У подальшому будуть проведені експериментальні дослідження для ліквідування браку інформації про ізостатичне ППД, а також для розроблення рекомендацій по вибору оптимальних режимів для опоряджувально-зміцнюючого оброблення крутильних і прядильних кілець при пластичній деформації сферичними інденторами з врахуванням експлуатаційних властивостей.

Список використаних джерел

1. *Машиностроение* : энциклопедия / ред. совет : К. В. Фролов и др. – М. : Машиностроение, 1997. – Том IV-13. Машины и агрегаты текстильной и лёгкой промышленности. – 608 с.

2. *Отений Я. Н.* Прогрессивные методы обработки глибоких отверстий : монография / Я. Н. Отений, Н. Я. Смольников, Н. В. Ольштынский. – Волгоград : ВолгГТУ, 2003. − 136 с.

3. *Руденко П. А.* Разработка и исследование технологических методов повышения качества деталей машин и эффективности их изготовления / П. А. Руденко, О. Н. Чередников. – Чернигов : Черниговский филиал КПИ, 1983. – 36 с.

4. *Отделочные* операции в машиностроении : справочник / П. А. Руденко, М. Н. Шуба, В. А. Оживец, В. И. Мамонтов и др. ; под общ. ред. П. А. Руденко. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Техника, 1990. – 152 с.

5. *Одинцов Л. Г.* Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.

6. *Петросов В. В.* Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструментов / В. В. Петросов. – М. : Машиностроение, 1977. – 166 с.

7. *Чередніков О. М.* Геометрія контакту деталь-індентор при обробці поверхневим пластичним деформуванням / О. М. Чередніков, О. О. Борисов, О. Г. Семеняко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки» : науковий збірник. – Чернігів : Черніг. держ. технол. ун-т, 2012. – № 3 (59). – С. 101-108.

УДК 621.9:678

В.В. Самчук, аспірант
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОТВОРІВ У КОРПУСНИХ ВИРОБАХ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ (ПКМ) ПРИ МЕХАНІЧНОМУ ОБРОБЛЕННІ

В.В. Самчук, аспирант
Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТВЕРСТИЙ В КОРПУСНЫХ ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ПКМ) ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

V.V. Samchuk,PhD student
Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, Ukraine

THE QUALITY IMPROVEMENT OF HOLES IN CASEGOODS MADE OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS (PCM) WHILE MECHANICAL PROCESSING

При виготовленні виробів із ПКМ часто виникає необхідність обробляти отвори відносно великих діаметрів, що найчастіше виконується розточуванням, але це завдання значно ускладнюється при утворенні отворів у виробах не тіл обертання. Розглянуто метод підвищення якості отворів у корпусних виробах, виготовлених із ПКМ, який полягає у зрівноважуванні сил різання, діючих на оброблювану поверхню з боку ріжучого пристрою, робота якого здійснюється за принциповою кінематичною схемою різання.

Ключові слова: *отвір, полімерний композитний матеріал, механічне оброблення, сили різання, принципова кінематична схема різання.*

При изготовлении изделий из ПКМ часто возникает необходимость обрабатывать отверстия относительно больших диаметров, что зачастую выполняется растачиванием, но данная задача значительно усложняется при образовании отверстий в изделиях не тел вращения. Рассмотрен метод повышения качества отверстий в корпусных изделиях, изготовленных из ПКМ, который состоит в уравновешивании сил резания, действующих на обраба-

тываемую поверхность со стороны режущего устройства, работа которого осуществляется за принципиальной кинематической схемой резания.

Ключевые слова: *отверстие, полимерный композиционный материал, механическая обработка, силы резания, принципиальная кинематическая схема резания.*

While making goods of PCM the necessity to process holes of a little bit large diameter can often arise, they processed by means of boring, but this task is complicated in making holes in goods of not rotary bodies. In the article there the method of quality improvement of holes in casegoods made of PCM that consists of force balance of cutting, acting on the processed surface from the side of cutting device, the work of which is carried out under principle kinematic diagram of cutting is considered.

Key words*: a hole, a polymeric composite material, mechanical processing, cutting force, principle kinematic diagram of cutting.*

Постановка проблеми. Технічний прогрес породжує, з одного боку, необхідність розроблення нових матеріалів, а з іншого боку – значною мірою обумовлюється результатами цих розробок. З'являючись унаслідок природного прагнення до удосконалювання існуючих виробів, нові матеріали відкривають можливості для розв'язання нових конструкторських і технологічних рішень.

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

Велика кількість найбільш розповсюджених виробів із ПКМ різного призначення мають отвори, до яких ставлять підвищені вимоги щодо якості їх елементів, відхилення яких виникає у процесі оброблення. Причому дуже часто виникає необхідність обробляти отвори великих діаметрів, які зазвичай виготовляються розточуванням, але це завдання значно ускладнюється при необхідності утворення отворів у деталях не тіл обертання.

Незважаючи на досить добре розроблену технологію оброблення отворів, питання, що стосуються забезпечення високої якості оброблення при високій продуктивності, ще до кінця не вирішено. І значною мірою це відноситься до механічного оброблення отворів великих діаметрів у виробах із ПКМ [2].

Найбільш розповсюджені в загальній масі ріжучих інструментів, використовуваних для лезвійного оброблення отворів у ПКМ, можна виділити за методом формоутворення поверхні: метод копіювання (мірний інструмент) – свердло, зенкер, розгортка, протяжка, прошивка та комбінований інструмент (свердло-свердло, свердло-зенкер тощо); метод слідів (немірний інструмент) – різець, розточувальні головки; метод обкатки – кінцеві фрези. Однак свердла знайшли своє більш широке застосування, тому що їх використовують як для попереднього утворення отворів під подальше зенкерування, розточування, розгортання, нарізування різьблення тощо, так і для остаточного оброблення. Особливо оброблення свердлом багато в чому виправдовується як найбільш економічний засіб одержання отворів, але при відносно не великих діаметрах отворів [3], але не в плані якості оброблення. Тому як на розшарування ПКМ навколо отвору при свердлінні спіральним свердлом впливає, головним чином, перемичка свердла, яка не ріже матеріал, а видавлює (зминає), і розподіл сил у зоні різання.

До різання ПКМ як технологічного способу оброблення заготовок пред'являються такі основні вимоги по досягненню високої ефективності: висока якість оброблюваної поверхні отворів, що включає в себе певні показники, 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 займає одне з найважливіших показників у ефективності механічного оброблення. Тому у зборці рухливих з'єднань ці відхилення призводять до зменшення зносостійкості поверхневого шару полімеру внаслідок підвищеного питомого тиску на виступах нерівностей та до порушення плавності ходу, що в комплексі викликає шум тощо. А у нерухомих з'єднаннях виробу з ПКМ відхилення форми і розташування поверхонь викликають нерівномірність натягу, в наслідок чого знижуються міцність з'єднання, герметичність і точність центрування тощо. У зборках ці погрішності призводять до погрішностей базування деталей відносно одне до одного, деформацій, нерівномірних зазорів, що викликає порушення нормальної роботи окремих вузлів і механізму в цілому; наприклад, підшипники ковзання дуже чутливі до відхилень форми і взаємного розташування посадкових поверхонь. Відхилення форми і розташування поверхонь знижують технологічні показники виробів із ПКМ. Так, вони істотно впливають на точність і трудомісткість складання, знижують точність виміру розмірів, впливають на точність базування деталі при виготовленні і контролі тощо.

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 плине динамічна і кінематична взаємодії.

З моменту початку механічного оброблення 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.

До вхідних параметрів цієї системи можна віднести: характеристики обробного верстата (тип, модель, потужність, діапазон частот обертання і подач, точність, жорсткість, вібростійкість); характеристики технологічного оснащення (пристосувань, пристроїв механізації й автоматизації, промислових роботів); характеристики заготовки (матеріал, його хімічний склад, механічні властивості, погрішність розмірів, форми, взаємного розташування, якість поверхневого шару); технологічна схема оброблення поверхонь; експлуатаційні властивості ріжучого інструмента, міцність, стійкість, розмірний знос; режими різання; початковий розмір налагодження.

До збурюючих впливів, які порушують початкові умови оброблення, відносяться: пружні деформації елементів технологічної системи ВПІД; розмірний знос ріжучого інструмента; теплові деформації елементів технологічної системи; погрішність установки заготовки; погрішність коректування первинного налагоджувального розміру; погрішність вимірів; погрішності профільного і мірного ріжучого інструмента; погрішність від перерозподілу внутрішніх залишкових напружень; коливання елементів технологічної системи.

До елементарних складових по відхиленню геометричних параметрів і якості поверхні отвору при механічному обробленні впливає сукупність будь-яких з вищеперерахованих параметрів, які можна виразити в найбільш загальному вигляді такою залежністю:

$$\Delta_{\Sigma} = f\left(K, \varepsilon, \Delta Y, \Delta_{н}, \Delta_{i}, \Delta_{м}, \Delta_{г.і}, \Delta t, \Delta S, \Delta_{гн}, \Delta_{зн}, \Delta_{к}, \Sigma\Delta\Phi, \Delta A_{кол}, \Delta П_{стр}\right), \quad (1)$$

де K – принципова кінематична схема різання; ε – відхилення із-за погрішності установлення заготовки; ΔY – відхилення через пружні деформації елементів технологічної системи ВПІД; $\Delta_{н}$ – погрішність налагодження на розмір; Δ_{i} – відхилення, викликані зносом ріжучого інструмента; $\Delta_{м}$ – відхилення, викликані фізико-механічними властивостями матеріалу (анізотропія матеріалу тощо); $\Delta_{г.і}$ – відхилення, викликані нераціо-

нально призначеними геометричними параметрами ріжучого інструмента; Δt – відхилення, викликані тепловими деформаціями елементів технологічної системи ВПІД; ΔS – відхилення, викликані призначенням нераціонального режиму різання, $\Delta_{гн}$ – відхилення, викликані геометричними неточностями устаткування; $\Delta_{зн}$ – відхилення, викликані 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, викликана порушеннями нормального плину процесу різання.

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

Для зменшення результуючої погрішності формоутворення отвору, зазвичай, достатньо цілеспрямовано змінювати, у першу чергу, будь-який один із вхідних або збурюючих параметрів, вплив яких на точність у конкретній ситуації виявляється переважаючим.

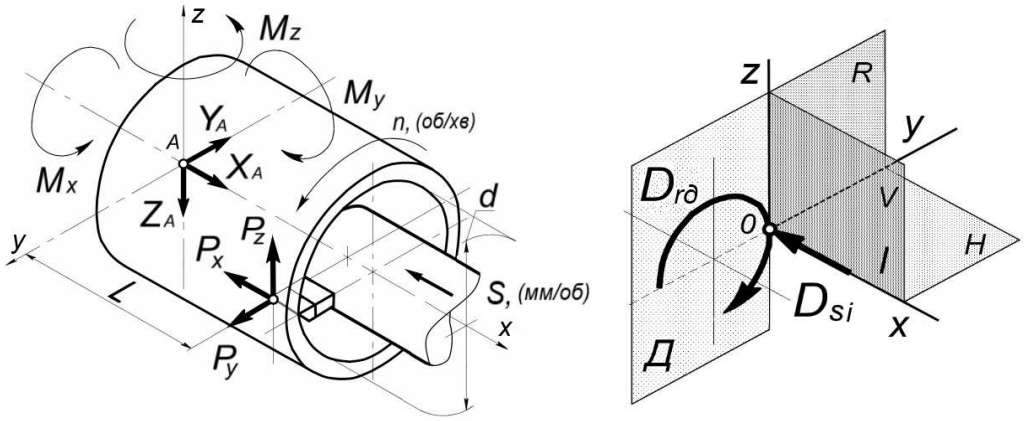
Аналізуючи види дефектів, які виникають у процесі механічного оброблення отворів відносно великих діаметрів у виробах із ПКМ (склопластик, склоорганопластик, вуглеорганопластик, майже усі органопластики тощо) лезвійним інструментом та їх негативний прояв в експлуатації виробу, можна зробити висновок про те, що переважаючим дефектом при обробленні отвору є геометричні параметри його елементів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі дослідження щодо рекомендацій по можливому уникненню (зменшенню) найпоширеніших дефектів, які виникають у процесі механічного оброблення отворів різанням у ПКМ, у більшості спрямовані на розроблення та створення оптимальної форми інструмента та його геометричних параметрів та призначення раціональних режимів різання з використанням різноманітних мастильно-охолоджувальних технологічних засобів (МОТЗ), особливо широко використовують гідрофобні мастильно-охолоджувані рідинні засоби (МОР) та газоподібні охолоджувальні засоби [5].

При цьому все більш виготовляються універсальні інструменти, які використовуються для досить широкої номенклатури оброблюваних полімерних матеріалів. А спеціальні інструменти для конкретних умов оброблення (в основному, це комбіновані осьові інструменти), що забезпечують більш-менш високу продуктивну обробку і задовільну якість оброблення щодо невеликої кількості марок матеріалів приділяють меншу увагу. Це зокрема обумовлено великою різноманітністю типів і марок ПКМ та значною відмінністю їх фізико-механічних властивостей, що стає економічно невигідним стосовно використання спеціальних інструментів. На цьому підґрунті стали використовувати методи, сутність яких полягає у спрямованій зміні властивостей оброблюваного матеріалу в зоні різання з метою забезпечення сприятливих умов для оброблення та використовувати додаткові технологічні покриття, які зміцнюють кромки отворів в основному матеріалі, що, на жаль, теж не завжди економічно вигідно [5].

Пропонована конструкція пристрою для розточування отворів [6] передбачає компенсування сил різання та крутних моментів у зоні різання, але конструкція має значні недоліки у плані відсутності можливості регулювати крутні моменти різання на обробляючих поверхнях отвору із-за єдиного приводного вала, який кінематично пов’язаний з розточувальними головками, низька продуктивність праці, із-за наявності лише двох ріжучих головок. Низька якість обробленої поверхні отвору, оскільки ріжучі головки обробляють методом слідів, унаслідок чого на поверхні утворюється гвинтова лінія.

Постановка задачі. Для розточування отворів у виробах із ПКМ застосовують два основних методи оброблення, які розрізняються тим, що обертання у процесі роботи виконує деталь або інструмент. Обертання деталі характерно для токарних груп верстатів, а розточувальний інструмент забезпечує тільки подовжню подачу (рис. 1, *а*).



а *б*

Рис. 1. Схеми розточування отвору: а – розрахункова схема розточування отвору на верстаті токарної групи; б – принципова кінематична схема розточування отвору

Склавши шість рівнянь рівноваги (рис. 1, *а*) ($\sum P_x = 0$, $\sum P_y = 0$, $\sum P_z = 0$, $\sum M_x = 0$, $\sum M_y = 0$, $\sum M_z = 0$), за умови, що

$$M_{вр} = M_x, \tag{2}$$

де $M_{вр}$ – крутний момент верстата; M_x – момент опору різанню,

отримаємо: $X_A = P_x$; $Y_A = P_y$; $Z_A = P_z$; $M_{вр} = P_z \cdot d/2 = M_x$; $M_y = P_z \cdot L$; $M_z = P_y \cdot L + P_x \cdot d/2$.

З цього очевидно, що отвір після такого оброблення може виявитися овальним або конічним, у випадку, якщо в конструкції інструмента не передбачені компенсуючі елементи, що забезпечують постійність співвісності інструмента і заготовки.

Також складові сили різання прямо діють на механічні елементи верстата, змушуючи інженера-конструктора при проектуванні верстата їх підсилювати, чим супроводжується збільшенням загальних габаритів.

Прагнення позбутися від перерахованих недоліків привело до створення кінематичних методів підвищення продуктивності, міцності інструмента і підвищення зносостійкості, а також за рахунок застосування багатозубих лезвійних інструментів.

Кінематичний метод полягає у створенні відповідної кінематики руху інструмента, при якій ріжуча кромка переміщається відносно поверхонь різання, через що окремі ділянки ріжучої кромки то входять, то виходять із зони оброблення. До цих методів відносяться інструменти, що працюють за принципом огинання, багатозубі, а також ротаційні інструменти [7].

При розточуванні принципова кінематична схема передбачає два одночасно діючі рухи – обертальний $D_{rд}$ і поступальний D_{si} (рис. 1, *б*), тоді траєкторія відносного руху – гвинтова лінія, де площина руху деталі $Д$ та інструмента I.

Особливістю ротаційних інструментів є наявність різців, що мають можливість обертання навколо фіксованої вісі.

Дослідження динаміки процесу ротаційного розточування показали, що сумарна сила різання для більшої частини її режимів вище сили різання звичайними різцями. Це, а також менша жорсткість ротаційного інструмента в результаті використання додаткового шпиндельного вузла визначають необхідність широкого вивчення вібрації у процесі різання.

Практика використання ротаційних інструментів показала, що при недостатній жорсткості технологічної системи у процесі різання виникає інтенсивна вібрація системи, що значно погіршує якість обробленої поверхні і викликає додаткові навантаження на верстат й інструмент. У багатьох випадках через сильну вібрацію процес ротаційного

різання взагалі не вдається здійснити. Через це широке впровадження цих інструментів у промислове виробництво стримується [9].

Основний матеріал. Для вирішення проблеми дії однобічної сили різання на поверхню отвору з боку ріжучого інструмента пропонуємо таку принципову кінематичну схему різання для розточування отворів у корпусних виробах із ПКМ (рис. 2), де D_{si} – осьова подача інструмента, D_{ri1}, D_{ri2} – обертальний рух інструмента навколо своєї вісі.

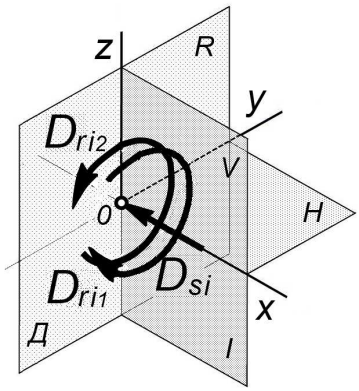


Рис. 2. Принципова кінематична схема механічного оброблення отвору

Запропонований пристрій (рис. 3) для оброблення отворів у корпусних виробах із ПКМ за принциповою схемою різання (рис. 2) складається з втулки *1*, у якій на підшипниках *2* встановлено вал *3*, до одного торця якого жорстко прикріплена планшайба *4*, рівномірно по усій окружності якої жорстко прикріплені вісім осей *5*, *6*, *7*, *8*, *9*, *10*, *11*, *12*, на яких встановлено на підшипниках *13* розточувальні головки *14*, *15*, *16*, *17*, *18*, *19*, *20*, *21*, які мають зовнішні циліндричні зубчасті вінці *22*, *23*, *24*, *25*, *26*, *27*, *28*, *29*, причому перші дві пари циліндричних зубчастих вінців *22*, *23* та *24*, *25* розточувальних головок *5*, *6*, та *7*, *8*, які розташовані один на проти одного, зчеплені з зовнішнім циліндричними зубчастим вінцем *30*, виконаного на втулці *1*, а друга пара циліндричних зубчастих вінців *26*, *27* та *28*, *29* розточувальних головок *18*, *19* та *20*, *21*, одночасно зчеплені з циліндричними зубчастими вінцями *22*, *23*, *24*, *25* двох сусідніх розточувальних головок *14*, *15*, *16*, *17*.

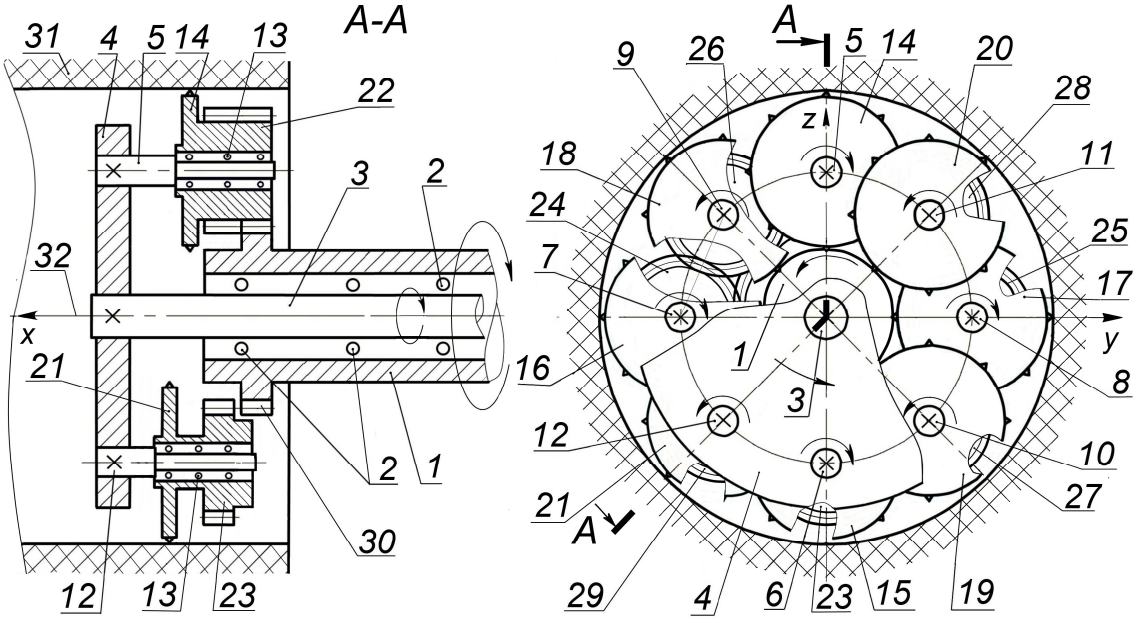


Рис. 3. Пристрій для розточування отворів у корпусних виробах із ПКМ

З обертання втулки *1* через циліндричний зубчастий вінець *30*, який через зчеплення з циліндричними зубчастими вінцями *22*, *23*, *24*, *25* передає крутний момент розточува-

льним головкам *14, 15, 16, 17*. Оскільки циліндричні зубчасті вінці *26, 27, 28, 29* розточувальних головок *18, 19, 20, 21* одночасно зчеплені з циліндричними зубчастими вінцями *22, 23, 24, 25* двох сусідніх розточувальних головок *14, 15, 16, 17*, то вони обертаються відносно їх у протилежну сторону. Після чого окремим приводом (на рис. 3 не вказано) надається обертання вала *3*, який через жорстко закріплену до нього планшайбу *4* надає діаметральне обертання усім розточувальним головкам *14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21* навколо головної вісі *32*. Тоді пристрій подається в отвір заготовки *31*, який починає його розточувати [10].

Розглядаючи рівнодіючу реакцію сили різання P (рис. 4), яку можна розкласти на три складові P_τ, P_n та P_y, направлені по дотичній до окружності пили (P_τ), по нормалі (P_n) до неї і вздовж осі пристрою (P_x).

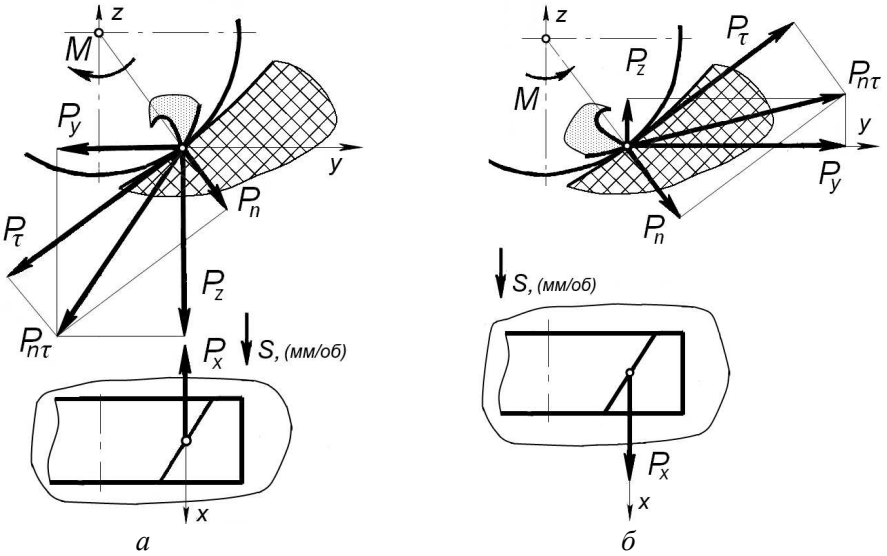


Рис. 4. Схема дії складових сил різання з боку розточувальних головок на заготовку: а – головок 14, 15, 16, 17; б – головок 18, 19, 20, 21

Так, в окремому випадку дії розточувальних головок складова P_τ скручує і згинає вісі, на яких насаджені головки, радіальна сила P_n відштовхує заготовку *31* від пристрою у напрямку її радіуса, а осьова сила P_x зрушує заготовку *31* уздовж вісі *32* пристрою. Також рівнодіючу $P_{n\tau}$ можна розкласти на вертикальне P_z та горизонтальне направлення P_y, яка прагне зсунути заготовку *31* у горизонтальному напрямку, а сила P_z залежно від направлення прагне або підняти заготовку *31* відносно опорної площини пристосування, чи навпаки притиснути до неї.

Для розуміння дії зрівноважування сил, які діють на заготовку *31* з боку розточувальних головок, необхідно скласти шість рівнянь рівноваги відносно усієї конструкції. За умови, що крутні моменти $M(Нм)$, момент інерції $I(кг \cdot м^2)$, кутова швидкість $\omega(рад/с)$, маса $m(кг)$, подача $S(мм/об)$, швидкість різання $V(м/хв)$ розточувальних головок однакові, то отримаємо, що реакції та крутні моменти в опорах пристрою урівноважуються (дорівнюють нулю).

Результати практичних експериментів показали, що при використанні цього пристрою значно підвищується ефективність оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь щодо використання традиційних способів механічного оброблення. Особливо це проявляється в плані отримання високої якості оброблюваної поверхні отворів, що досягається урівноважуванням сил та крутних моментів, які діють на виріб, та великою кількість ріжучих елементів, у яких різноспрямовані ріжучі кромки.

Висновок і пропозиції. Отже, розглянутий у статті метод підвищення якості отворів у корпусних виробах, які виготовленні із ПКМ, який полягає в урівноважуванні сил різання та крутних моментів, які діють з боку ріжучого інструмента на заготовку, що дозволяє застосування принципової кінематичної схеми різання за якою запропоновано конструкцію ріжучого пристрою для здійснення оброблення, використання якого дозволить розширити технологічні можливості за рахунок регулюванням крутними моментами різання, які діють на заготовку, підвищити продуктивність праці за рахунок використання восьми ріжучих головок та особливо підвищити якість оброблюваних поверхонь отвору, насамперед, у плані геометричних параметрів (точність розмірів, форми його елементів та їх взаємне розташування, шорсткість поверхні тощо).

Також порушені в статті проблеми й актуальний напрямок їх рішень дозволяють зробити висновок про необхідність подальших розробок і досліджень з цього питання щодо геометрії зубців розточувальних головок, призначення оптимальних режимів різання для кожного виду полімерного композитного матеріалу та дослідження ступеня деструкції поверхневого шару тощо.

Список використаних джерел

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, Ленинград, 1987. – 176 с.

3. *Криштопа Н. А.* Обработка отверстий в композитных и неметаллических материалах / Н. А. Криштопа, С. П. Радзевич, А. И. Бобко. – К. : Техніка, 1980. – 126 с.

4. *Davim, J. Paulo.* Machining: fundamentals and recent advances / J. Paulo Davim. Springer-Verlag London Limited, 2008. – 368 p.

5. *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.

6. *Пристрій* для безвібраційної обробки отворів / Ю. І. Сичов, А. П. Тарасюк, В. В. Самчук, Б. Г. Лях, І. С. Аракелян // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Х. : Технологический Центр, 2011. – № 6/7 (54). – С. 33-46.

7. *Грановский Г. И.* Кинематика резания / Г. И. Грановский. – М. : Машгиз., 1948. – 201 с.

8. *Ящерицын П. И.* Ротационное резание материалов / П. И. Ящерицын, А. В. Борисенко, И. Г. Дривотин, В. Я. Лебедев. – Минск : Наука и техника, 1987. – 229 с.

9. *Тарасюк А. П.* Повышение эффективности фрезерования волокнистых полимерных композиционных материалов фрезами с разнонаправленными режущими кромками : дис. … канд. техн. наук / А. П. Тарасюк. – Х. : ХПИ, 1993. – 183 с.

10. *Патент* України на корисну модель UA 82817 U. МПК B23B 29/03. Пристрій для обробки отворів / А. П. Тарасюк, Ю. І. Сичов, В. В. Самчук, Б. Г. Лях, Р. М. Лавриненко. – Опубл. 12.08.2013, Бюл. № 15.