

УДК 685.31.052

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ГІДРОАБРАЗИВНОГО СТРУМЕНЯ, ВИКОРИСТОВУВАНОВОГО ДЛЯ ПЕРФОРАЦІЇ**О. Ф. Саленко, О. М. Мана, Є. С. Коваль,**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: Salenko2006@ukr.net

Ю. О. Павлюченко

ГКС «Задніпровська», м. Кременчук, Україна.

Аналізується та експериментально перевіряється особливість формування гідроабразивного струменя в робочому органі гідрорізного обладнання, показана етапність взаємодії струменя з оброблюваним полімерним композиційним матеріалом і доведений вплив умов формування струменя на деструкцію та на зміну його фізико-механічних властивостей. Приведені результати моделювання динаміки потоку, виконане їх порівняння із даними експерименту, запропоновано шляхи усунення негативних наслідків гідродинамічного впливу струменя до моменту початку активного руйнування.

Ключові слова: полімерні композиційні матеріали, гідроабразивне прошивання отворів.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ СТРУИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ПЕРФОРАЦИИ**А. Ф. Саленко, А. М. Мана, Е. С. Коваль,**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: Salenko2006@ukr.net

Ю. А. Павлюченко

ГКС «Заднепровская», г. Кременчуг, Украина.

Приведены закономерности формирования гидроабразивной струи жидкости в рабочем органе гидрорезного станка, показаны этапность формирования и взаимодействия струи с обрабатываемым полимерным композиционным материалом и доказано влияние условий формирования струи на величину деструкции и на изменение его физико-механических характеристик в целом. Приведены результаты моделирования динамики потока, выполнено сравнение с данными эксперимента, предложены пути устранения негативного влияния гидродинамического удара до момента начала активного разрушения заготовки.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, гидроабразивное прошивание отверстий.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Розвиток конкурентоспроможної продукції машинобудування, нафтогазовидобувної, авіаційної та космічної галузей нерозривно пов'язаний із розширенням впровадження особливого класу матеріалів – конструкційних композитів, яким властиві підвищені, функціонально орієнтовані фізико-механічні, теплофізичні, діелектричні та інші характеристики.

Стільникові панелі з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) володіють спроможністю ефективно гасити шумовий фон, що супроводжує роботу турбоагрегатів, які нині знаходять застосування в сучасних літаках, в перекачувальних агрегатах газокompресорних станцій. Звукопоглинаючі панелі (ЗПК), що нині виробляються серійно, мають високу вартість, оскільки є нетехнологічними у виготовленні. Конструктивно ЗПК є одношаровими, тришаровими або п'ятишаровими оболонками складної конфігурації. Вони мають значну кількість отворів невеликого діаметра (біля 1,6–2,0 мм), які виконані із кроком 10x10 мм певним напрямком по всій площині оболонки і призначені для підвищення шумопоглинаючих властивостей.

Прошивка отворів гідроабразивним струменем ефективна для однорідних матеріалів, однак у випадку обробки ПКМ картини дефектів можуть бути різними: спучення, розшарування, водопоглинення, відшарування та сколювання на отриманих торцях, тощо.

У той же час гідроабразивне прошивання отворів набуває великого застосування у виробництві, оскільки цей метод володіє високою продуктивністю та

відтворюваністю. Нині систематизованих напрацювань та підходів у питанні забезпечення стабільності геометричної форми отворів, потрібної якості крайки та мінімальності деструкції прилеглих до зон обробки ділянок не виявлено, що обумовлює актуальність досліджень у даному напрямку.

Метою роботи є визначення особливостей та закономірності формування гідроабразивного струменя у струминній головці та їх вплив на якість отриманого отвору.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Отримання масиву отворів гідроабразивним методом виконують у послідовності, яка передбачає ряд робочих ходів P_n , установчих U_j та допоміжних Q_k переміщень, здійснюваних робочими органами гідрорізного верстата.

Отримання початкового отвору діаметром $D_{II}=D_k$ є найбільш складним та відповідальним переходом, оскільки пов'язане із формуванням початкової деструкції радіусом h_{dp} , яка набагато більша за деструкцію, отриману під час контурного різання h_d і особливості утворення якої нині вивчено недостатньо.

Для вивчення особливостей процесу взаємодії струменя із оброблюваним матеріалом розглянуто особливості утворення початкового отвору в заготовці, розташованій на горизонтальному столі. Конструктивно система (рис. 1) складається із блоку живлення високого тиску 1, що є мультиплікаторним джерелом, оснащене гідроаккумулятором високого тиску, магістралі високого тиску 2, блоку відсікання струменя із пневматичним приводом 3 у вигляді

лінійного пневмоциліндру із розподільником золотникового типу з електрокеруванням; струменево формуючої системи 4, що складається із сопла високого тиску, змішувальної камери із трубою подачі абразивних зерен та калібрувальною трубою. Сформований гідроабразивний потік натікає на встановлену перпендикулярно осі струменя перепону – оброблювану заготовку із шаруватого матеріалу 5.

Вважатимемо, що формування гідро абразивного потоку відбувається з моменту подачі електричного імпульсу на пневморозподільник відсікача потоку; при цьому в магистралі високого тиску вже створено тиску p_n знехтувано малими коливаннями, обумовленими пульсаціями рідини у контурі низького тиску.

Розглянемо етапи формування струменя: 1 етап – відкриття золотникового розподільника та потрапляння повітря у робочу порожнину відсікача (тривалість T_1); 2 етап – спрацювання відсікача і зростання швидкості руху струминного потоку (тривалість T_2); 3 етап – початок руху абразивних зерен у камеру змішування (тривалість T_3); 4 етап – уповільнення струменя внаслідок передачі частини кінетичної енергії абразивним частинкам та максимальне насичення струменя абразивними домішками (тривалість T_4); 5 етап – робота з усталеними режимами (тривалість T_5); 6 етап – перемикання золотникового розподільника (тривалість T_6); 7 етап – спрацювання відсікача і уповільнення потоку до повного припинення (тривалість T_7). Кожен із етапів викликати певні зміни у стані оброблюваного матеріалу.

З аналізу етапів стає очевидним, що випереджаче на оброблювану заготовку впливає саме гідродинамічне навантаження, без абразивного впливу, тобто можна припустити, що початкове пошкодження поверхні відбувається шляхом прояву механізму гідро струминного втиснення з наступним лавиноподібним зростанням незворотних деформацій, відповідно до [1]. Тривалість етапу T_2 визначатиме зону початкового пошкодження (деструкції) поверхні.

На наступному етапі (T_3) починає проявлятися дія абразивних зерен, однак оскільки каналу для виходу струменя ще не сформовано, відбувається розтікання по поверхні і дряпання прилеглої ділянки. Власне формування отвору відбувається на етапах T_4 – T_6 , після чого відбувається припинення дії струменя.

З [2] відомо, що спрацювання пневмоприводу відбувається у три етапи: підготовчий, сталого руху та заключний, однак з точки формування струменя важливим є перші два етапи. Тривалість підготовчого етапу відповідає T_1 і складає:

$$T_1 = t_1 + t_2 + t_3,$$

де t_2 час проходження хвилі тиску по лінії підводу від розподільника до робочої камери $t_2 = l_T / a$, l_T – довжина трубопроводу на цій лінії, a – швидкість звуку в повітрі.

Час спрацювання приводу до моменту початку руху поршня визначатиметься часом випорожнення камери вихлопу, тобто:

$$t_{3ст} = T_1 = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{V_{B.P.}}{f_{e.B} s_a^{(k-1)/k}} [y_2(s_{B.P.}) - y_2(s_a)] = T_2, \quad (1)$$

де $s_{B1} = p_a / p_M = s_a$ та $s_{B2} = s_{B.P.} = p_a / p_{B.P.}$ – безрозмірні значення тисків; $V_{B.P.} = V_{B.P.min} + F_{B.S}$ обсяг камери вихлопу у вихідному положенні поршня; p_M – тиск у камері вихлопу; p_a – атмосферний тиск; $p_{B.P.}$ – тиск в момент початку руху поршня.

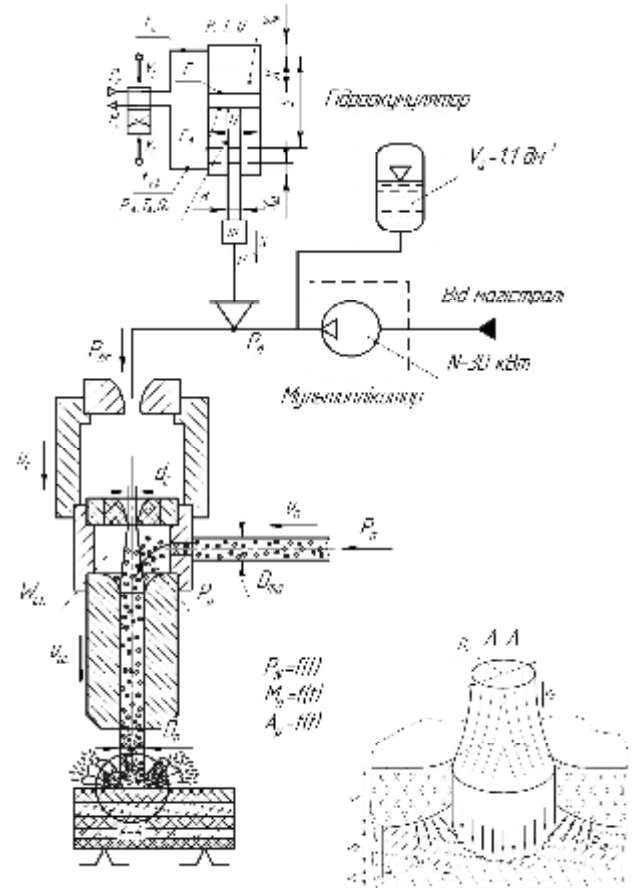


Рисунок 1 – Схема формування струменя в момент відкриття клапану-відсікача та його натікання на оброблювану заготовку

Оскільки спрацювання приводу відбувається і у момент переривання потоку, можна вважати, що $T_7 = T_2$.

Значення тисків на початку руху поршня визначаються рівнянням рівноваги сил, що діють на поршень у цей момент:

$$p_p F - p_{B.P.} F_B - P = 0, \quad (2)$$

де $P = P_T + P_H + p_a(F - F_B)$ – повна сила опору рухові, причому P_T – сила тертя, P_H – навантаження, обумовлене ущільненнями в парі «голка-напрямна», $p_a(F - F_B)$ – поправка, викликана тим, що у рівнянні враховуються не надлишкові, а абсолютні значення тиску.

Зростання тиску в камері змішування призведе до падіння тиску і початку потрапляння повітря трубою для підведення абразиву.

При гідроабразивному різанні матеріалів система подачі абразиву працює внаслідок перепаду тиску

повітря, обумовленому явищем ежектування при витіканні рідини через сопло у змішувальну камеру. Повітря рухається по каналу подачі абразиву і всмоктує частинки твердого абразиву із бункера, одночасно змішуючись із ним, утворюючи двохфазний потік (повітряно-абразивний). При цьому вільний абразив за рахунок власної сипучості подається з смності через трубопровід (рис. 1).

Оскільки подача абразивних частинок регулюється дроселем на вході до трубопроводу, а у самій трубці завжди залишається певна кількість абразиву, невідомим та змінним у часі ε – об'ємна частка твердих часток в аеросуміші, $\varepsilon=f(t)$, що є важливим з точки зору опису насичення потоку частинками при розгоні струменя.

Розглянемо особливості сприйняття оброблюваного матеріалом гідродинамічного та абразивного навантаження.

Якщо дослідники [3] чітко поділяли процес струминного різання та процес різання матеріалів з абразивом (частинками природного, синтетичного походження або мікрокрижинками, [2]), то у випадку прошивання отвору ці два процеси сполучені між собою.

Оброблюваний матеріал – заготовка – сприймає як гідродинамічне навантаження, спроможне викликати його руйнування внаслідок незворотніх деформацій та розвитку і злиття пошкоджень структури, так і абразивний вплив, що проявляється переважно у пружно-пластичному деформуванні і гідродинамічному зламі мікроступів поперечно розтікаючим потоком рідини. Цей потік при зануренні фронту руйнування у тіло спроможний також викликати і розшарування матеріалу, особливо на границі адгезійного зчеплення «матриця–волокно», що найбільш небезпечно із точки зору поширення деструкції матеріалу.

Отже, стає очевидним, що руйнування матеріалу у початковий момент часу є складним багатостадійним явищем, що поєднує між собою ціла низка взаємодіючих процесів: гідродинамічного удару, що веде до виникнення незворотних високоеластичних деформацій, прояву квазікрихкого руйнування у центрі гідровпливу, абразивного зношування від частинок, що занурюються в поверхню, нагрівання частинок внаслідок опору руйнуванню, взаємодії прямої та зворотної течії рідини та ін.

Особливістю процесу прошивання отвору в матеріалі є те, що абразивні частинки, що поступово потрапляють до потоку, здійснюють навантаження поверхні переважно по нормалі, не виконуючи ковної роботи мікрорізання.

Тоді, на основі [3] роботою руйнування буде деформування (від втиснення частинки у поверхню) елементів поверхневого шару, з наступним розвитком дефектів гідродинамічним навантаженням і відокремленням частинок шламу. Але в початковий момент часу оброблювана поверхня сприйматиме виключно гідродинамічне навантаження від перпендикулярно натікаючого потоку рідини, що зростає з плином часу:

$$R = \left[p_0(t) + \frac{r(v_0 \pm v)^2}{2} \right] f_0 = r Q_0(t) v_0(t) = p_0(t) \frac{p D_k^2}{2} \left(1 - \frac{1}{100 \frac{r_m}{r} \left(\frac{v_{стр}(t)}{v_0} \right)^2} \right), \quad (3)$$

де ρ_m, ρ – густина струменя і середовища відповідно.

Дія струминного навантаження, яке не перевищує межу міцності та межу текучості поверхневого шару – матриці, викликає в ній пружні деформації, які неважко визначити, розглядаючи напружений стан у безкінечно малому обсязі, що знаходиться у зоні гідровпливу.

Аналізуючи процеси взаємодії частинок із перпоною, автор [4] зазначив, що температура у зоні різання може сягати значного рівня. Аналогічного висновку дійшов і автор [4], встановивши, робота сил опору визначить інтенсивність нагрівання у контактній зоні та може бути подана у такому вигляді:

$$A(t, \varphi) = A_1(t, \varphi) + A_2(t, \varphi) + A_3(t, \varphi), \quad (4)$$

де $A_1(t, \varphi)$, $A_2(t, \varphi)$, $A_3(t, \varphi)$ – робота інерційної складової сили опору, робота сили тертя та робота сил опору пластичному деформуванню матеріалу.

Виникле тепло частково поглинатиметься самою частинкою, частково вилучатиметься із потоком рідини, а частково переходитиме в матеріал. Кількість тепла, що перейшло матеріал з урахуванням при ідеальному контакті становитиме:

$$dQ_2(t, f) = \left(1 - \frac{u_m}{u_n} \right) (dA_1(t, f) + dA_2(t, f)). \quad (5)$$

Плинне значення температури визначиться як

$$T(t, f) = T_{02} + \frac{Q_2(t, f)}{4 r_m C_v^n (p u_m t)^{\frac{2}{3}}} \exp \left(-\frac{R_2^2(t, f)}{4 u_m t} \right) + \frac{s_z(t, f)}{r_m C_v^n} \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} de, \quad (6)$$

де T_{02} – початкова температура матеріалу; $s_z(t, \varphi)$ – функція осьових напружень в матеріалі при ударі частинки; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – плинне значення деформацій матеріалу.

Описуючи поведінку матеріалу моделлю Максвелла для в'язкопружного тіла:

$$s(e) = \frac{m}{G} (Ge - s), \quad (7)$$

де G – модуль зсуву; μ – значення модуля динамічного коефіцієнта в'язкості для матеріалу; ε, σ – деформація та напруження у точці контакту.

Тривалість циклів $T_3+T_4+T_5+T_6$ визначатиметься часом на прошивання товщини матеріалу h_m із урахуванням його руйнування від дії швидкоплинного потоку рідини (без захоплення абразиву):

$$T_{\Sigma} = T_3 + T_4 + T_5 + T_6 = \left(\sum_{j=1}^N h_{cj} - H_u \right) \cdot \frac{p D_{ki}^2}{4 w_l}. \quad (8)$$

Одночасно із абразивним руйнуванням шарів оброблюваної заготовки, відбувається вплив гідродинамічним потоком рідини, який діє на бокові стінки вирви руйнування тиском розтічної хвилі.

Деструктивне руйнування прилеглої зони при початковому дефекті визначатиметься інтенсивністю контактних напружень на границі «матриця–

армувальні волокна», для визначення яких розглянуто розрахункову схему рис. 1 (А–А). Для окремого шару можна записати:

$$Z_i \frac{d^4 W}{dy^4} = P(y) - q(y, t),$$

де $Z_i = \frac{E_y h_i}{12(1-\mu^2)}$ – жорсткість поверхневого шару; E_y – модуль пружності матриці; h_i – товщина шару матриці, що знаходиться з боку дії струменя; μ – коефіцієнт Пуассону; $P(y)$ – нормальні контактні напруження, що діють між шаром матриці та шаром армувальних волокон; $q(y, t)$ – навантаження, що виникає від дії гідродинамічного клину; $W(y)$ – прогин шару, що втратив адгезійне зчеплення з волокнами.

У даній постановці матимемо розв’язок, аналогічний отриманому автором [5], що дозволяє записати коефіцієнт інтенсивності напружень наступним чином:

$$K_j^\pm = \frac{2Z_1}{pA} \sum_{m=0}^{\infty} c_m \frac{2^{2m+1}(2m+1)^2}{(-2)^{2m+2} m!}, \quad (9)$$

де A, B – коефіцієнти, що характеризують фізико-механічні властивості матеріалу; χ_m – коефіцієнти, що отримані при розв’язку рівняння.

$$c_m (2m+1) - \sum_{n=0}^{\infty} c_n \frac{\sqrt{(2m+1)}}{\sqrt{2n+1}} d_{mn} = f_m,$$

а відповідні вирази для f_m та d_{mn} обчислені за рівняннями:

$$f_m = \frac{-Pp(\partial 2m+2)}{Z_1 a^2 (2n)!} \int_0^{\infty} \frac{\sin aa}{a^2(g+a^2)} J_{i+2m} a da;$$

$$d_{mn} = \frac{yp^2(\partial 2+2m)(\partial 2+2n)}{(2n)!(2m)!} \int_0^{\infty} \frac{\sin aa}{a^2(g+a^2)} J_{i+2m} a da.$$

Скориставшись моделлю крихкої тріщини з кінцевою зоною Леонова-Панасюка

$$K = \sqrt{\frac{G(3m-1)}{m}} s_0 d, \quad (10)$$

де s_0 – питома сила зчеплення, що діє між берегами тріщини, можна визначити δ – критичну відстань між берегами тріщини – шаром армувальних волокон та матриці, при якій s_0 перетворюється у нуль, а зважаючи на те, що $K = s \sqrt{pa}$, де s – діючі напруження, довжини тріщини $2a$ за час сприйняття гідровпливу (тобто ширина деструкції) у зоні струминного впливу визначиться максимально досяжним рівнем тиску p_{max} :

$$2a = \frac{2K^2}{s^2 p} = 2 \frac{\left[\frac{2Z_1}{pA} \sum_{m=0}^{\infty} c_m \frac{2^{2m+1}(2m+1)^2}{(-2)^{2m+2} m!} \right]^2}{s^2 p}. \quad (11)$$

Приведені вище рівняння були розв’язані у середовищі MathCAD.

При моделюванні вважати, що кількість шарів заготовки – три та п’ять. Заготовка має повне просочення перед формуванням, тобто порожнини між шарами відсутні. Міцність та пружні характеристики шарів наповнювача (скляних та вуглецевих волокон, матриці відрізняється; між шарами існує адгезійне зчеплення з певною межею, а поведінка мате-

ріалу описується системою диференційних рівнянь поданих у [6].

Отримані результати показали, що перехідний процес, який виник під час формування гідроабразивного струменя після відкриття клапану (рис. 2 і 3), обумовив зміну навантаження оброблюваної пластинки і викликає зростання напружень на нижній та верхній поверхнях листа (рис. 4). З побудованих кривих видно, що напруження на верхньому шарі (l_1) зростають більш стрімко у порівнянні з нижнім, (l_2), на якому зростання відбувається із затримкою біля 0,05–0,1 с.

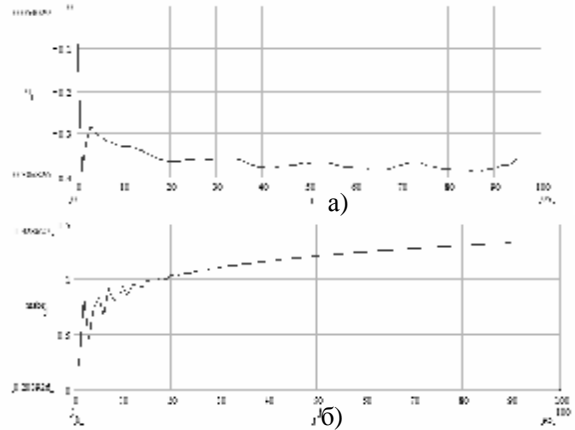


Рисунок 2 – Перехідний процес наповнення струменя частинками абразиву в момент відкриття клапану-відсікача (по вісі абсцис - час 1 с, по вісі ординат – розрідження у камері змішування (як абсолютний тиск у Па $\times 10^5$) (а) та витрата абразиву у кг/хв. (б))

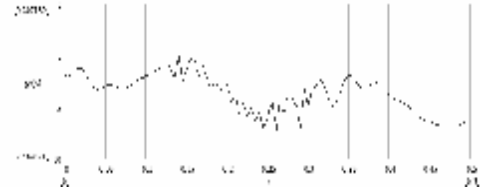


Рисунок 3 – Коливальні явища у каналі перед дроселем. Відкриття дроселя здійснюється у початковий момент часу, рівень тиску – в МПа

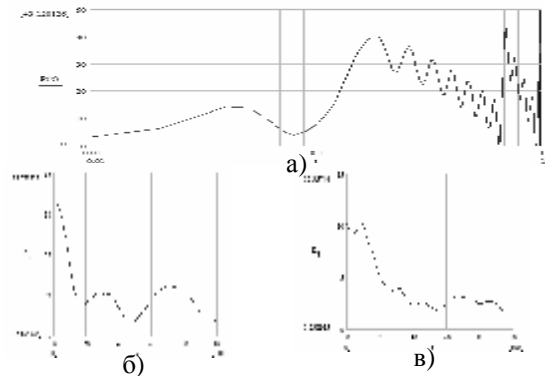


Рисунок 4 – Гідродинамічне навантаження оброблюваної поверхні (а) та поширення виникаючих напружень від периферії гідровпливу на верхній (б) та нижній (в) площинах. Досліджуваний час – 1 с, дискретність лінійних розмірів – 0,02 мм. Діаграми (б, в) побудовані для тривалості часу 0,1 с

Отже, за результатами моделювання стає очевидним, що навантаження шарів відбувається із зсувом фаз часу біля 30–50 мс, що веде до виникнення дотичних напружень і до прояву явищ адгезійного розшарування, тобто деструкції матеріалу на ділянках, близько розташованих із зоною струминного впливу.

Зона поширення деформації значно перевищує зону струминного навантаження (рис. 4,б,в), що дає змогу припустити виникнення пошкоджень на мікроефектах заготовки за межами впливу до моменту перевищення розтяжних напружень на поверхні впливу і виникнення зон початкового руйнування.

Крутизна зростання навантаження порівняна із часом релаксації матеріалу матриці, тобто спрацювання клапану-відсікача в початковий момент часу не дозволяє вважати навантаження оброблюваної заготовки динамічним ударом твердого (квазітвердого) індентора.

Для перевірки результатів моделювання виконали ряд експериментальних досліджень, вирішуючи наступні задачі:

- оцінка часу спрацювання механічної частини клапану, визначення крутизни зростання швидкості витікання струменя із сопла (сили гідродинамічного впливу на оброблювану поверхню);

- оцінка зміни витрати абразиву за рахунок ежекції, оцінка часу для досягнення масової витрати абразиву;

- встановлення закономірності зміни інтенсивності руйнування поверхні в умовах прояву перехідних процесів у струмоформуєчих системах.

Оскільки при проведенні досліджень необхідно було визначати параметри, що змінювалися протягом нетривалого часу, замість шлейфного осцилографу використовували багатоканальний аналогово-цифровий перетворювач, під'єднаний до USB-порту ПЕОМ. Відповідне програмне забезпечення дозволило отримати масив числових значень кожного із контрольованих параметрів – рівня напруги U_1-U_4 , знятої із попередньо відкаліброваних датчиків R_1-R_4 . Лінійність кожного із приладів не гірша за 0,5 %. Отримані дані у вигляді масиву точок заведено у програму MathCAD Prime та побудовано відповідні криві вимірювальних величин, визначених у розгорті за часом.

У результаті опрацювання сигналів після їх перетворення (переведення у відповідну розмірність контрольованих величин) було побудовано ряд часових діаграм (рис. 5), з яких встановлено наступне.

Час спрацювання клапану механічної частини клапану-відсікача не перевищує 20 мс, після чого починається відкриття голкового дроселя.

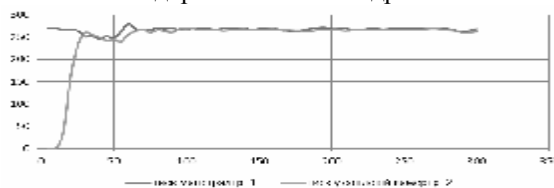


Рисунок 5 – Діаграма зміни тиску перед дроселем, отримана при експериментальному знятті перехідного процесу

Відкриття дроселя веде до наростання тиску у перед сопловому просторі, який сягає через 60 мс. При цьому часткове падіння тиску в мережі високого тиску веде до появи коливальних явищ з періодом 10 мс, однак амплітуда таких коливань залишається незначною – 5–7 МПа, що для рівня тиску в 270 МПа не перевищує 2–3 %. Подібна картина спостерігається за умови, що на час досліджень перемикання золотнику гідро розподільника не відбувається, тиск підтримує гідроаккумулятор, а мультиплікатор працює в без реверсному режимі.

Наростання тиску в перед сопловому просторі веде до збільшення швидкості витікання струменя з сопла, яку можна оцінити за навантажувальною діаграмою рис. 5,г і за діаграмою зміни розрідження.

Падіння тиску починає спостерігатися після 30–40 мс, тобто час затримки між початком витікання струменя із сопла та появою перепаду тиску в змішувальній камері становить 10–15 мс. Тривалість перехідного процесу становить 120–140 мс, і саме за цей час витрата абразивних домішок наближається до усталеного значення.

Повний вихід на розрахункову витрату становить 259–300 мс, тобто 0,25 с. Виявити кількість частинок, що здійснили роботу руйнування, не вдалося, однак порівняння картин, отриманих за допомогою растрової електронної мікроскопії та відтвореної програмним забезпеченням FEMTOSCAN доводить (рис. 6), що оброблюваний матеріал пошкоджується спочатку за всім перетином з утворенням границі розривів на периферійній частині, а далі починається його руйнування у центральній частині, по осі струменя, з утворенням вирви руйнування.

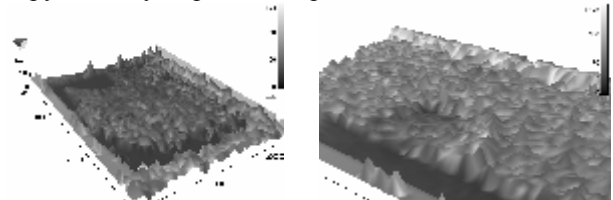


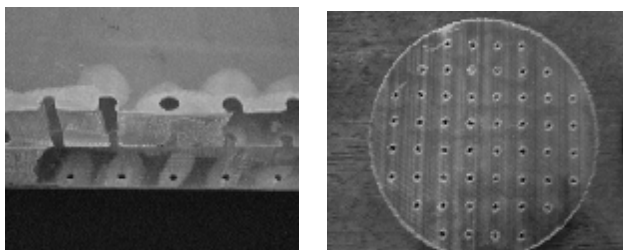
Рисунок 6 – Картини руйнування зразків, отриманих за час 50 ± 10 мс та 100 ± 10 мс засобами електронної растрової мікроскопії з відтворенням об'єму картинки програмним забезпеченням FEMTOSCAN

Отже, можна вважати, що механізм пошкодження матеріалу і, відповідно, якість отримання початкового отвору, визначаються перехідними процесами, що відбуваються в момент початку формування струменя.

Тож стає очевидною необхідність введення додаткових елементів у струминний пристрій, які б забезпечували скорочення часу перехідного процесу. При цьому ймовірність виникнення дефектів за межами струминного впливу буде зменшена (рис. 7).

ВИСНОВКИ. Використання методів математичного моделювання та проведення натурного експерименту довело твердження про виражену етапність процесу гідроабразивного прошивання отворів, дозволило проаналізувати перехідний процес формування гідроабразивного струменя та установити, що у початковий момент часу виникаючих напружень недостатньо для активного руйнування заготовки у

центрі гідро впливу (стискуючі напруження у зоні впливу не перевищують 35–38 МПа, і є значно меншими на нижній крайці); у той же час зона поширення напружень сягає 2–3 мм за межами струмінного впливу з поступовим перетворенням у нуль.



а)

б)

Рисунок 7 – порівняння отворів, отриманих у звичайний спосіб (а) та із забезпеченням скорочення часу перехідного процесу (б)

У той же час напруження, виниклі від гідродинамічного удару, можуть спричинити адгезійне пошкодження композиту, що у подальшому стане причиною явищ деструкції та розшарування. Оскільки протягом 100 мс йде поступове наповнення струменя абразивом, і різання матеріалу спостерігатиметься тільки після цього періоду, підвищення якості обробки може бути досягнуто або виключенням гідродинамічного впливу потоком рідини (без

абразиву), або створенням за допомогою додаткових засобів такого напруженого стану, який би забезпечував виникнення початкових магістральних тріщин на межі стискувальних і розтяжних напружень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hashish M. Cutting with Abrasive-Water jets. – Mechanical Engineering, Mar. 1984. – PP. 60–66.
2. Саленко О.Ф., Петко І.В., Третяков О.В. Гідро- та гідроабразивна обробка: Теорія, технологія та обладнання. – Київ: ІЗМН, 1999. – 484 с.
3. Бурнашов М.А. Повышение эффективности разрезания листовых неметаллических материалов водоледяными струями высокого давления: автореферат. – Орел, 2010. – 37 с.
4. Hashish M. Aspects of abrasive-Water jet Performance Optimization // Proceeding of 8-rd International Symposium on Jet Cutting Technology. – Durham, England, 09.1986.
5. Смирный С.Г., Усов А.В. Технологическое обеспечение эффективности использования изделий с покрытием // Вестник СевНТУ. – Вып. 129. – Севастополь, 2012. – С. 217–221.
6. 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. Збірник наукових праць. – Краматорськ, 2011. – Вип. № 29. – С. 107–118.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TRANSIENT WATER-JET USED FOR PERFORATION

A. Salenko, A. Mana, E. Koval

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: Salenko2006@ukr.net

Yu. Pavlyuchenko

Gas-compressor station "Zadneprovskaya", Kremenchuk, Ukraine.

The peculiarities of water-jet forming in the working tool of a water-jet cutting machine are considered. Sequence of water-jet interaction with the polymer composite materials processed (PCM) is analyzed. The affect of the environmental conditions forming the jet on the destruction degree and variation of the physical and mechanical properties of the polymer composite materials processed are shown. The modeling results of the stress state of a workpiece is presented, and their comparison with experimental data are performed. The ways to eliminate the negative influence of the hydrodynamic effects of the jet before the active destruction starts are offered.

Key words: polymer composite materials, water-jet punching.

REFERENCES

1. Hashish M. Cutting with Abrasive-Water jets. – Mechanical Engineering, Mar. 1984. – PP. 60–66.
2. Salenko O.F., Petko I.V., Tretiyakov O.V. Hydro- and hydroabrasive processing: Theory, technology and equipment. – Kyiv, 1999. – 484 p. [in Ukrainian]
3. Bunashov M.A. Increasing of effectiveness of cutting of sheet non-metalical materials by dehydration of high pressure jets// abstract. – Orel, 2010. – 37 p. [in Russian]
4. Hashish M. Aspects of abrasive-Water jet Performance Optimization // Proceedings of 8-rd International Symposium on Jet Cutting Technology. – Durham, England, 09.1986.
5. Smirniy S.G., Usov A.V. Technical maintenance of use efficiency of coated products // Vestnik NTU. – Sevastopol, 2012. – Iss. 129. – PP. 217–221. [in Russian]
6. About possibilites of hydroabrasive piercing in functional material workpiece / A.F. Salenko, A.N. Mana, V.S. Petropolskiy at all. // Reliability of instruments and technological systems optimization. Collected works. –Kramatorsk, 2011. – № 29. – PP. 107–118. [in Russian]

Стаття надійшла 27.09.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Драгобецьким В.В.