

УДК 621.924.93

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ОТВОРІВ ЯК ЗАДАЧА, ЩО ПЕРЕДУЄ ДЕСТРУКЦІЇ В ПОЧАТКОВИЙ МОМЕНТ ВЗАЄМОДІЇ

О. М. Мана

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: monchik82@mail.ru

Розглянуто механізм взаємодії струменя з ортотропним матеріалом та отримання масиву отворів у виробках із полімерних композиційних матеріалів на типовому гідрорізному обладнанні порталного типу. Доведено, що при виконанні отворів у стільниковій панелі внаслідок відхилення струменя при виконанні роботи різання отвори будуть відрізнятися за розмірами. Встановлено особливості формування дефектного деструктивного шару при прошиванні початкового отвору, наведено теоретико-емпіричні залежності, що дозволяють визначити товщину деструкції поверхневих шарів. Сформульовані технологічні параметри процесу прошивання та питання забезпечення стабільності геометричної форми отворів у виробках із полімерних композиційних матеріалів як листового, так і стільникового типу.

Ключові слова: гідрорізання, деструкція, отвори, перфорування.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ КАК ЗАДАЧА, ПРЕДШЕСТВУЮЩАЯ ДЕСТРУКЦИИ В НАЧАЛЬНЫЙ МОМЕНТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

А. Н. Мана

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: monchik82@mail.ru

Рассмотрен механизм взаимодействия струи с ортотропным материалом и получения массива отверстий в изделиях из полимерных композиционных материалов на типичном гидрорезном оборудовании порталного типа. Доказано, что при выполнении отверстий в сотовой панели вследствие отклонения струи при выполнении работы резки отверстия будут отличаться по размерам. Установлены особенности формирования дефектного деструктивного слоя при прошивке начального отверстия, приведены теоретико-эмпирические зависимости, позволяющие определить толщину деструкции поверхностных слоев. Сформулированы технологические параметры процесса прошивки и вопросы обеспечения стабильности геометрической формы отверстий в изделиях из полимерных композиционных материалов как листового, так и сотового типа.

Ключевые слова: гидрорезание, деструкция, отверстия, перфорирование.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Розвиток продукції машинобудування нерозривно пов'язаний із розширенням, впровадження особливого класу матеріалів – конструкційних композитів, що володіють підвищеними фізико-механічними характеристиками.

Стільникові панелі з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) володіють спроможністю ефективно гасити шум, що супроводжує роботу турбоагрегатів, і нині знаходять застосування в літаках. Завдяки цим властивостям, з вуглепластиків виготовляють звукопоглинаючі панелі (ЗПП) для авіадвигунів.

ЗПП мають високу вартість, оскільки є нетехнологічними у виготовленні. Конструктивно ЗПП являють собою одно-, дво-, або тришарові оболонки у вигляді кожухів, обтікачів, діафрагм та т.п. ЗПП мають значну кількість отворів невеликого діаметра 1,6...2,0 мм, які виконані із кроком 10×10 мм по всій площині оболонки і призначені для підвищення шумопоглинаючих властивостей, і отворів діаметром 6,5...10,0 мм, виконаних для кріплення ЗПП до несучої системи літака або встановлення додаткових елементів.

Отвори зазвичай виконують механічним способом [1] – свердлуванням, свердлами зі спеціально загостреними крайками. Однак механічна обробка деталей із ПКМ стикається із рядом складнощів [2], обумовлених вираженою анізотропією, низьким адгезійним зчепленням наповнювача зі зв'язником,

низькою теплопровідністю матеріалу, інтенсивним абразивним впливом наповнювача, тощо.

Виконання отворів гідроабразивним струменем ефективно для однорідних матеріалів, однак у випадку обробки ПКМ картини дефектів можуть бути різними: спучення, розшарування, водопоглинення, відшарування та сколювання на отриманих торцях, тощо. Задача отримання якісних отворів у стільникових панелях ускладнюється обмеженою жорсткістю заготовки, виникненням деструктованих зон з імовірністю їх злиття при виконанні масиву отворів і пошкодження заготовки.

Тому питання забезпечення стабільності геометричної форми отворів та мінімальності деструкції прилеглих до зон обробки ділянок обумовлює актуальність таких досліджень і мету даної роботи.

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

Розглянемо виконання операцій отримання масиву отворів на типовому гідрорізному обладнанні порталного компонування [3]. Оброблюваними заготовками є пластини товщиною 1,5–3,2 мм зі склопластику СВМ або вуглепластику С–49, а також стільникова двокамерна тришарова панель товщиною 20–25 мм з товщиною стінки 1,5–2,2 мм. Розміри пластин становлять 1200×500 мм, а їх фрагме-

нти подано на рис. 1.

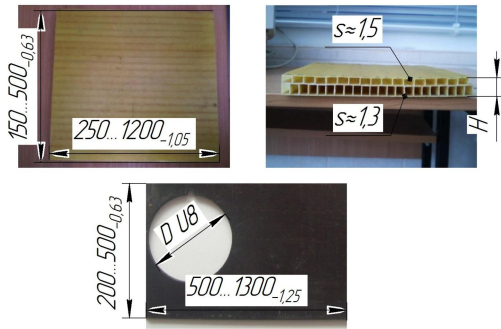


Рисунок 1 – Фрагменти заготовок – листових і стільникових зі склопластику та вуглепластику С–49

Технологічними умовами при виконанні операції слід забезпечити точність лінійних розмірів T_{Lx} , T_{Ly} , точність виконання отворів заданого розміру $D_0H10...H12^{(+)}$, товщину деструктивного шару h_d . Для стільникових панелей відповідно забезпечується точність лінійних розмірів T_{Lxc} , T_{Lyc} , точність виконання отворів на зовнішній, середній та внутрішній панелях відповідно $D_{03}H10...H12^{(+)}$; $D_{0c}H12...H14^{(+)}$; $D_{0B}H10...H12^{(+)}$.

Заготовка (рис. 2,а) встановлюється горизонтально на ножові опори (реалізуючи установчу базу 1–3), орієнтується відносно направляючої (4, 5) та опорної баз (6) і фіксується за допомогою кліщових прихватів. Один із кутів заготовки обирається за точку прив'язування, і від неї виконується базування робочого органу верстата при здійсненні усіх переміщень.

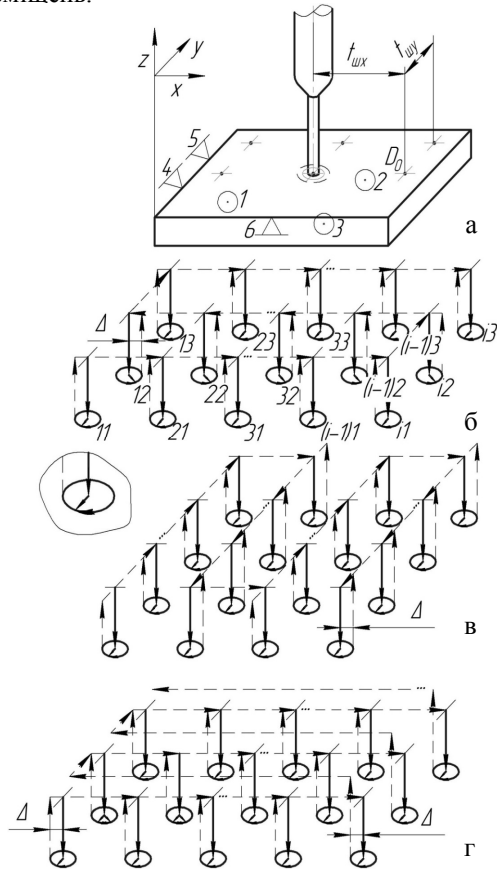


Рисунок 2 – Встановлення заготовки на робочому столі верстата (а) та послідовність виконання масивуотворів на оброблюваній заготовці: (б, в) – змійкових обхід; г) обхід із

поверненням до початку вісі

Нехай для плоскої заготовки (що являє собою багатошаровий лист або стільникову панель) необхідно виконати масив отворів $m_x \times n_y$ заданим діаметром D_0 із кроками k_x та k_y відповідно. Елемент циклу робочого переходу являтиме собою послідовність, що складається із отримання початкового отвору діаметром D_k , зміщенням до виходу на задану еквідистанту на величину Δ_n , обходом контуру отвору на діаметр D_0 та поверненням у початковий стан. Наступне переміщення на крок $k_x + \Delta_n$ дозволить встановити робочий орган у положення необхідне для отримання наступного отвору.

При цьому масив отворів може бути виконаним у послідовності без повернення у початковий стан або з поверненням і обнулінням однієї з координат оброблюваної площини.

При здійсненні операції вимоги щодо точності виконання лінійних розмірів L_x та L_y (що визначаються допуском T_{Lx} , T_{Ly}) забезпечуються точністю установки заготовки та прив'язки її до системи ЧПК, а також точністю відпрацювання заданих переміщень. Точність форми отвору Δ_D та товщина деструктивного шару h_d є результатом нестаціонарного процесу рідинно-абразивного високо інтенсивного зношування матеріалу в точці натікання і (рис. 3) визначається значною кількістю факторів.

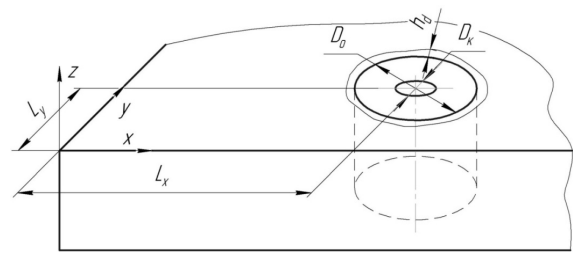


Рисунок 3 – Забезпечення основних параметрів обробки масиву отворів

Припустивши, що точність позиціонування (виходу на точку) робочого органу становить $\delta_{nx} = f(S_k)$, $\delta_{ny} = f(S_k)$ по осях x та y відповідно, а при переміщенні на робочий хід виникає апаратна помилка руху δ_p , матимемо максимальну помилку, мм:

$$T_{Lx} = \delta_{nx} + \delta_p m(k_x + \Delta), \quad (1)$$

$$T_{Ly} = \delta_{ny} + \delta_p m k_y.$$

У разі, якщо обробка здійснюється із поверненням у початковий стан (із обнулінням), помилка становитиме:

$$T_{Lx} = \delta_{nx} + \delta_p n(k_x + \Delta) - n k_x - \delta_l, \quad (2)$$

$$T_{Ly} = \delta_{ny} + \delta_p m k_y,$$

де δ_l – люфт у приводі при реверсуванні, мм.

Товщину деструктивного шару можна визначити за [4], мкм:

$$h_d = \frac{D_k - D_a}{2} + \frac{a_0}{\sqrt{2,182 C_p C \sqrt{\frac{D_k^2}{2} - \frac{D_a^2}{2}}}} - x_c \quad (3)$$

$$\frac{n}{2} - 1 \sqrt{1 - \frac{\rho}{s_r K \left(\frac{\rho}{\rho_b}\right)^{0,5}}}$$

$$\text{де } C = a_0^{n/2-1} \left(\frac{\sigma}{\rho}\right)^n \left(\frac{\rho}{\bar{c}}\right)^n, \quad K = \frac{1}{\sqrt{\pi(n/2-1)}};$$

x_c – товщина шару наповнювача; a_0 – початкова довжина тріщини (розмір дефекту), мкм; a_c – плинний розмір (критичний до моменту розгалуження); ρ – густина матеріалу; n, \bar{c} – константи матеріалу; σ – мікронапруження у верхівці, що визначаються гідродинамічним навантаженням; s_k – швидкість обходу контуру, мм/хв, або за рівнянням, запропонованим в роботі [5]:

$$h_d = v \frac{a_0}{n/2-1 \sqrt{1 - \frac{CQ_m d_c}{\zeta(N) m s_k k}}} \quad (4)$$

де v – поправковий коефіцієнт, який враховує накопичення пошкоджень у обсязі поверхневого шару, спроможних викликати зміну фізико-механічних властивостей; $\zeta(N)$ – математичне очікування кількості частинок, що потрапляють на поверхню і залежить від площі контакту зі струменем.

Однак зазначена залежність справедлива тільки для випадку різання із подачею, а не для випадку прошивання матеріалу, коли внаслідок відсутності каналу для вільного стікання рідини гідродинамічні явища можуть значно пошкоджувати прилеглий шар (рис. 4). Тоді, припустивши радіальний розмір пошкодження таким, що дорівнює h_{dp} , мм, за умови видалення деструкції початкового прошивання, мінімальний діаметр отриманого отвору (за рис. 3) становитиме, мм:

$$D_{\min} \geq 2 \left(h_{dp} + \frac{D_k}{2} - \frac{h_d}{1000} \right), \quad (5)$$

де D_k – діаметр калібрувальної трубки на зрізі, мкм, при цьому $D_{\min} = D_0$.

Оскільки передбачається формування масиву отворів, D_k не залишатиметься стабільним, а змінюватиметься внаслідок прояву процесів зношування.

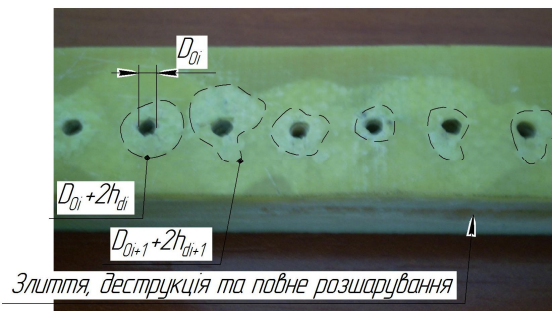


Рисунок 4 – Виникнення деструкції при прошиванні початкового отвору

З плином часу цей розмір збільшуватиметься, а ймовірність виникнення параметричної (за критерієм виходу розміру отриманого отвору за поле допуску) відмови протягом періоду часу t за [6] визначається із рівняння:

$$P(t) \left[0,5 + \Phi \left(\frac{d_{c \max} - \bar{d}_c - \gamma_{dc} t}{\sqrt{\sigma_{dc}^2 + \sigma_{\gamma_{dc}}^2 t^2}} \right) \right] \times \left\{ 1 - \left[\frac{D_{k \max} - \bar{D}_k - \gamma_{Dk} t}{\sqrt{\sigma_{Dk}^2 + \sigma_{\gamma_{Dk}}^2 t^2}} \right] \left[1 - e^{-\lambda_{Dk} t} \right] \right\} e^{-\lambda_d t} \quad (6)$$

де \bar{d}_c – очікуване значення діаметра нового сопла, мм; σ_{dc} – дисперсія розсіювання діаметрів, мм; γ_{dc} – швидкість зростання пошкодження, що обумовлює зростання діаметра сопла, мм/хв; $\sigma_{\gamma_{dc}}$ – дисперсія швидкостей зміни діаметрів отвору сопла на зрізі, мм/хв; λ_d – потік відмов за ознакою раптового виходу сопла із ладу, хв^{-1} ; \bar{D}_k – очікуване значення діаметра нової калібрувальної трубки, мм (визначає точність обробки); σ_{Dk} – дисперсія розсіювання діаметрів трубок, мм; γ_{Dk} – швидкість зростання пошкодження, що обумовлює зростання діаметра каналу калібрувальної трубки, мм/хв; $\sigma_{\gamma_{Dk}}$ – дисперсія швидкостей зміни діаметрів каналу, мм/хв; λ_{Dk} – потік відмов за ознакою раптового виходу із ладу калібрувальної трубки, хв^{-1} ; $d_{c \max}, D_{k \max}$ – критичні розміри протокової частини сопла та калібрувальної трубки відповідно, перевищення яких веде до суттєвих змін умов різання та настання параметричної відмови.

Час на виконання одного отвору становитиме:

$$T_0 = t_p + t_k + t_b, \quad (7)$$

де t_p – час на прошивання початкового отвору, с;

t_k – час на обхід контуру, $t_k = \frac{\pi(D_0 - D_k)^2}{4 s_k}$, с; t_b – час

витримки, $t_b = 0,25$ с.

Припустивши, що виконання отворів задовільної якості буде до моменту, коли фактичний діаметр D_{fp} не перевищуватиме $D_{\min} = D_n + T_D$, матимемо період стійкості

$$T_z = \frac{T_D}{\gamma_{Dk}} \quad (8)$$

Отже, прогнозована кількість отворів, яка може бути виконана до переналадження верстата [7,8] (заміни калібрувальної трубки) становитиме:

$$N = \frac{T_D}{\gamma_{Dk} \left(t_p + \frac{\pi(D_0 - D_k)^2}{4 s_k} + t_b \right)} \quad (9)$$

Час на виконання швидких переміщень між точками позиціонування залежить від схеми обходу точок (рис. 2). Для змійкового обходу час допоміжних переміщень становить, хв :

$$T_b = \frac{(m-1)(n-1)(t_{mx} \mp \Delta)t_{my}}{s_u}, \quad (10)$$

$$T_b = \frac{(m-1)(n-1)(t_{mx} \mp \Delta)t_{my}}{s_u}$$

Для обходу із поверненням до вісі (обнулінням накопиченої помилки)

$$T_b = \frac{(m-1)(n-1)(t_{mx} \mp \Delta)t_{my}}{s_u} + \frac{(m-1)(n-1)t_{my}}{s_u}, \quad (11)$$

$$T_b = \frac{(m-1)(n-1)(t_{my} \mp \Delta)t_{mx}}{s_u} + \frac{(m-1)(n-1)t_{mx}}{s_u}$$

Отже, операційний час, визначений як $T_{on} = T_o + T_b$ складатиме:

– для обходу змійкою

$$T_{on} = \frac{L_u}{S_u} + \frac{(m-1)(n-1)(t_{mx} \mp \Delta)t_{my}}{s_u} + mnt_p + \frac{\pi(D_o - D_k)^2}{4s_k} + t_b, \quad (12)$$

– для обходу із поверненням до вісі (обнулінням накопиченої помилки)

$$T_{on} = \frac{L_u}{S_u} + \frac{(m-1)(n-1)(t_{mx} \mp \Delta)t_{my}}{s_u} + mnt_p + \frac{(m-1)(n-1)t_{my}}{s_u} + \frac{\pi(D_o - D_k)^2}{4s_k} + t_b, \quad (13)$$

Надійність технології визначимо, виходячи з того, що лімітуючим елементом при забезпеченні допуску на розмір отвору є саме калібрувальна трубка, а також із того, що можливими відмовами сопла та раптовою відмовою калібрувальної трубки можна нехтувати. Тоді ймовірність безвідмовної роботи на виконання масиву отворів у кількості N визначиться так:

$$P_T = 0,5 + \Phi \left[\frac{\left(D_{k \max} + \frac{T_D}{2} \right) - \bar{D}_k - \gamma_{Dk} T_z}{\sqrt{\sigma_{Dk}^2 + \sigma_{\gamma Dk}^2 T_z^2}} \right]. \quad (14)$$

Для виконання масиву отворів $m_x \times n_y$ слід передбачити кількість замін калібрувальних трубок $K = (m_x \times n_y) / N$. Похибка відтворення контуру (відхилення від циліндричності) виникне внаслідок відхилення струменя при наданні поступової подачі на кут $\alpha = \arctan(s_k / v_n)$ [9], при цьому отримане регресійне рівняння для визначення похибки залежно від умов натікання струменя $\Delta_0 = 5,82 - 0,773D_a + 0,48s_k$ і показано, що товщина матеріалу лінійно впливає на помилку: $\Delta = 0,049 + 0,29h$. На жаль, автором не отримано залежності, за якою можна було б прогнозувати похибку залежно від пріоритетно діючих чинників.

У разі виконання отворів у стільниковій панелі внаслідок відхилення струменя при виконанні роботи різання отвори будуть відрізнятися за розмі-

рами: найменшим буде отвір, отриманий з боку натікання струменя, найбільший – на зворотному боці.

Оскільки відхилення струменя залежить від швидкості робочої подачі, встановимо зміну діаметрів отвору на площинах 1, 2 та 3 (рис. 5).

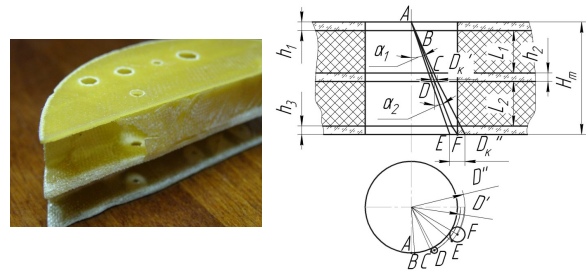


Рисунок 5 – Збільшення отвору при різанні стільникової панелі, що є трьома сполученими площинами

Збільшення діаметрів отворів D_0^I та D_0^{II} відбуватиметься внаслідок відхилення струменя від точки натікання на верхній крайці на величину $\Delta_{n1} = f(D_k; s_k; p_b; (h_1 + l))$, що викличе відповідне

$$\text{збільшення діаметра } D_0^I \text{ на } \Delta_{12} = \left(\sqrt{\frac{D_0^2}{4} + \Delta_{n1}^2} - \frac{D_0}{2} \right)$$

та внаслідок збільшення перетину самого струменя при обробці пакету заготовок на величину $\Delta_{c12} = f(s_k; p_b \dots)$, тобто можна записати, що $\Delta_{e1} = \Delta_{12} + \Delta_{c12}$; $D_0^I = D_0 + \Delta_{12} + \Delta_{c12}$.

Аналогічно можемо подати вираз і для отвору D_0^{II} нижньої плити. Збільшення діаметру відбу-

$$\text{деться на величину } \Delta_{23} = \left(\sqrt{\frac{D_0^2}{4} + \Delta_{n2}^2} - \frac{D_0}{2} \right), \text{ де}$$

$\Delta_{n2} = f(D_k; s_k; p_b; (h_2 + l))$, $\Delta_{c23} = f(s_k; p_b \dots)$, тоді $\Delta_{e2} = \Delta_{12} + \Delta_{23} + \Delta_{c23}$, а значення діаметру $D_0^{II} = D_0 + \Delta_{12} + \Delta_{23} + \Delta_{c23}$.

Відмінність діаметру струменя на площинах стільникових панелей обумовлюється тим, що струмінь за [10] не є жорстким, а, виконавши роботу руйнування своєю периферійною частиною, обтікає перепону і змінює форму перетину.


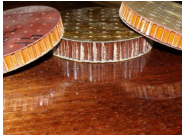
Кут розходження струменя, градус, за [9] можна визначити рівнянням:

$$\alpha = 1 + \frac{31,25D_k^2 \cdot \left(\frac{1,14l}{D_k} + 1 \right)^2 - 7,81D_k^2}{l^2}, \quad (15)$$

де l – відстань від зрізу сопла до площини натікання.

Для подальшого аналізу отримані технологічні параметри процесу прошивання отворів у виробих із ПКМ (як листових, так і стільникових) доцільно звести до таблиці (табл. 1).

Таблиця 1 – Прогнозовані параметри точності та якості технологічного процесу перфорування панелей із ПКМ

Оброблювана заготовка	Параметри			
	Точність розміщення	Точність відтворення форми	Товщина деструктивного шару	Надійність отримання масиву отворів
Листова заготовка 	$T_{Lx}=\delta_{nx}+\delta_{pn}(k_x+\Delta)$, $T_{Ly}=\delta_{ny}+\delta_{pn}k_y$	Визначається точністю приводу подач	При обході контуру $h_d = v \frac{a_0}{\sqrt{\frac{n-1}{2} \left(1 - \frac{CQ_m d_c}{\zeta(N) m s_k k} \right)}}$	$P_T = 0,5 + \Phi \times \left[\frac{\left(D_{k \max} + \frac{T_D}{2} \right) - \bar{D}_k - \gamma_{Dk} T_z}{\sqrt{\sigma_{Dk}^2 + \sigma_{\gamma Dk}^2 T_z^2}} \right]$
Стільникова панель 	Шари Однакова, $T_{Lx}=\delta_{nx}+\delta_{pn}(k_x+\Delta)$, $T_{Ly}=\delta_{ny}+\delta_{pn}k_y$.	1 Визначається точністю приводу подач	$h_{d1} = v \frac{a_0}{\sqrt{\frac{n-1}{2} \left(1 - \frac{CQ_m d_c}{\zeta(N) m s_k k} \right)}}$	$P_T = 0,5 + \Phi \times \left[\frac{\left(D_{k \max} + \frac{T_D}{2} \right) - \bar{D}_k - \gamma_{Dk} T_z}{\sqrt{\sigma_{Dk}^2 + \sigma_{\gamma Dk}^2 T_z^2}} \right]$
		2 Збільшення отвору. $D_0^I = D_0 + \Delta_{12} + \Delta_{c12}$ $\Delta_{12} = \left(\sqrt{\frac{D_0^2}{4} + \Delta_{n1}^2} - \frac{D_0}{2} \right)$	$h_{d2} = v \frac{a_0}{\sqrt{\frac{n-1}{2} \left(1 - \frac{CQ_m d_c}{\zeta(N) m s_k k} \right)}}$	
		3 Збільшення отвору. $D_0^{II} = D_0 + \Delta_{12} + \Delta_{23} + \Delta_{c23}$ $\Delta_{23} = \left(\sqrt{\frac{D_0^2}{4} + \Delta_{n2}^2} - \frac{D_0}{2} \right)$	$h_{d1} = v \frac{a_0}{\sqrt{\frac{n-1}{2} \left(1 - \frac{CQ_m d_c}{\zeta(N) m s_k k} \right)}}$	
Примітка	<p>Обхід контуру змійкою: помилка позиціонування $T_{Lx}=\delta_{nx}+\delta_{pn}(k_x+\Delta)$; $T_{Ly}=\delta_{ny}+\delta_{pn}k_y$.</p> <p>Операційний час $T_{on} = \frac{L_u}{S_u} + \frac{(m-1)(n-1)(t_{mx} \mp \Delta)t_{my}}{s_u} + mnt_p + \frac{\pi(D_o - D_k)^2}{4s_k} + t_b$</p> <p>Обхід контуру із поверненням до вісі (обнулінням накопиченої помилки) помилка позиціонування $T_{Lx}=\delta_{nx}+\delta_{pn}(k_x+\Delta)-nk_x-\delta_b$, $T_{Ly}=\delta_{ny}+\delta_{pn}k_y$;</p> <p>Операційний час $T_{on} = \frac{L_u}{S_u} + \frac{(m-1)(n-1)(t_{mx} \mp \Delta)t_{my}}{s_u} + mnt_p + \frac{(m-1)(n-1)t_{my}}{s_u} + \frac{\pi(D_o - D_k)^2}{4s_k} + t_b$.</p> <p>Обмеження діаметра отвору внаслідок виникнення початкової деструкції $D_{\min} \geq 2 \left(h_{dp} + \frac{D_k}{2} - \frac{h_d}{1000} \right)$</p>			

ВИСНОВКИ. На підставі виконаної роботи та аналізу табл. 1 можна зробити наступні висновки:

1. Точність розташування отворів та витримування лінійних розмірів L_x та L_y (і, відповідно, допусків T_{Lx} , T_{Ly}) забезпечується жорсткістю несучої системи, точністю позиціонування та точністю базування заготовки; підвищення точності розташування отворів може бути досягнуте вибором раціонального способу обходу точок, оскільки спосіб обходу визначає накопичену помилку кроків.

2. Точність відтворення форми отвору визначається точністю відпрацювання переміщень приводами подач $\delta_{nx}=f(s_k)$ $\delta_{ny}=f(s_k)$, швидкістю контурної подачі s_k , а при виконанні отворів у стільникових панелях її геометричними параметрами: чим більша товщина панелі, тим більший отвір отримують: $D_0 < D_0^I < D_0^{II}$; діаметр перетину струменя у точці натікання на поверхні при обробці стільникових панелей відрізняється від діаметру на зрізі сопла, і

потребує врахування при прогнозуванні точності відтворення отворів, тобто визначення $\Delta_{c12} = f(s_k; p_b \dots)$, $\Delta_{c23} = f(s_k; p_b \dots)$.

3. Надійність технологічного процесу визначається не тільки якістю використовуваних струменеформуючих елементів, а і допуском на розмір отриманого отвору. При виконанні обробки стільникових панелей лімітуючим буде розмір отвору на нижній площині D_0^{II} , який має бути меншим за (D_0+T_D) .

4. 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, отримувану під час контурного різання h_d і особливості утворення якої нині вивчено недостатньо.

5. Час на виконання операції перфорування заготовок із ПКМ визначається потрібними розмірами

отворів D_f і може бути максимально зменшеном при $D_f = D_k$, однак для цього слід домогтися виконання умови $h_{dp} = h_d \rightarrow \min$, а для стільникових виробів також і $D_0 \cong D_0^I \cong D_0^{II}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вереzub Н.В. Создание высокоэффективных процессов механической обработки полимерных композитов на основе закономерностей механики разрушения // Развитие процессов резания и холодного пластического деформирования металлов: сбор. науч. трудов. – Киев: ИСМ НАН Украины, 1994. – С. 82–87.

2. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов – Л.: Машиностроение, 1987. – 176 с.

3. Саленко А.Ф., Струтинский В.Б., Загирняк М.В. Эффективное гидрозрезание: монография. – К.: ВИПОЛ, 2005. – 488 с.

4. Саленко О.Ф., Фомовська О.В. Усунення явища налипания абразиву на закрайках заготовок, отриманих гідрорізанням // Машиностроение и техносфера XXI века: сбор. трудов 15 международной научно-технической конференции. – Донецк, ДОНТУ, 2008. – Т. 4. – С. 292–299.

5. 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 та ін. // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – 2010. – Вип. 1/2010(60). част. 1. – С. 82–90.

6. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин. – К.: Техника, 1989. – 177 с.

7. Саленко А.Ф., Дудюк В.А. Надежность процесса струйного резания (начало) // Металлообработка. Международный информационно-технический журнал. Оборудование и инструмент для профессионалов. – Харьков, 2010. – № 5/2010. – С. 22–26.

8. Саленко А.Ф., Дудюк В.А. Надежность процесса струйного резания (продолжение) // Металлообработка. Международный информационно-технический журнал. Оборудование и инструмент для профессионалов. – Харьков, 2010. – № 6/2010. – С. 22–23.

9. Струтинский В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 612 с.

10. Мана О.М. Запобігання деструкції композитних матеріалів при виконанні операцій струминно-абразивного прошивання малих отворів // Промислова гідравліка і пневматика: Всеукраїнський науково-технічний журнал. – Вінниця, 2012. – Вип. 3(37). – С. 45–56.

ENSURING THE EFFECTIVENESS OF WATERJET HOLE MACHINING AS THE PROBLEM OF DESTRUCTION PRECEDING TO THE INITIAL MOMENT OF INTERACTION

A. Mana

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: monchik82@mail.ru

The mechanism of the interaction of the jet with orthotropic materials and obtain an array of holes in products from polymeric composite materials on a typical waterjet equipment of portal type. It is proved that when the openings in the honeycomb panel due to deflection of the jet during the work of cutting the holes will vary in size. The peculiarities of the defective destructive layer at the initial insertion hole, given the theoretical and empirical relationships that allow us to determine the thickness of destruction of the surface layers. Formulated process parameters and firmware issues of stability of geometric shapes of holes in products from polymeric composite materials like sheet and cell type.

Key words: waterjet, destruction, openings, perforating.

REFERENCES

1. Verezub N.V. (1994). "Creating highly efficient processes of mechanical finishing polymer composites based on regularities fracture mechanics". *Razvitie protsessov rezaniva i holodnogo plasticheskogo deformirovaniya metallov. Sbornik nauchnyh. trudov*, pp. 82–87.

2. Stepanov A.A. (1987). *Obrabotka rezaniem vysokoprechnykh kompozitsionnykh polimernykh materialov* [Machining cutting of high-strength of composite polymer materials], Mashinostroenie, Leningrad, Russia.

3. Salenko A.F., Strutinskiy V.B., Zagirnyak M.V. (2005), *Effektivnoe gidrozrezanie: monografiya* [Effective waterjet cutting: monograph], VIPOL, Kiev, Ukraine.

4. Salenko O.F., Fomovska O.V. (2008), "Eliminating phenomena sticking abrasive zakravki blanks obtained waterjet cutting". *Mashinostroenie i tehnosfera XXI veka. Sbornik trudov 15 mezhdunarodnykh nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. vol. 4. pp. 292–299.

5. Salenko O.F., Dragobetskiy V.V., Fomovska O.V., et al (2010). "Determination of the surface layer of a destructive when processing non-metallic structural composites and its influence on the mechanical properties of the products", *Visnik Kremenchutskogo derzhavnogo universitetu Imeni Mihayla Ostrogradskogo*, vol. 1, no. 60, pp. 82–90.

6. Provolotskiy A.E. (1989), *Struyno-abrazivnaya obrabotka detaley mashin* [Jet-abrasive processing of machine parts], Tehnika, Kiev, Ukraine.

7. Salenko A.F., Dudyuk V.A. (2010), "Reliability jet cutting process (beginning)", *Metalloobrabotka. Mezhdunarodnyiy informatsionno-tekhnicheskizhurnal. Oborudovanie i instrument dlya professionalov*, no. 5, pp. 22–26.

8. Salenko A.F., Dudyuk V.A. (2010), "Reliability jet cutting process (continued)", *Metalloobrabotka. Mezhdunarodnyiy informatsionno-tekhnicheskizhurnal. Oborudovanie i instrument dlya professionalov*, no. 6, pp. 22–23.

9. Strutinskiy V.B. (2001), *Matematichne modelyuvannya protsesiv ta sistem mehaniki* [Mathematical modeling of processes and systems mechanics], ZhITI, Zhitomir, Ukraine.

10. Mana O.M. (2012), "Prevention of destruction the composite material when performing jet-abrasive firmware small holes", *Promislova gidravlika i pnevmatika. Vseukrayinskiy naukovotekhnichnyy zhurnal*, vol. 3, no. 37, pp. 45–56.

Стаття надійшла 28.11.2014.