луцьк: Луцький державний технічний університет. – Випуск 25, ч.1. – 2009. – С. 357-362.
5. Иванов А.В. Обеспечение качественных показателей компоновки станка-манипулятора с параллельной кинематикой: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.03.01 „Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки” / А.В. Иванов. – Комсомольск-на-Амуре, 2006. – 21 с.
6. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц / Ф.Р. Гантмахер. – М.: Наука, 1966. – 576 с.

УДК 621.115.001.

О.Ф. Саленко, д-р.техн.наук, проф., зав.каф., О.В. Фомовська, канд.техн.наук, В.О. Дудюк, асп.
Кременчукський державний університет ім. М.Остроградського, м.Кременчук, Україна

ФОРМУВАННЯ ДЕСТРУКТИВНОГО ШАРУ НА КРАЙКАХ ОБОЛОНКОВИХ ВИРОБІВ ІЗ НЕМЕТАЛЕВИХ КОМПЗИТИВ ПРИ ГІДРО – ТА ГІДРОАБРАЗИВНОМУ РІЗАННІ

В статье рассмотрены вопросы, касающиеся особенностей формирования дефектного деструктивного слоя при обработке конструкционных композитов струей жидкости сверхвысокого давления или гидроабразивной струей. Представлены теоретико-эмпирические зависимости, позволяющие определить толщину деструкции поверхностных слоев, показаны результаты механических испытаний образцов, полученных различными методами.

In article the questions, formations of a defective destructive layer concerning features are considered at processing of constructional composites by the cutting tool, a stream of a liquid of ultrahigh pressure, of a hydro-abrasive stream. The empirical dependences are presented, allowing to define a thickness destroyed blankets, results of mechanical tests of the samples received by various methods are shown.

Вступ. Нині при обробці оболонкових виробів із неметалевих композитів, зокрема, при розкромованні листових заготовок, альтернативою механічному або термічному (лазерному) різанню постають технології струминного або струминно-абразивного різання. Головною перевагою зазначених методів є висока продуктивність, яка, порівняно із іншими способами, забезпечує 5...10 кратне скорочення робочого часу (та 2...5 кратне скорочення вартості) на виконання різку довільного профілю та практично довільної довжини. Якщо взяти до уваги, що зазвичай підналагодження гідрорізних верстатів здійснюється в середньому 5-8 разів за зміну, а методи струминного та струминно-абразивного різання мають досить широкі технологічні можливості, і, на відміну від різання механічного, дозволяють відтворювати досить складні елементи профілю, їх переваги стають очевидними. Однак у той же час оброблення заготовок неоднорідної структури (композитів на полімерній основі) стикається з рядом складнощів, пов'язаних із спроможністю рідини вибірково оминати більш міцні перепони та створювати локальні високоградієнтні гідродинамічні навантаження. Ці явища нерідко призводять до появи на поверхні крайки дефектного деструктивного шару значної глибини, який для певних виробів може суттєво погіршити їх експлуатаційні властивості (перед усім, знижуючи міцність та жорсткість виробу, роблячи його крайки водонаповненими тощо). Отже, виявлення функціональних залежностей, що пов'язують режими ведення обробки із очікуваною товщиною деструктивного шару, розробка технічних засобів та технологічних прийомів ведення обробки є

актуальною та важливою задачею, розв'язання якої дозволить розширити впровадження гідрорізних технологій у виробництво, скоротити брак та забезпечити прогнозовані механічні властивості кінцевого виробу.

Мета дослідження. Дослідити особливості утворення деструктивного шару на крайких оболонкових виробів із композитів, встановити функціональні залежності його товщини від режимів гідро- або гідроабразивної обробки.

Основний зміст роботи. Процеси механічного різання неметалевих композитів нині є найбільш дослідженими, оскільки цими питаннями займалися представники ряду шкіл: Механічного інститута (м. Санкт-Петербург) під керівництвом А.А. Степанова, Омського політехнічного інститута під керівництвом Б.П. Штучного, Державного технічного університету ім. Баумана (м. Москва) під керівництвом В.Н. Подураєва та В.М. Ярославцева, Інституту надтвердих матеріалів НАН України ім. Бакуля (В.Г. Сороченко), УкрНІАТі (Б.В. Лупкін), Харківського національного технічного університету під керівництвом М.Ф. Семко (а також М.В.Верезуба) [1]. Оскільки утворення деструктивного шару є наслідком взаємодії інструменту (як лезового, так і ідеалізованого струминного) із матеріалом, розв'язання поставленої задачі вбачається у аналізі явищ руйнування композитів у тих чи інших умовах.

Під час механічного різання відбувається зняття матеріалу внаслідок зародження та поширення мікротріщин, які під дією різального клина біфурцирують та зливаються у тріщини магістральні, направлені під певними кутами до лінії дії сили різання. Процес різання волокнистих полімерних композитів має чітко виражений циклічний ударно-динамічний характер. Механізм одного циклу полягає у такому: під дією прикладених різучим клином навантажень в композиті відбуваються зародження, зростання та взаємодія субмікротріщин та мікротріщин. Коли напруження в зоні контакту досягнуть граничного рівня, відбувається старт магістральної тріщини, або старт та розгалуження системи тріщин. Після початку руйнування відбувається швидке зростання системи тріщин в об'ємі шару, який знімається, що супроводжується падінням сили різання та відділенням шару матеріалу. Далі іде новий цикл руйнування матеріалу. При цьому сила різання змінює своє значення від максимального до мінімального.

Тривалість циклу руйнування, його амплітуда, частота циклів залежать від швидкості різання, товщини зрізу, марки оброблюваного матеріалу, направлення вектора головного руху різання відносно направлення армування композиту. Таким чином, процес різання волокнистих полімерних композитів є динамічним, так як швидкість росту сили різання до критичного значення, що забезпечує старт макротріщини (або системи тріщин) та їх подальший закритичний розвиток є функціями швидкості різання та часу контакту.

Волокнисті полімерні композити типу склопластиків, органопластиків, склоорганопластиків мають домінуючі пружні властивості. З позицій механіки руйнування їх можна вважати ідеально крихкими з нехтувано малою областю текучості у вершині тріщини. Більш того, експерименти з композитними матеріалами показали, що із збільшенням швидкості навантаження тріщиностійкість (критичний коефіцієнт інтенсивності напруг старту тріщини) зменшується. Це означає зменшення в'язких властивостей перед пружними, тобто окрихчення, яке відбувається до величини швидкості $V \approx 0,13C_2$, де C_2 – швидкість хвиль Релея.

Дослідниками доведено, що руйнування композиту (армованого скляними волокнами полімеру) відбувається по лінії розділення матеріалу різучим клином, де встановлюється максимальне напруження та максимальний коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) для цих умов, причому при швидкостях різання біля 20 м/с швидкість розповсюдження тріщини досягає своїх граничних значень (вище 700 м/с).

Формування деструктивного шару відбувається переважно за рахунок тріщин, які не досягли свого критичного значення і не перетворилися на магістральні. Зазвичай дефектність шару виражена слабо, а товщина деструктованої ділянки не перевищує 0,03-0,09 мм.

На відміну від механічного, різання тонким надзвуковим струменем рідини малого (біля 0,1-0,25 мм) діаметра відбувається внаслідок гідродинамічного навантаження поверхні, при якому локальні дефекти розпочинають швидко зливатися, зростати та сягати критичних значень, після чого відбувається початкове руйнування матеріалу. Цей процес йде у два етапи – початкового пружного втиснення поверхні та утворення мікродефектів та наступного активного зростання мікротріщин внаслідок дії гідродинамічних сил. Дослідження процесів гідрорізання здійснювали І.В.Петко, Р.Тихоміров, М.Гуєнко, а узагальнення та механіка процесу гідрорізання композитних матеріалів (як ортотропних шаруватих пластин) подано нами в роботах [2] [3].

При цьому було встановлено, що формування борозенки різі та утворення деструктивного поверхневого шару є наслідком диспергації елементарних обсягів заготовки при її поступовому переміщенні відносно швидкоплинного струменя, яке призводить до зародження, зростання та розгалуження мікротріщин, орієнтованих під ймовірними кутами відносно осі швидкоплинного струменя, їх наступного злиття з активним руйнуванням у центрі прикладання гідровпливу і виносом шламу, та кінцевого формування поверхні розділу периферійною частиною струменя і стічним потоком рідини, насиченим продуктами руйнування.

Оброблювані волокнисті неметали при гідрорізанні можна вважати крихкими, зі зменшенням крихкості при зниженні інтенсивності прикладання струминного навантаження в зоні виходу струменя, що обумовлює кінцеве формування поверхні борозенки різі як наслідок пружно-пластичного деформування мікроставів та багатоциклового навантаження елементів поверхні. Концентрація мікротріщин, їх зародження та напрямок розвитку залежить від ширини зони передруйнування, утвореною на межі стискуючих та розтягуючих напруг та співпадаючою з зоною гідровпливу оболонкою струменя, та швидкості перенесення гідровпливу уздовж оброблюваної поверхні.

Процес тріщиноутворення, наслідком якого є нестационарне гідроруйнування мікрообсягів оброблюваної заготовки, визначає товщину деструктивного шару та форму поверхні різання, і в кінцевому рахунку обумовлює ефективність гідрообробки і якість отриманих поверхонь розділу. Деструктивний шар може сягати значних розмірів, особливо у випадку, коли наскрізне прорізання відсутнє, а стічний потік прямує назустріч струменю (рис. 1).

Збільшенню товщини деструктивного шару сприяє структурність композиту. Так, вивченням автором поверхні гідрорізання композиту встановлено, що розвиток та розповсюдження магістральних тріщин відбувається переважно уздовж волокон (рис.1,б), в результаті чого створюються умови виникнення локальних сколювань та розшарувань, активний розвиток яких обумовлюється дією гідравлічного клина. З цих позицій стає зрозумілою поява значних сколювань на оброблюваній поверхні та різ із крупними диспергованими частками шламу при

обробці матеріалу струменем, який витікає під тиском, близьким до критичного – 150...200 МПа: утворені магістральні тріщини не встигають розгалужуватися, і сприймають дію гідродинамічного клина, активно розкриваючись до появи критичних напружень у верхівці.

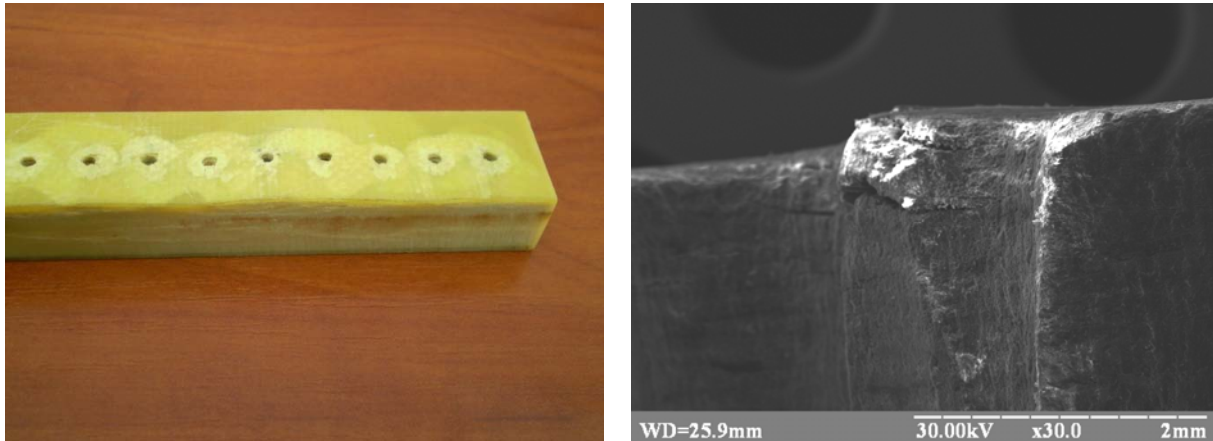


Рис. 1. Виріб із склотекстоліту (а), в якому виконано також кілька отворів з неповним прорізанням та мікрофотографія деструктованої ділянки торця виробу (б)

Для визначення очікуваної товщини деструктивного шару скористалися положеннями лінійної механіки руйнування твердого тіла [4].

Спрощене рівняння розвитку тріщини при циклічному навантаженні визначається як $\frac{da}{dN} = \left(\frac{\Delta k}{c}\right)^n$, що при інтегруванні та певних перетвореннях дозволяє пов'язати кількість циклів навантаження N з відносним розміром тріщини $\frac{a_0}{a_c} \frac{a_0}{a_c} = n/2-1 \sqrt{1 - \frac{CN}{K}}$, де $C = a_0^{n/2-1} \left(\frac{\sigma}{\rho}\right)^n \left(\frac{\rho}{c}\right)^n$, $K = \frac{1}{\sqrt{\pi(n/2-1)}}$,

a_0 – початкова довжина тріщини; a_c – її критичний розмір (критичний до моменту розгалуження); ρ – густина матеріалу; n , c – константи матеріалу; σ – мікронапруження у верхівці.

Кількість циклів навантаження визначимо з таких міркувань. Нехай струмінь рідини на певній відстані від зрізу сопла має діаметр D_0 та діаметр активної частини D_a . Якщо швидкість робочої подачі становить s , то час сприймання фронтом гідроруйнування струминного впливу периферійною частиною струменя становить $t = \frac{D_0 - D_a}{s}$. Кількість циклів

навантаження елементарної площинки поверхні пульсуючим швидкоплинним струменем встановлено на основі рівнянь [3]:

$$N = tF = \frac{1.09(D_0 - D_a)}{s_r C_p \sqrt{\frac{p_b}{\rho}}}. \text{ Тоді довжина тріщини становитиме:}$$

$$a_c = \frac{a_0}{\sqrt[n/2-1]{1 - \frac{1.09C(D_0 - D_a)}{s_r C_p K \left(\frac{p_b}{\rho}\right)^{0.5}}}} \quad (1)$$

Зростання тріщини без розгалуження відбуватиметься доти, доки різниця ($G-R$) не сягне критичного значення. Якщо товщина шару наповнювача композита буде більшою за довжину тріщини до моменту її розгалуження, тріщина змінить напрям руху і у подальшому розповсюджується по межі “матриця-наповнювач”. В протилежному випадку розгалуження наступить раніше і протікатиме під кутами, близькими до 90° відносно магістральної тріщини.

Надання струменю поступової подачі призводить до переміщення центру гідравлічного впливу та формування борозенки різь, поверхні розділу якої також сприймають струминне навантаження периферією струменя з торця поверхні натікання струменя, однак, на відміну від розглянутого випадку, до зони значних стискуючих напружень не потрапляють. Це призводить до утворення та розвитку сітки магістральних нерозгалужених тріщин, які можуть припинити зростання після виходу із зони контакту зі струменем за умови, що розтічний потік, утворений на елементарних площинках поверхні розділу, не викличе появу у верхівках тріщин напружень, які перевищують межу міцності матеріалу. В протилежному випадку виникатимуть розшарування та відколи на поверхні обробки (рис. 1,а).

Товщину деструктивного шару визначено на основі встановлення довжини магістральної тріщини, яка, змінивши напрям свого розвитку при досягненні армувального волокна, розвивалася протягом часу дії струминного навантаження.

Так, довжина перетину, який сприймає струминне навантаження периферією струменя (точки А-А), становить $l_{a-a} = 2\sqrt{D_0^2/2 - D_a^2/2}$. Кількість циклів при навантаженні становить $N_p = t_p F = \frac{2.182C_p \sqrt{D_0^2/2 - D_a^2/2}}{s \sqrt{\frac{\rho}{p_b}}}$, а

довжина тріщини a_{cp} за умови зміни напрямку руху при досягненні поверхні армувальних волокон

$$a_{cp} = \frac{a_0}{\sqrt[n/2-1]{1 - \frac{2.182C_p C \sqrt{D_0^2/2 - D_a^2/2}}{s_r K \left(\frac{\rho}{p_b}\right)^{0.5}}}}$$

Пошукова товщина деструктивного шару на бокових поверхнях борозенки різи становитиме:

$$h_d = \frac{D_0 - D_a}{2} + \frac{a_0}{\sqrt[n/2-1]{1 - \frac{2.182C_p C \sqrt{D_0^2/2 - D_a^2/2}}{s_r K \left(\frac{\rho}{p_b}\right)^{0.5}}}} - x_c \quad (2)$$

де x_c – товщина шару наповнювача.

Аналіз формули (2) показує, що мінімізація деструктивного шару, утвореного на бокових поверхнях борозенки різи полягає у зменшенні периферійної частини струменя та ступеня його розвиненості. Збільшення робочої подачі s , хоча і зменшує час знаходження поверхні під впливом швидкоплинного струменя, однак призводить до зміни орієнтації елементарних площин руйнування поверхні розділу, що веде до зростання деструктивного шару за рахунок розкриття вже існуючих тріщин та до можливих відколів і розшарувань. Окрім того, наднизька подача обумовлюватиме значне зростання магістральних тріщин, які розповсюджуватимуться в різних напрямках відносно фронту гідроруйнування, що також призведе до зниження якості поверхні різи.

При гідроабразивному різанні у швидкоплинний струмінь рідини додатково вводять абразивні частинки, які переважно і виконують і роботу руйнування. Сам струмінь рідини постає ідеалізованим точковим інструментом, який, руйнуючи заготовку за перетином уздовж осі натікання, відтворює заданий контур при наданні руху подачі. Отже, основою процесу є деформаційно-абразивне зношення поверхні внаслідок дії потоку абразивних частинок. З урахуванням розподілу частинок за перетином та параметрів струминно-абразивного потоку обсяг вилученого матеріалу на елементарній площинці $x_i - x_{i+1}; y_i - y_{i+1}$ становитиме [5]:

$$w_i = \frac{2Rh \sin(\varepsilon)}{(x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} - y_i)}$$

$$\cdot \frac{Q_m}{m} w_{i\Sigma} \int_0^t \int_{x_i(t)}^{x_{i+1}(t)} \int_{y_i(t)}^{y_{i+1}(t)} \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{(x-a_x)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-a_y)^2}{2\sigma_y^2}} dx dy dt$$

Однак як і при гідроструминному, так і гідроабразивному формуванні нових крайок виникає дефектний шар, обумовлений, як і у попередньому випадку, дією гідродинамічних навантажень.

Зважаючи на те, що, як і у попередньому випадку, деструктивний шар виникає від циклічної дії частинок потоку (у даному випадку, абразивних), які не змогли викликати відповідні дотичні напруження у матеріалі, при яких відбулося його зрізання, міркування будуть аналогічними. Кількість циклів навантаження визначимо з міркувань кількості потрапляння абразивних частинок на поверхню борозенки різи за час t , протягом якого струмінь переміститься на величину власного діаметра. Оскільки аналіз фракційності абразиву доводить, що на елемент поверхні потрапить кількість частинок з математичним очікуванням $\xi(N)$, вираз набуває вигляду $N = \frac{Q_m}{\xi(N)m} t = \frac{Q_m d_c}{\xi(N)m s_k}$, де s_k – швидкість контурної

подачі. Тоді довжина тріщини становитиме $a_c = \frac{a_0}{\sqrt[n/2-1]{1 - \frac{CQ_m d_c}{\xi(N)m s_k K}}}$, а пошукова товщина деструктивного шару на

бокових поверхнях борозенки різи визначиться залежністю:

$$h_d = \nu \frac{a_0}{\sqrt[n/2-1]{1 - \frac{CQ_m d_c}{\xi(N)m s_k k}}} \quad (3)$$

де ν – поправковий коефіцієнт, який враховує накопичення пошкоджень у обсязі поверхневого шару, спроможних викликати зміну фізико-механічних властивостей.

Отже, рівняння (3) враховує не тільки ймовірнісний розподіл частинок, не спроможних виконати різання (їх визначали на основі електронно-мікроскопічного аналізу фракційності абразиву - [6]), а і накопичення пошкоджень

у матеріалі. Звичайно, оби два отриманих рівняння (2) та (3) потребують ідентифікації, оскільки ряд параметрів, зокрема, констант матеріалу, практично визначити дуже складно.

Перевірку теоретичних положень та відповідну ідентифікацію рівнянь (2), (3) здійснювали шляхом порівняння межових значень навантажень, спроможних виконати руйнування тестових зразків при нормальному навантаженні на розривній машині мод. Р-20.

При цьому прийняли припущення, що при проведенні механічного різання деструктивний шар нехтувано малий (становить до 20 мкм); тоді при гідро- або гідроабразивному різанні виниклі мікротріщини, що утворюватимуть деструктивний шар, зменшать площу перетину на величину поширення магістральний тріщин, визначених за відповідними залежностями. Оскільки товщина зразків була однаковою, то тонкі перетини зразка руйнуватимуться при досягненні такого значення розривного зусилля P_p , для якого $\sigma_e > [\sigma]$, визначеного за довідником. Тобто для площі перетину f виникаючі напруження становитимуть $\sigma_e = \frac{P_p}{b \cdot h}$ для зразка, обробленого механічним способом за умови, що

деструктивний шар практично повністю відсутній та $\sigma'_e = \frac{P'_p}{(b - h_d) \cdot h}$, де $h_d = v \frac{a_0}{\sqrt[n/2-1]{1 - \frac{CQ_m d_c}{\xi(N) m s_k k}}}$ для зразків,

виконаних відповідними струминними технологіями.

Зважаючи, що руйнування зразків одного матеріалу відбувається при до-сягненні усередненого значення $\sigma_e = \sigma'_e$, можна записати $\frac{P_p}{bh} = \frac{P'_p}{(b - 2h_d) \cdot h}$, звідки після незначних перетворень визначиться товщина деструктивного шару h_d :

$$h_d = \frac{b}{2} \left[1 - \frac{P'_p}{P_p} \right]. \quad (4)$$

Таким чином, визначення товщини деструктивного шару за (2), та (3) та співставлення результатів із даними отриманими експериментально за (4), дозволяє довести теоретичні міркування та ідентифікувати параметри отриманих залежностей.

Лопаткові зразки встановленої форми для випробувань на розривній машині вирізали зі склотекстоліту та склопластику намоткового товщиною 5 мм. Далі виконували обробку механічним способом (кінцевими фрезами Ø10,0 мм Р6М5) та гідроабразивним (з параметрами: $p_b=300$ МПа, $d_c=0,22$ мм, $D_k = 1,8$ мм, абразив – гранатовий пісок фракції 0,12 мм, $M_a=0,8$ гк/хв., $s_k=600$ мм/хв.). Контрольну перемичку виконували у розмір 5 мм, при цьому механічним способом забезпечували ІТ8 ($5^{+0,007}_{-0,007}$). Отже, поле допуску складало 14 мкм. Межа міцності склопластика для умов експреименту становила 310 МПа.

При гідроабразивному різанні використовували нову калібрувальну трубку з розміром отвору 1,25 мм, а налагодження верстата виконували за умови компенсації діаметру різальної частини струменя $0,5D_k=0,625$ мм.

Результати досліджень та теоретичних розрахунків зводили до відповідної таблиці, приклад якої поданий (табл.1.)

При розрахунках товщини деструктивного шару користувалися рівняннями (2), (3), вибравши відповідні коефіцієнти, як зазначено в [4]. Так, наприклад, для випадку гідроабразивного різання із вказаними параметрами шаруватий матеріал матиме очікувану товщину деструктивного шару $h_p=0,57-0,59$ мм, регулярно армований полотняний склопластик $h_p=0,39-0,43$ мм.

Досліди дублювали по 5 разів для еталонних зразків (механічно оброблених) та для зразків, виконаних гідроабразивним різанням. Результати заносили до табл.1.

Таблиця 1

Результати визначення товщини деструктивного шару, утвореного при гідроабразивному різанні зразків досліджуваних композитів

Матеріал	$[\sigma]$, Мпа	P_{pi} , кН, еталон	P'_p Н, досл.	h_p , мм, розрах.	h_e , мм, експ.	Відхилення, %
КАСТ-В	50,0	1,23	0,95	0,58	0,55	5,4%
		1,28	0,99		0,56	
		1,25	0,97		0,53	
		1,24	0,89		0,55	
		1,25	0,94		0,56	
		1,25	0,94		0,55	
СВА	310,0	7,75	6,51	0,43	0,42	3,8%
		7,8	6,48		0,41	
		7,79	6,35		0,41	
		7,55	6,45		0,40	
		7,6	6,55		0,42	
		7,698	6,43		0,415	

Аналіз отриманих результатів показав таке. Помилка вимірів критичного навантаження P як еталонних зразків, так і дослідних, отриманих гідроабразивним різанням, не перевищує 5%, промахи відсутні; відхилення розрахункової величини від експериментального значення становить 3-5%, є однаковим для двох досліджуваних матеріалів і обумовлюється, швидше за все, неврахованістю накопичених пошкоджень, представлених у (3) коефіцієнтом v . Системність помилки підтверджує тотожність вимірюваних величин та розрахункових.

* - $[\sigma]$ обиралася для зазначених матеріалів, регулярно армованих багатощарових при розтягуванні

** - у рівнянні (3) поправковий коефіцієнт v обрано $v=0,3$, кількість актів взаємодії розраховано на основі [5], a_0 визначено за допомогою растрової електронної мікроскопії

Дослідження зразків, отриманих гідроструминним різанням показало дещо інший результат. За умови максимальної продуктивності процесу при заданих умовах ($p_b=400$ МПа, отвір сопла $d_c=0,12$ мм, сопло сапфірове) товщина деструктивного шару наблизилася до величини 0,75-0,9 мм, однак за результатами розрахунків повинна становити не більше 0,5-0,6 мм. Системна зміна показника при зміні режимів різання дала підставу припустити, що у випадку гідроструминного різання на формування деструктивного шару більше впливають явища гідродинамічного характеру. Тому для визначення товщини деструкції доцільно користуватися спрощеним емпіричним рівнянням:

$$h_{DF} = C_{DF} DF(\alpha_p) d^m \left(\frac{p_b}{100} \right)^n \quad (5)$$

де $DF(\alpha_p) = A + B\alpha_p + C\alpha_p^2$.

Після ідентифікації та виконання серії експериментальних досліджень було доведено адекватність (5) у разі використання коефіцієнтів, поданих у табл. 2.

Аналіз отриманих результатів показав наступне. Гідроабразивне різання дозволяє отримати практично вдвічі меншу товщину деструктивного шару, що поряд із більш високою продуктивністю процесу робить її доцільною у використанні для випадків, коли саме цей показник є головним. Для зменшення товщини деструкції при гідроабразивному різанні слід використовувати більш дрібний абразив (у якого маса частинок m_a менша, що при тій же масовій витраті Q_m забезпечує більшу кількість циклів навантаження поверхневих ділянок крайки – див. (3)), а тиск рідини p_b , використовуваної для розгону абразивних частинок – збільшувати.

Таблиця 2

Значення емпіричних коефіцієнтів для визначення товщини деструктивного шару при гідроструминному різанні

Матеріал	C_{DF}	m	n	A	B	C
1. Склопластик СВА	8.6	1.5	1.6	83.5	-36.7	8.6
2. Вуглепластик	1.5	0.6	1.5	2.4	15.2	5.3
3. Склотекстоліт КАСТ-В	14.8	1.6	1.8	45.6	34.3	6.2

Порівняння двох аналізованих технологій із лезвийним різанням доводить, що забезпечення однакового рівня товщини деструкції шару можливе лише за умови зменшення швидкості робочої подачі s (зростає N у (3) та зменшується α у (5)), отже, реальне збільшення продуктивності процесу за умови однаковості деструкції становить лише 2-2,5 рази.

Список літератури

1. *Верезуб Н.В.* Создание высокоэффективных процессов механической обработки полимерных композитов на основе закономерностей механики разрушения. // Развитие процессов резания и холодного пластического деформирования металлов. – Сб. научн. трудов. – Киев: ИСМ НАН Украины, 1994.
2. *A. Salenko, V.Docenko, A.Mana* Some aspects of composite materials hydro jetting from the point of view of linear mechanics destruction // Journal of the Technical University of Gabrovo, №36, 2008. – p.45-55
3. *Саленко О.Ф.* Високоєфективне гідрорізання неметалевих ортотропних оболонок. – Высокие технологии: Развитие и кадровое обеспечение. – Харьков, НТУ “КПИ”, 2001. – с. 189-192.
4. *A. Salenko, V.Docenko, A.Fomovskaya* The energetic approach for analysis of form-building at hidro abrasive engraving // Journal of the Technical University of Gabrovo, №37, 2009. – p.31-45
5. *Фомовска О.В.* Візуалізація формоутворення при гідроабразивному різанні на основі енергетичних моделей руйнування // Вісник КДПУ ім. М.Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2009 – вип2, ч1 с27-31(здобувачем розвинено метод візуалізації поверхні при руйнуванні)
6. *Саленко О.Ф., Фомовська О.В.* Усунення явища налипання абразиву на закрайках заготовок, отриманих гідрорізанням // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов 15 международной научно-технической конференции. – Донецк, ДонНТУ, 2008. – т. 4. с.292-299.