УДК 621.9:678

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОТВОРІВ У ВИРОБАХ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ (ПКМ)

Самчук В. В., *аспірант*
Українська інженерно-педагогічна академія
вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна,
e-mail: samchukvv1986@km.ru

Анотація. *У статті розглядається метод підвищення якості отворів у виробах із полімерних композитних матеріалів при механічній обробці, що полягає у застосуванні принципових кінематичних схем різання, за якими запропоновано деякі конструкції різальних пристроїв для здійснення обробки.*

Ключові слова: *отвір, полімерний композитний матеріал, механічна обробка, принципова кінематична схема різання.*

HOLES QUALITY IMPROVEMENT IN THE GOODS MADE OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS (PCM)

Samchuk V. V., *graduate student*
Ukrainian Engineering Pedagogics Academy
Universitetskaya str. 16, Kharkov, 61003, Ukraine,
e-mail: samchukvv1986@km.ru

Abstract. *In the article the method of holes quality improvement in the goods made of polymeric composite materials at mechanical processing is reviewed. It consists in the use of kinematic circuit diagrams of cutting according to which some cutting devices for processing are offered.*

Keywords*: hole, polymeric composite material, mechanical processing, kinematic circuit diagram of cutting.*

Вступ. В останнє десятиліття в багатьох країнах, особливо в країнах СНД, великих обсягів досягло виробництво композитних матеріалів, серед яких особливе місце посідають композити на основі полімерних матеріалів, тому вироби з ПКМ (склопластик, склоорганопластик, вуглеорганопластик, майже всі органопластики тощо) знаходять все ширше застосування в галузях народного господарства у сфері матеріального виробництва, а саме в таких галузях промисловості, як хімія, будівництво, транспорт (особливо авіаційний), також усе частіше з них виготовляється різний спортивний інвентар тощо. Це тому, що ПКМ володіють значною кількістю переваг у плані фізико-механічних властивостей, особливо високою питомою міцністю, твердістю і стійкістю до впливу навколишнього середовища порівняно з металами та їх стопами [1].

Велика кількість найбільш поширених виробів із ПКМ різного призначення мають отвори різних розмірів, до яких ставлять підвищені вимоги стосовно якості їх елементів, відхилення яких виникає у процесі обробки.

Незважаючи на досить добре розроблену загальну технологію обробки отворів, питання, що стосуються забезпечення високої якості обробки при високій продуктивності, ще до кінця не вирішено, особливо при механічній обробці отворів у виробах із ПКМ [2].

Постановка проблеми. Серед найбільш поширених у загальній масі різальних осьових інструментів, використовуваних для лезвійної обробки отворів у ПКМ, можна виділити такі, як свердло, зенкер, розгортка, протяжка, прошивка та комбінований інструмент (свердло-свердло, свердло-зенкер тощо). Однак свердла набули більш широкого застосування, тому що їх використовують як для попереднього утворення отворів під подальше зенкерування, розточування, розгортання, нарізання різі тощо, так і для остаточної обробки. Особливо обробка свердлом багато в чому виправдовується як найбільш економічний засіб одержання отворів [3].

Обробка отворів відносно великих діаметрів виконується розточуванням, різальним інструментом при цьому виступає різець, але ця задача значно ускладнюється при необхідності утворення отворів у виробах не тіл обертання.

До механічного різання ПКМ як технологічного способу обробки висуваються такі основні вимоги стосовно досягнення високої ефективності: висока якість оброблюваної поверхні отворів, що включає в себе ряд показників, які характеризуються як геометричними параметрами (точність розмірів, форми його елементів та їх взаємне розташування, шорсткість поверхні, спучування кромок, розшарування, ворсистість, відколи, усадка отворів тощо), так і фізико-хімічним станом поверхневого шару отвору (деструкція поверхневого шару, залишкові напруження); висока продуктивність праці, економічність [4].

Висока якість оброблюваної поверхні отворів є одним із найважливіших показників ефективності механічної обробки, тому що при складанні рухомих з'єднань відхилення форми і розташування поверхонь призводять до зменшення зносостійкості поверхневого шару полімеру через підвищений питомий тиск на виступах нерівностей та до порушення плавності ходу, а в нерухомих з'єднаннях виробу з ПКМ ці відхилення спричиняють нерівномірність натягу, внаслідок чого знижуються міцність з'єднання, герметичність і точність центрування тощо. У складаннях ці погрішності призводять до погрішностей базування виробів відносно один одного, деформацій, нерівномірних проміжків, що спричиняє порушення нормальної роботи окремих вузлів і механізму в цілому; наприклад, підшипники ковзання дуже чутливі до відхилень форми і взаємного розташування посадкових поверхонь.

Найважливіші кількісні показники геометричних та фізико-хімічних параметрів отвору досягаються протягом усього робочого процесу, здійснюваного за допомогою технологічної системи, що включає в себе засоби технологічного оснащення (верстат-пристосування-інструмент) та заготовку, між якими відбувається динамічна і кінематична взаємодія.

З моменту початку механічної обробки отвору технологічна система діє як багатофакторна автоматична система, яка знаходиться під впливом різних факторів. При цьому реакція технологічної системи призводить до порушення заданого режиму роботи процесу і, як наслідок, до відхилення геометричних та фізико-хімічних параметрів оброблюваного отвору.

На елементарні складові по відхиленню геометричних параметрів і фізико-хімічного стану поверхневого шару отвору, виконаного у ПКМ при механічній обробці, впливає сукупність будь-яких вхідних параметрів цієї системи та збурювальних впливів, які порушують початкові умови обробки, що можна виразити в найбільш загальному вигляді такою залежністю:

$$\Delta_{\Sigma} = f\left(K, \varepsilon, \Delta Y, \Delta_н, \Delta_i, \Delta_м, \Delta_{г.i}, \Delta t, \Delta S, \Delta_{гн}, \Delta_{зн}, \Delta_к, \Sigma\Delta\Phi, \Delta A_{кол}, \Delta П_{стр}\right), \quad (1)$$

де K – принципова кінематична схема різання; e – відхилення через погрішність установки виробу; ΔY – відхилення через пружні деформації елементів технологічної системи ВПІД; $\Delta_н$ – погрішність налагодження на розмір; Δ_i – відхилення, спричинене зносом різального інструмента; $\Delta_м$ – відхилення, спричинені фізико-механічними властивостями матеріалу; $\Delta_{г.i}$ – відхилення, спричинені нераціонально призначеними геометричними параметрами різального інструмента; Δt – відхилення, спричинені тепловими деформаціями елементів технологічної системи ВПІД; ΔS – відхилення, спричинені нераціонально призначеним режимом різання, $\Delta_{гн}$ – відхилення, спричинені геометричними неточностями устаткування; $\Delta_{зн}$ – відхилення, спричинені залишковими внутрішніми напруженнями; $\Delta_к$ – погрішність поточного й остаточного контролю (вимірів); $\sum\Delta\Phi$ – сумарна погрішність форми; $\Delta A_{кол}$ – погрішності, обумовлені амплітудою коливань елементів у технологічній системі ВПІД; $\Delta П_{стр}$ – погрішність, спричинена порушеннями нормального плину процесу різання.

Дві останні складові $\Delta A_{кол}$ і $\Delta П_{стр}$ визначають не тільки величину погрішності, але й взагалі можливість реалізації процесу різання з запроектованими технологічними параметрами.

Для зменшення результуючої погрішності формоутворення отвору звичайно достатньо цілеспрямовано змінювати, у першу чергу, будь-який один із вхідних або збурюваль-

них параметрів, вплив якого на точність у конкретній ситуації виявляється переважним.

Аналізуючи види дефектів, які виникають у процесі механічної обробки отворів як у суцільному матеріалі осьовим інструментом, так і при попередньо виконаному отворі розточуванням у виробах із ПКМ, та їх негативний прояв в експлуатації виробу, можна зробити висновок про те, що переважаючими дефектами є розшарування кромок матеріалу навколо поверхні отвору, нерозрізані волокна й викришування матеріалу та геометричні параметри (точність розмірів, форми його елементів та їх взаємне розташування, шорсткість поверхні).

Мета роботи полягає у створенні різальних пристроїв для підвищення ефективності механічної обробки отворів у виробах із ПКМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі дослідження щодо рекомендацій по можливому уникненню (зменшенню) найпоширеніших дефектів, які виникають у процесі механічної обробки отворів різанням у ПКМ, здебільшого спрямовані на розробку і створення оптимальної форми осьового інструмента та її геометричних параметрів [5] і призначення раціональних режимів різання з використанням різноманітних мастильно-охолодних технологічних засобів (МОТЗ), серед яких особливо широко використовують гідрофобні мастильно-охолодні рідинні засоби (МОР) або газові охолодні засоби [6, 7]

У великій кількості виготовляються універсальні інструменти, використовувані для досить широкої номенклатури оброблюваних полімерних матеріалів. А спеціальним інструментам для конкретних умов обробки (в основному це комбіновані осьові інструменти), що забезпечують більш високу продуктивну роботу і задовільну якість обробки відносно невеликої кількості марок матеріалів, приділяють меншу увагу.

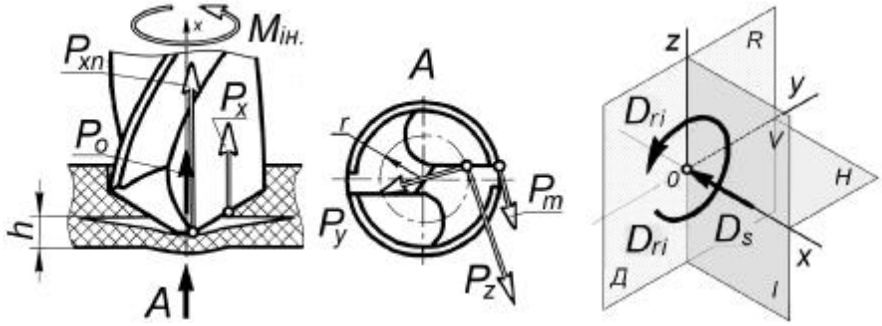
Це, зокрема, обумовлено великою різноманітністю типів і марок ПКМ та значною відмінністю їх фізико-механічних властивостей, внаслідок чого стає економічно невигідним використання спеціальних інструментів. На цьому підґрунті почали впроваджувати методи, які полягають в спрямованій зміні властивостей оброблюваного матеріалу у зоні різання з метою забезпечення сприятливих умов для обробки, та використовувати додаткові технологічні покриття, які зміцнюють кромки отворів в основному матеріалі, що, на жаль, теж не завжди економічно доцільно.

При обробці отворів великих діаметрів передовим методом є ротаційна обробка, але дослідження динаміки процесу ротаційного розточування показали, що сумарна сила різання для більшої частини її режимів вища за силу різання звичайними різцями. Це, а також менша жорсткість ротаційного інструмента в результаті використання додаткового шпиндельного вузла визначає необхідність широкого вивчення вібрації в процесі різання.

Практика використання ротаційних інструментів показала, що при недостатній жорсткості технологічної системи в процесі різання виникає інтенсивна вібрація системи, що значно погіршує якість обробленої поверхні отвору і спричиняє додаткові навантаження на верстат і інструмент. У ряді випадків через сильну вібрацію процес ротаційного різання взагалі не вдається здійснити.

Постановка задачі. На розшарування ПКМ навколо отвору при свердлінні спіральним свердлом (з нормальною заточкою з підточуванням перемички і стрічечки НПС) істотно впливає перемичка свердла, яка не ріже матеріал, а видавлює (зминає) його, та розподіл сил у зоні різання. Для дослідження цього дефекту обробки необхідно враховувати осьову силу P_o, яка є сумою сил подачі, що діють на головній різальній кромці P_x і перемичці P_{xn} (залежить від форми заточки). На величину P_o впливає кут нахилу стружкової канавки свердла, що знаходиться в безпосередньому зв'язку з кутом загострення і кутом різання. Збільшення кута різання призводить до збільшення опору різання (рис. 1, а).

Шари ПКМ, які попадають на різальну кромку, піддаються місцевій деформації на вигин, що є причиною розшарування матеріалу навколо отвору. Неважко припустити, що розшарування буде вимагати невеликого осьового зусилля, особливо коли значення товщини незрізаного шару h (рис. 1, а) залишиться незначним, внаслідок чого на виході матеріалу буде спостерігатися розшарування матеріалу.



а) б)

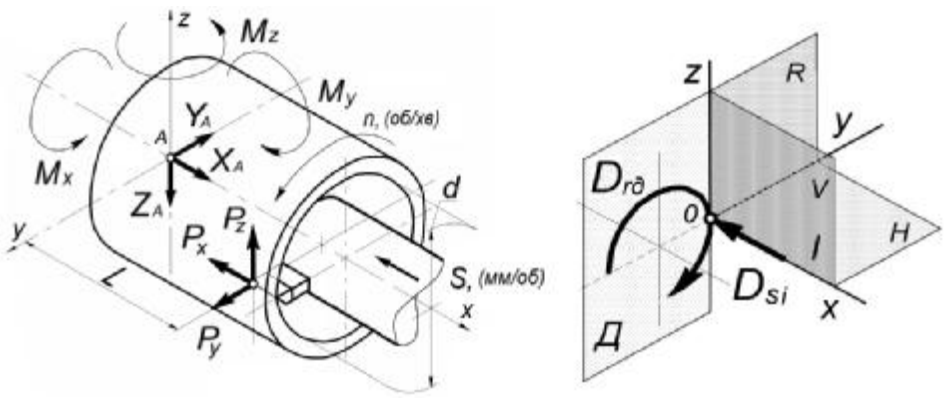
Рис. 1. Свердління ПКМ: а) схема сил, які діють на свердло; б) кінематична схема свердління

Для розточування отворів застосовують два основні методи обробки, які розрізняються тим, що обертання в процесі роботи виконує деталь або інструмент. Обертання заготовки характерне для токарних груп верстатів, а розточувальний інструмент забезпечує тільки поздовжню подачу (рис. 2, а), але цей вид механічної обробки ускладнюється при обробці виробів не тіл обертання.

Якщо скласти шість рівнянь рівноваги просторової системи сил (технологічної системи) (рис. 2, а):

$$\sum_{k=1}^{n} P_{kx}=0,\ \sum_{k=1}^{n} P_{ky}=0,\ \sum_{k=1}^{n} P_{kz}=0,\ \sum_{k=1}^{n} M_x\left(\bar{P}_k\right)=0,\ \sum_{k=1}^{n} M_y\left(\bar{P}_k\right)=0,\ \sum_{k=1}^{n} M_z\left(\bar{P}_k\right)=0, \qquad (2)$$

за умови, що крутний момент верстата $M_{вр}$ дорівнює моменту опору різанню M_x, отримаємо $X_A=P_x$; $Y_A=P_y$; $Z_A=P_z$; $M_{вр}=P_z\cdot d/2=M_x$; $M_y=P_z\cdot L$; $M_z=P_y\cdot L+P_x\cdot d/2$.



а) б)

Рис. 2. Розточування отвору: а) на верстаті токарної групи; б) кінематична схема розточування

Як ми бачимо, складові сили різання прямо діють на елементи технологічної системи, в якій виникають пружні переміщення, що впливають на періодичну зміну товщину зрізу, що спричиняє вищезазначені погрішності обробки. Раніше, щоб уникнути цих пружних переміщень, інженери-конструктори при проектуванні аналогового устаткування підсилювали складові частини системи, що в більшості випадків супроводжується збільшенням загальних габаритів устаткування.

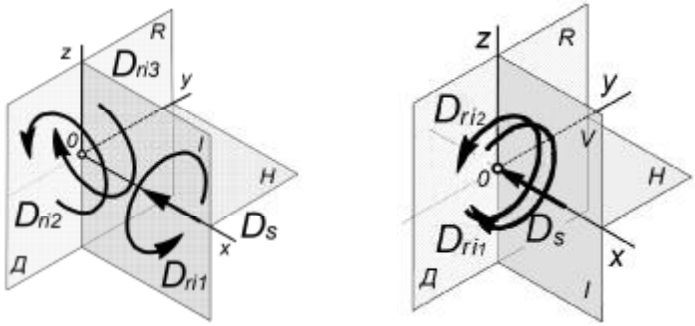
Прагнення позбутися вищезазначених недоліків привело до розробки нових підходів до обробки отворів різанням у виробах із ПКМ, сутність яких полягає в спрямованій зміні принципової кінематичної схеми різання.

В кінематиці різання розглядається як система рухів, що мають місце в процесі різання з моменту, коли лезо різального інструмента вступає в контакт з оброблюваною поверхнею заготовки, і до моменту, коли цей контакт припиняється. При цьому орієнтація леза щодо оброблюваної поверхні є цілеспрямованою, тому що під різанням у загальному вигляді розуміють конкретний метод формоутворення деталей, який ґрунтується на видаленні визначеного шару матеріалу з оброблюваної поверхні. З цього випливають такі положення: зі зміною принципової кінематичної схеми різання і

кінематичного співвідношення інструмент-виріб змінюються характер траєкторії та величина швидкості відносного робочого руху й одночасно з цим також і обрису утвореного їм контуру оброблюваного виробу; тертя і знос контактних площадок на передніх і задніх поверхнях інструмента відбуваються лише в напрямках траєкторій відносного робочого руху, по яких у процесі різання здійснюється дійсне взаємне переміщення і взаємодія матеріалу інструмента, виробів і стружки [8].

При свердлінні принципова кінематична схема передбачає два одночасно діючі рухи – обертальний D_{ri} і поступальний D_{si} рух інструмента при нерухомій деталі (рис. 1, б) тоді траєкторія відносного руху – гвинтова лінія. Так і при розточуванні: обертання заготовки – $D_{r\partial}$ і подача інструмента (різця) – D_{si} (рис. 2, б).

Основний матеріал. Для вирішення проблеми дії однобічної сили різання на поверхню отвору з боку різального інструмента пропонуємо такі принципові кінематичні схеми різання (рис. 3): для осьового інструмента (рис. 3, а), де D_{ri1}, D_{ri2} – обертальні рухи різальних кромок, D_{ri3} – обертальний рух різального інструмента навколо своєї осі; D_s – поздовжній рух (подача); для розточування (рис. 3, б), де D_{ri1}, D_{ri2} – обертальні рухи різальних кромок навколо своєї осі; D_s – поздовжній рух.



а) б)

Рис. 3. Пропоновані принципові кінематичні схеми механічної обробки отворів у ПКМ:
а) для осьового інструмента; б) для розточування отвору.

Для обробки отворів у суцільному ПКМ пропонуємо пристрій (рис. 4, а) за кінематичною схемою різання (рис. 3, а), що складається зі шпинделя 1, в якому з можливістю обертання встановлено вал 2, на одному з кінців якого жорстко закріплено конічне зубчасте колесо 3, що зчеплене з конічними зубчастими вінцями 4 та 5, виконаними на торцях зубчастих коліс 6 та 7, встановлених з можливістю обертання на осі 8 жорстко закріпленій до шпинделя 1, причому зубчасті колеса 6 та 7 зчеплені з зубчастими вінцями 9 та 10, які виконані на дискових фрезах 11 та 12, з яких одна має форму усіченого конуса, менший діаметр якого встановлений з проміжком у виточку, виконану у торці меншого діаметра другої дискової фрези 12, і з можливістю обертання встановлені на осі 13, жорстко закріпленій до шпинделя 1.

При обертанні вала 2, на кінці якого жорстко закріплено конічне зубчасте колесо 3, яке зчеплене з двома конічними зубчастими вінцями 5 та 6, виконаними на торцях зубчастих коліс 6 та 7, приводить їх до обертання на осі 8 в протилежні сторони одне відносно одного. Далі ці зубчасті колеса 6 та 7, зчіплюючись з зубчастими вінцями 9 та 10, які виконані на дискових фрезах 11 та 12, надають їм обертання (в протилежні сторони). Після чого окремим приводом надається обертальний рух шпинделю 1, протилежний валу 2. Далі по осі обертання шпинделя 1 подається заготовка 14.

Оскільки зубці дискової фрези 11 перекривають зубці дискової фрези 12, то в цьому випадку відсутня можливість потрапляння залишкового матеріалу у проміжок між ними.

Розглядаючи рівнодіючу реакцію сили різання P (рис. 4, б, в), її можна розкласти на три складові P_t, P_n та P_y, де P_t – направлені по дотичній до окружності по напрямку обертання фрези, P_n – по нормалі до неї і P_y вздовж осі y пристрою. Так і складову P_{nt} можна розкласти на вертикальну P_x і на горизонтальну P_z сили. Результати попередніх практичних експериментів показали, що при використанні цього при-

строю значно підвищується ефективність обробки отворів відносно використання спіральних свердел з різними формами різальних частин. Особливо це проявляється в плані підвищення продуктивності праці та якості оброблюваної поверхні отворів, що досягається урівноважуванням сил та крутних моментів, що діють на виріб, і великою кількістю різальних елементів (зубців фрез) з різноспрямованими різальними кромками.

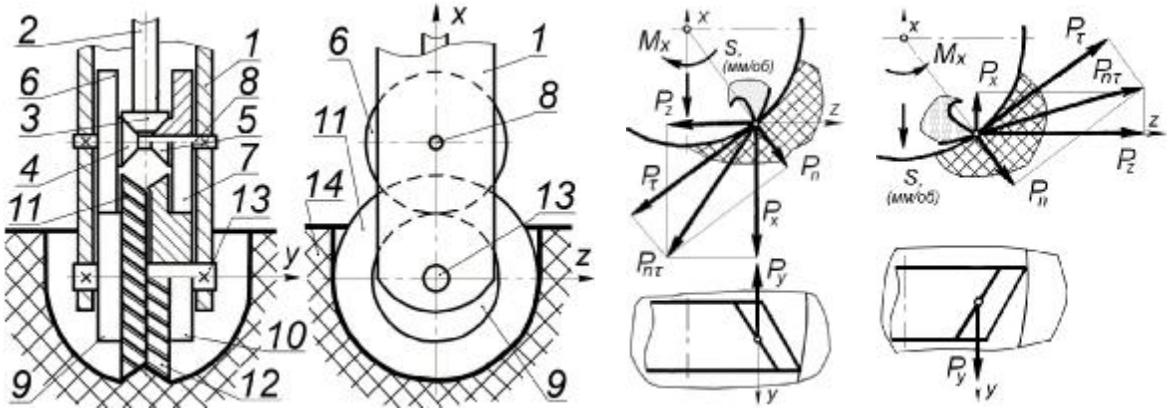


Рис. 4. Обробка отвору у суцільному ПК: а) конструкція пристрою; б) схема дії складових сили різання з боку дискової фрези 11 на поверхню отвору; в) схема дії складових сили різання дискової фрези 12

Для розточування отворів пропонується пристрій (рис. 5, а) за кінематичною схемою (рис. 3, б), що складається з корпусу 1, в якому на підшипниках 2 установлена друга розточувальна головка 3, на кінці якої по зовнішньому діаметру рівномірно по всій окружності розташовані щонайменше чотири різальні елементи 4, а на другому кінці має зовнішній зубчастий вінець 5, що знаходиться в зчепленні з приводом. Приводний вал 6, який установлений у другій розточувальній головці 3 на підшипниках 7, на кінці має жорстко закріплену першу розточувальну головку 8, яка містить по зовнішньому діаметру щонайменше чотири різальні елементи 9, які розташовані рівно по всій окружності.

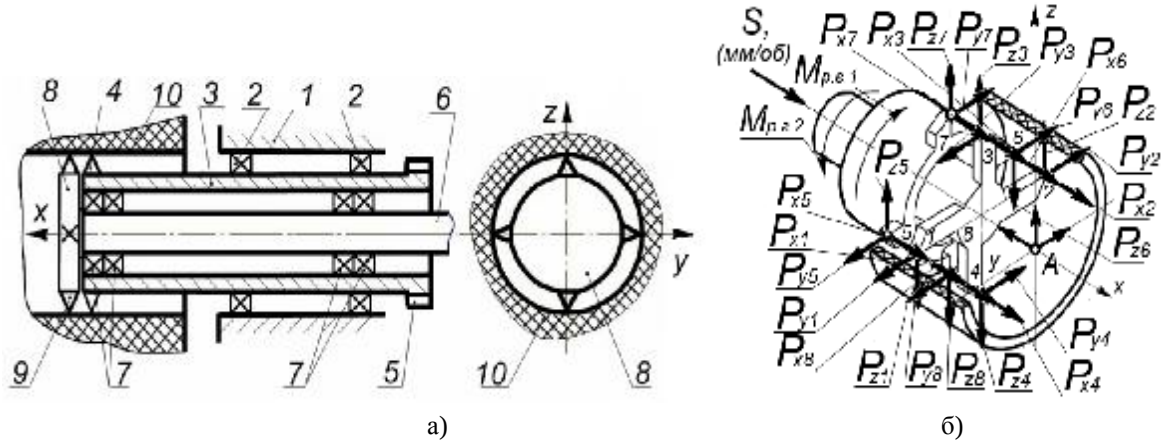


Рис. 5. Розточування отвору у виробах із ПКМ: а) конструкція пристрою; б) схема дії складових сили різання з боку розточувальних головок на поверхню отвору

З обертанням приводного вала 6, на кінці якого жорстко закріплена перша розточувальна головка 8, починається обробка отвору заготовки 10 різальними елементами 9. У той же час обертання на другу розточувальну головку 3, протилежне обертанню першої розточувальної головки 8, передається приводом через зовнішній зубчастий вінець 5 [9].

Для розуміння дії зрівноважування сил, які діють на виріб 10 (рис. 5, б) з боку різальних елементів, складемо шість рівнянь рівноваги (2). За умови, що $M_{р.г.1} = M_{р.г.2} = const$, отримаємо, що реакції та крутні моменти в опорі A дорівнюють: $Y_A = 0$; $Z_A = 0$; $M_x = 0$; $M_y = 0$; $M_z = 0$, окрім $X_A = 0$.

Висновок. Отже, пропонований у статті метод механічної обробки отворів у виробах із ПКМ полягає у застосуванні принципових кінематичних схем різання, за якими запропоновано дві конструкції різальних пристроїв для здійснення обробки, що дають змогу підвищити ефективність обробки порівняно з використанням класичних різальних інструментів. Особливо це проявляється в плані підвищення продуктивності праці та отримання більш високої якості оброблюваної поверхні, що досягається урівноважуванням сил і крутних моментів у зоні обробки і великою кількістю різальних елементів (зубці фрез та розточувальних головок) з різноспрямованими різальними кромками.

Також є необхідність у подальших розробках і дослідженнях з цього питання стосовно вдосконалення конструкцій пристроїв (здатність пристрою регулювати величину оброблюваного отвору, одночасно нарізати фаски на кромках отвору тощо). Також будуть актуальними дослідження геометрії зубців дискових фрез і різальних елементів розточувальних головок та їх зносостійкості, призначення оптимальних режимів різання для кожного виду ПКМ тощо.

Список літератури

1. Производство изделий из полимерных материалов : учеб. пособие / [В. К. Крыжановский, М. Л. Кербер, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко]. – СПб : Профессия, 2004. – 464 с.
2. Степанов А. А. Обработка резанием высокопрочных полимерных композитов / А. А. Степанов. – Л. : Машиностроение, 1987. – 176 с.
3. Криштопа Н. А. Обработка отверстий в композитных и неметаллических материалах / Криштопа Н. А., Радзевич С. П., Бобко А. И. – К. : Техніка, 1980. – 126 с.
4. Булах І. О. Дефекти в композиційних матеріалах при їх виготовленні, експлуатації та механічній обробці / І. О. Булах, О. В. Глоба // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2013. – № 1. – С. 60–63.
5. Hocheng, H. and Tsao, C. C. (2005). The path towards delamination-free drilling of composite materials. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 167, pp. 251–264.
6. Davim, J. Paulo (2008) Machining: fundamentals and recent advances. Springer-Verlag London Limited, 368 p.
7. Ярославцев В. М. Наука и образование: высокоэффективные технологии обработки изделий из полимерных материалов [Электронный ресурс] / В. М. Ярославцев. – Режим доступа: http://technomag.edu.ru/doc/361759.html, свободный – Загл. с экрана (дата обращения: 08.08.2013).
8. Грановский Г. И. Кинематика резания / Г. И. Грановский. – М. : Гос. науч.-техн. изд. маш. лит., 1948. – 110 с.
9. Пат. UA 81577 U, МПК B23B 29/00. Пристрій для розточування отворів / Сичов Ю. І., Тарасюк А. П., Самчук В. В., Лях Б. Г., 10.07.2013, бюл. № 13.

References

1. Kryzhanovsky, V. K., Kerber, M. L, Burlov, V. V. and Panimatchesnko, A. D. (2004). The production of goods from polymeric materials. Saint Petersburg: Professiya, 464 p. [in Russian]
2. Stepanov, A. A. (1987). The treatment of high-strength polymeric composites by cutting. Leningrad: Mashynostroenye, 176 p. [in Russian]
3. Krishtopa, N. A., Radzevich, S. P. and Bobko, A. I. (1980) The treatment of holes in composite and non-metallic materials. Kyiv: Tekhnika, 126 p. [in Russian]
4. Bulakh, I. O. and Globa, A. V. (2013) Defects in composite materials in their manufacture, operation and machining. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitety*, (1), pp. 60–63. [in Ukrainian]
5. Hocheng, H. and Tsao, C. C. (2005). The path towards delamination-free drilling of composite materials. *Journal of Materials Processing Technology*, (167), pp. 251-264.
6. Davim, J. Paulo (2008). Machining: fundamentals and recent advances. Springer-Verlag London Limited, 368 p.
7. Yaroslavtsev, V. M. Science and education: high efficient machining technology products from polymeric materials. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/361759.html> [Accessed 08 August 2013]. [in Russian]
8. Granovsky, G. I. (1948) Kinematics of cutting. Moscow: Gos. nauch.-texn. yzd. mash. lyt., 110 p. [in Russian]
9. Patent UA81577U, Ukraine, IPC B23B 29/00. A device for boring holes. Sychev, Y. I., Tarasyuk, A. P., Samchuk, V. V., Lyakh, B. G., 10.07.2013, bul. № 13. [in Ukrainian]