

УДК 621.91.005

І.В. ПЕТКО, В.М. ПАВЛЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ГІДРОРІЗАННЯ ЛИСТОВИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

У роботі розглядаються особливості конструкції та принципи створення спеціальної системи керування процесом гідрорізання листових матеріалів (зокрема, композитів), який дає можливість одночасно змінювати подачу та миттєвий тиск витікання технологічної рідини, завдяки чому досягається мінімізація товщини деструктивного шару при веденні обробки з тиском рідини до 260 МПа. Використання подібної системи дозволяє знизити собівартість обробки, уникнувши розшарування торця різа.

Ключові слова: гідрорізання, рідинний струмінь, технологічна рідина, композитний матеріал, система керування, кероване руйнування.

Стрімкий розвиток науково-технічного прогресу, що спостерігається останнім часом, обумовив різке збільшення обсягів промислового використання неметалевих композитів а, відтоді, і розвиток нового наукового напрямку – розроблення методів обробки композитів та необхідного інструментального забезпечення. Серед зазначених методів провідне місце займають струминні технології, сутність яких полягає у виконанні керованого руйнування матеріалу заготовки за допомогою тонкого рідинного струменя, який витікає з соплової насадки з надзвуковою швидкістю.

Постановка завдання

Проведений літературний та патентний аналіз, а також аналіз використання діючого гідроструминного обладнання показав, що мінімізація товщини деструктивного шару та досягнення високої якості отриманих при різанні поверхонь листових композитів, вимагає використання високоточних профільованих сопел з діаметрами отвору 0,06...0,1 мм та створення тиску рідини понад 350 МПа. Оброблення виконується при швидкості подачі, заниженій у 1,5...2,5 рази проти можливої (при якій відбувається повне перерізання перетину заготовки), а для підвищення ефективності у швидкоплинний струмінь вводять розчинні полімери, дрібнодисперсний абразив, що значно здорожує обробку та робить її низькоефективною.

Детальне та всебічне дослідження механіки струминного руйнування композитів дозволило знайти інший шлях подолання зазначених недоліків метода.

Об'єкт та методи досліджень

Об'єктом дослідження є процес гідрорізання листових матеріалів (зокрема, композитів)

Предметом дослідження є створення системи керування процесом гідрорізання листових матеріалів, що забезпечує одночасне керування подачею та миттєвим тиском витікання технологічної рідини.

Результати досліджень та їх обговорення

Теоретичні положення, сформульовані в роботах [1], [2] вказують, що поверхня розділу в зоні гідрорізання має певні геометричні характеристики, які однозначно характеризують очікувану якість різки, а саме: товщину деструктивного шару, рівень шорсткості та хвилястості поверхні, розшарування матеріалу заготовки.

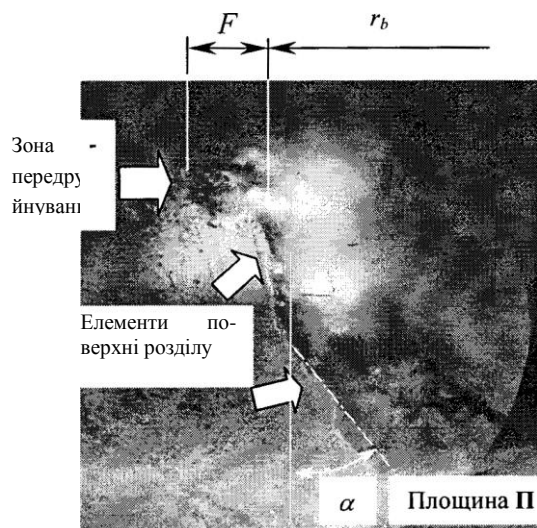


Рис.1. Схема утворення поверхні розділу на фронті гідрорізання та мікрофотографія перетину в площині

кута нахилу з фізико-механічними властивостями оброблюваної заготовки та режимами ведення оброблення:

$$a = \arctan \left(\frac{2r}{h \left(\frac{v_z}{v_0} \right)} \right); \quad v_z, v_0 = f T = \frac{p - T}{Tr^2} r_c^2 v_c, \quad (1)$$

де: r – радіус струменя, h – товщина стінки виробу, v_z, v_0 – швидкість проникнення струменя у компоненти (шари) матеріалу, p – тиск технологічної рідини, $T = T_m$ – міцність наповнювача, v_c – швидкість витікання струменя, а $T = T'_m$ – міцність армувальних включень (для v_0, v_z відповідно). Слід зауважити, що максимальний кут нахилу визначається товщиною заготовки та діаметром струменя,

$$a = \arctan \left(\frac{2r}{h} \right).$$

Чим більший кут нахилу, тим гірша якість оброблення, однак більш повно витрачається підведена у зону різання енергія. Навпаки, зменшення кута a призводить до того, що основну руйнівну роботу виконує периферія струменя, продуктивність обробки зменшується, однак якість отриманих поверхонь обробки зростає. Аналіз рівнянь (1) показує, що необхідного значення кута нахилу можна досягти, змінюючи швидкість робочої подачі s та швидкість витікання струменя v_c . Так, якщо оброблюваний матеріал являє собою багатошарову структуру з твердим армувальним шаром та менш міцним шаром наповнювача, швидкість подачі необхідно зменшити до рівня:

$$s_{pk} = s \frac{hM}{h+x} \frac{1}{M-1}; \quad M = \frac{p - T_m}{p - T'_m} \frac{T'_m}{T_m} \quad (2)$$

де s – подача, розрахована для випадку різання однорідного матеріалу з межею міцності, що дорівнює межі міцності композиції в цілому; x – параметр структури оброблюваного матеріалу.

Сформульовані положення дозволяють визначити принципи керування процесом, головним з яких є принцип одночасного досягнення максимальної продуктивності різання та заданої якості обробки

на основі моніторингу геометричних параметрів зони різання шляхом контролю напрямку сходу потоку відпрацьованої рідини. При цьому можна виходити з припущення, що кут стікання відпрацьованої рідини практично повністю співпадає з кутом нахилу елементів поверхні розділу на фронті гідроруйнування (або іншими словами, з кутом нахилу гіпотетичної площини Π). Це дає змогу встановлювати максимальну робочу подачу при номінальному тиску технологічної рідини (від якої залежить швидкість витікання струменя та його кінетична енергія), а залежно від того, наскільки бажане значення кута відрізняється від потрібного, зменшувати подачу чи на невеликий час підвищувати тиск, досягаючи повернення контрольованого параметру у встановлені межі. Викладений принцип реалізовано шляхом створення адаптивної системи, в якій відбувається одночасне керування параметрами, що визначають орієнтацію елементарних площинок поверхні розділу за перетином оброблюваного тіла - швидкістю подачі s та тиском технологічної рідини p за рахунок контролю кута сходу відпрацьованої рідини. Принципову схему слідкуючої системи керування процесом гідрорізання подано на рис. 2. Слідкуюча система має два замкнені контури: контур керування швидкістю робочої подачі з автономним задатчиком початкової швидкості; контур керування миттєвим рівнем тиску технологічної рідини з силовим елементом та пропорційним керуванням.

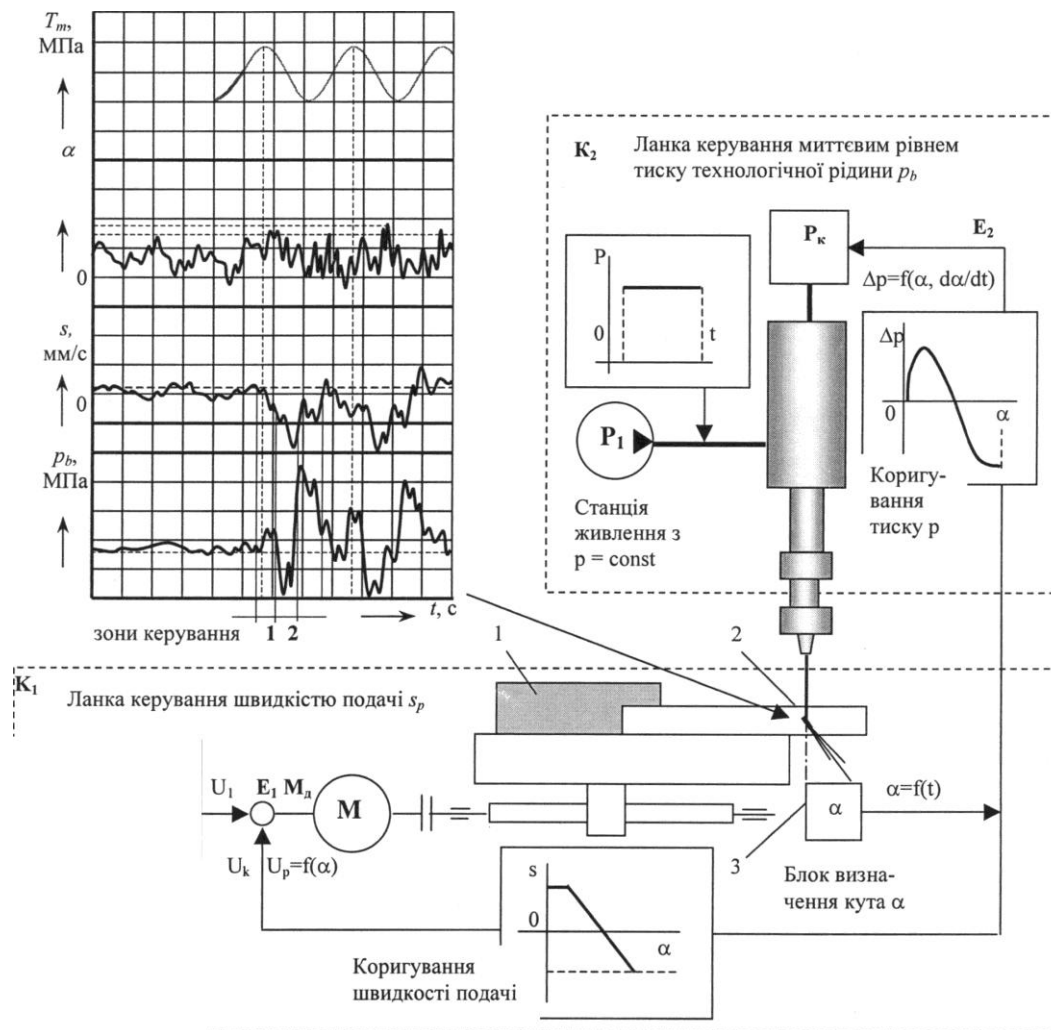


Рис. 2. Принципова схема слідкуючої системи управління гідрорізанням

У запропонованій системі використання першого контуру забезпечує стабілізацію кута нахилу площинки гідроруйнування у певних межах за рахунок забезпечення відповідної швидкості подачі s , а другого контуру – за рахунок керованої зміни тиску рідини p . Вхідною координатою даної слідкуючої системи є кут нахилу площинки, який залежить від умов гідрорізання, а також властивостей та структури оброблюваного матеріалу. Контур K_1 складається з приводного керованого двигуна M (рис.2), механічної ланки, що передає рух робочому столу I , на якому закріплено оброблювану заготовку 2 . Зворотний зв'язок (33₁) в залежності від положення площинки гідроруйнування забезпечується за допомогою індуктивного датчика контролю евакуйованого потоку рідини 3 , сигнал з якого надходить на підсумовуючий елемент E_1 . Контур K_2 включає блок живлення високого тиску p_1 з постійною нерегульованою витратою та постійним тиском $p=const$, а також додаткове джерело p_k з пропорційним керуванням, яке забезпечується зворотним зв'язком (33₂) від того ж датчика 3 . Керуючий сигнал від датчика подається на додаткове джерело живлення p_k через підсумовуючий елемент E_2 . Цільова функція керування набуває виду: $a \rightarrow a_{\xi\delta} \rightarrow \min$, яка визначена експериментальними дослідженнями процесу гідрорізання еталонних зразків різних матеріалів. До уваги прийнято, що кут нахилу площинки гідроруйнування прямо пропорційний межі міцності оброблюваного матеріалу, швидкості подачі та зворотно пропорційний тиску технологічної рідини:

$$a \cong k_1 T_m^{\xi}; \quad a \cong k_2 s \quad a \cong \frac{k_3}{p} \quad (3)$$

Зворотний зв'язок у розглянутих контурах забезпечується пропорційною або диференційною інерційною ланками з пошуковою характеристикою. Уявлення процесу гідроруйнування у вигляді аперіодичної ланки дозволяє для математичного опису збурюючого впливу використовувати детерміновані функції кількох типів [3]. За вихідну координату приймали орієнтацію потоку відпрацьованої рідини, яку фіксували спеціальним пристроєм, оснащеним індуктивним датчиком контролю потоку виходу відпрацьованої рідини. Пристрій складається з індуктивного двохобмоткового трансформатора з розімкнутим магнітопроводом, обмотки якого під'єднано до ланки попереднього підсилення. Сигнал з цієї ланки надходить до змішувача, з'єднаного з генератором високої частоти, і далі до вузькосмугового фільтра, який генерує частоту 16 кГц, на якій і відбувається аналіз амплітуди, що залежить від положення потоку виходу відпрацьованої рідини. Отриманий сигнал через підсилюючу ланку надходить до фіксуючого пристрою – осцилографа або порта комп'ютера. Рідина, що протікає через щілину трансформатора, змінює його індуктивність та порушує умови резонансної роботи змішувача, викликаючи тим самим зміну амплітуди вихідного сигналу фіксованої частоти. Регулюванням приладу встановлювали резонанс при азимутальному положенні струменя (вертикальна вісь). Виміри кута здійснювалися до граничної межі, яку лімітувала геометрія робочої щілини трансформатора. Ефективне забезпечення заданого положення елементів поверхні розділу досягається одночасним впливом двох слідкуючих контурів – керування подачею та тиском технологічної рідини (рис. 2, лівий верхній кут). Для забезпечення сталої роботи прийнято двозонне керування процесом гідрорізання, яке дозволяє лінеаризувати закони управління процесом. У першій зоні лінійно зменшується швидкість подачі s та пропорційно збільшується тиск рідини p . Якщо цього недостатньо, то при досягненні критичної швидкості S_p/C_p включається коло гасіння тиску до значення C_{2pp_b} при одночасному продовженні зниження робочої подачі до $s_p=0$. Далі тиск починає зростати, а подача

припиняється. Цим досягається бажане положення потоку евакуйованої рідини, більш міцний елемент оброблюваної заготовки знаходиться під більш інтенсивнішим навантаженням і руйнується без збільшення товщини деструктивного шару (так як умови гідроруйнування наближаються до оптимальних), а система знову набуває швидкість подачі s_p та тиск p_b .

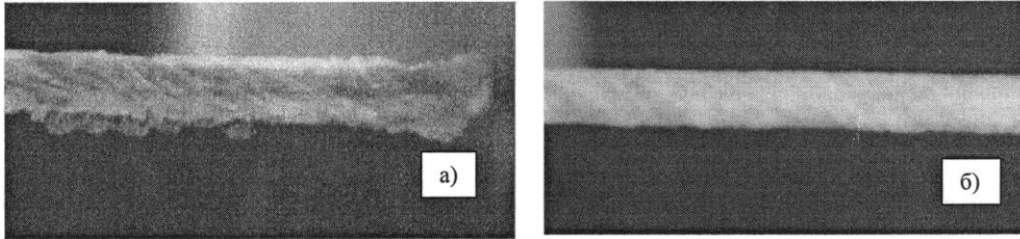


Рис. 3. Фото торця поверхні заготовки, який отримано без залучення системи керування процесом струминного різання (а) та з увімкненням відповідної системи (б)

Висновки

Розроблену систему доведено до рівня дослідно-промислового зразка та проведено її випробування. В результаті встановлено, що струминне різання листових матеріалів з застосуванням розробленої системи керування дозволяє отримати значне покращення якості прорізання (рис. 3), уникнути суттєвого розшарування та знизити вологопоглинання поверхневим шаром оброблюваного матеріалу. При цьому споживання потужності зменшився в середньому на 18%.

Список використаної літератури

1. Саленко О.Ф., Петко І.В., Третьяков О.В. Гідро- та гідро абразивна обробка: теорія, технологія та обладнання: Навч. Посібник. – К.: УЗМН, 1999, 488с.
2. Саленко О.Ф. Високоєфективне гідрорізання неметалевих ортотропних оболонок. – Высокие технологии: Развитие и кадровое обеспечение. – Харьков, НТУ «КПП», 2001. – с. 189–192.
3. Башарин А.В., Постников Ю.В. Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ / Уч. Пособие для ВУЗов, 3-е издание. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 512 с.

Стаття надійшла до редакції 25.09.2012

Устройство для улучшения качества гидорезки листовых композитных материалов

Петко І.В., Павленко В.М.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

В работе рассмотрены особенности конструкции и принципы изготовления специальной системы управления процессом гидорезки листовых композитных материалов, который дает возможность одновременно варьировать подачей материала и мгновенным давлением вытекания технологической жидкости, благодаря чему достигается минимизация толщины деструктивного слоя при проведении обработки с давлением жидкости до 260 МПа. Использование подобной системы позволяет снизить себестоимость обработки за счет исключения расслоения торца реза.

Ключевые слова: гидорезка, жидкостная струя, технологическая жидкость, композитный материал, система управления.

A device for improving the quality of leaf gidorezki composite

I. Petko, V. Pavlenko

Kyiv National University of Technologies and Design

In this work the design features and principles of the special manufacturing process control waterjet composite sheet, which allows you to vary the time of presentation and the instantaneous pressure of the process fluid leakage, which results in minimizing the destructive layer thickness during the treatment with liquid pressure up to 260 MPa. The use of such a system can reduce the cost of processing by eliminating the cut end of the bundle.

Keywords: waterjet, liquid jet, the process fluid, a composite material, the control system.