

У статті розглядається метод підвищення ефективності механічної обробки сполучуваних поверхонь з'єднаних деталей машин, виготовлених із полімерного композитного матеріалу, який полягає у одночасній обробці охоплюваної та що охоплює поверхні з дотриманням деяких законів механіки, що дозволяє компенсувати сили різання та крутні моменти, діючі на технологічну систему

Ключові слова: сполучувані поверхні, геометричні параметри, полімерні композитні матеріали, механічна обробка

В статье рассматривается метод повышения эффективности механической обработки сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей машин, изготовленных из полимерного композитного материала, который состоит в одновременной обработке охватываемой и охватывающей поверхности с соблюдением некоторых законов механики, что позволяет компенсировать силы резания и крутящие моменты, действующие на технологическую систему

Ключевые слова: сопрягаемые поверхности, геометрические параметры, полимерные композитные материалы, механическая обработка

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СПОЛУЧУВАНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

А. П. Тарасюк

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: prorekt_ucheb@uipa.kharkov.ua

В. В. Самчук

Аспірант*

E-mail: samchukvv1986@km.ru

Ю. І. Сичов

Кандидат технічних наук, доцент*

Б. Г. Лях

Доцент*

Кафедра металоріжучого обладнання

і транспортних систем

Українська інженерно-педагогічна академія
вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003

1. Вступ

В останнє десятиліття в багатьох країнах, а особливо в 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. Це тому, що ПКМ володіють значною кількістю переваг у порівнянні з металами та їх сплавами і, не дивлячись на збільшуючи обсяги їхнього застосування, особливо в авіації, космонавтиці та в будівництві, актуальною є проблема досягнення точності виготовлення сполучуваних поверхонь з'єднання як деталей з КМ між собою, так і з металевими деталями [1, 2].

2. Постановка проблеми

Усі штучні конструкції існують завдяки наявності функціональних зв'язків між їх елементами, що реалізуються у вигляді з'єднань. Різноманіття створюваного людиною матеріального світу, неозора кількість машин і механізмів, що постійно розширюють функціональні можливості конструкцій, а також розробка і впровадження нових перспективних матеріалів не дозволяють навіть у першому наближенні скласти

систематизований огляд усіх конструкторсько-технологічних рішень з'єднань деталей.

В загальному плані з'єднання виконують дві основні функції: фіксують взаємне положення елементів (деталей) системи і визначають характер їхньої взаємодії. Виходячи з цього, усі з'єднання можна розділити на два класи: рухомі, що забезпечують заданий характер переміщення однієї деталі щодо іншої і характеризуються видом взаємних допустимих переміщень, і числом ступенів волі; нерухомі, фіксують незмінне положення одних деталей щодо інших і призначені для передачі і розподілу зовнішніх і внутрішніх навантажень між елементами конструкції [2].

У залежності від пропонованих до механізму або машини експлуатаційних вимог усі з'єднання підрозділяються на два класи: рознімні, що допускають багаторазове зборку та розбирання агрегату; нерознімні, що характеризуються неможливістю розбирання конструкції без руйнування деталей або зв'язків між ними.

Точність геометричних параметрів деталей машин з ПКМ характеризуються точністю розмірів їх елементів, точністю форми, якості поверхонь та їх взаємне розташування, відхилення яких виникає у процесі обробки [3].

Насамперед у рухливих з'єднаннях 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.

У нерухомих з'єднаннях виробу з ПКМ відхилення форми і розташування поверхонь викликають нерівномірність натягу, внаслідок чого знижуються міцність з'єднання, герметичність і точність центрування тощо.

У зборках ці погрішності призводять до погрішностей базування деталей відносно одне до одного, деформаціям, нерівномірним зазорам, 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. Так, вони істотно впливають на точність і трудомісткість зборки, знижують точність виміру розмірів, впливають на точність базування деталі при виготовленні і контролі тощо.

3. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Нині відомі методи механічної обробки сполучуваних поверхонь виробу, виготовленого із ПКМ, полягають у тому, що одночасно обробляють сполучувані поверхні з'єднуваних деталей, закріплених на одному шпинделі, зв'язаними між собою ріжучими інструментами з одним напрямком подачі уздовж утворюючої, причому кожну поверхню обробляють окремим ріжучим інструментом. Цей метод висвітлений у патенті на винахід [4] при виконанні обробки сполучуваних кінцевих поверхонь. Однак це виконання має низку недоліків, один з найважливіших яких полягає у тому, що кінематикою різання не передбачено компенсування сил різання, що діють на технологічну систему ВПІД (система ВПІД – верстат, пристосування, інструмент, деталь).

Так, у роботах [5 – 7] розглянуто один з методів зменшення вимушених коливань та пружних деформацій у технологічній системі механообробного устаткування, які в більшості викликані статичними та динамічними навантаженнями результуючою силою різання та запропоновано ряд корисних моделей практичного втілення цього напрямку. Але недоліком висвітленого є те, що метод лише дозволяє виконувати одну технологічну операцію.

4. Постановка задачі

Кількісні показники геометричних параметрів виробу досягаються протягом усього робочого процесу, здійснюваного за допомогою вищезазначеної технологічної системи, що включає в себе засоби технологічного оснащення та заготовку.

З моменту початку механічної обробки заготовки, технологічна система діє, як багатофакторна автоматична система, яка знаходиться під впливом різних факторів. При цьому реакція технологічної системи приводить до порушення заданого режиму роботи процесу, і як наслідок, до відхилення геометричних параметрів оброблюваної заготовки.

До вхідних параметрів цієї системи можна віднести: характеристики обробного верстата (тип, модель, потужність, діапазон частот обертання і подачі, 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, якості поверхневого шару); технологічна схема обробки поверхонь; експлуатаційні властивості ріжучого інструмента, міцність, стійкість, розмірний знос; режими різання; початковий розмір налагодження.

До збурюючих впливів, які порушують початкові умови обробки, 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.

Вихідними параметрами є: геометричні параметри виробу; продуктивність механічної обробки; економічні критерії процесу обробки.

До елементарних складових по відхиленню геометричних параметрів і якості поверхневого шару деталі із ПКМ при її механічній обробці впливає сукупність будь-яких з вище перерахованих параметрів (вхідних, збурюючих), що можна виразити в найбільш загальному вигляді наступною залежністю:

$$\Delta_{\Sigma} = f(\varepsilon, \Delta Y, \Delta_{\text{н}}, \Delta_{\text{і}}, \Delta_{\text{м}}, \Delta_{\text{г.і}}, \Delta t, \Delta S, \Delta_{\text{гн}}, \Delta_{\text{зн}}, \Delta_{\text{к}}, \Sigma \Delta \Phi, \Delta A_{\text{кол}}, \Delta \Pi_{\text{стр}}),$$

де ε – відхилення із-за погрішності установки заготовки; ΔY – відхилення через пружні деформації елементів технологічної системи ВПІД; $\Delta_{\text{н}}$ – погрішність налагодження на розмір; $\Delta_{\text{і}}$ – відхилення, викликана зносом ріжучого інструмента; $\Delta_{\text{м}}$ – відхилення, викликані від фізико-механічних властивостей матеріалу (анізотропія матеріалу тощо); $\Delta_{\text{г.і}}$ – відхилення, викликані від не раціонально призначених геометричних параметрів ріжучого інструмента; Δt – відхилення, викликані тепловими деформаціями елементів технологічної системи ВПІД; ΔS – відхилення, внаслідок нераціонального режиму різання, $\Delta_{\text{гн}}$ – відхилення, викликані геометричними неточностями устаткування; $\Delta_{\text{зн}}$ – відхилення, викликані залишковими внутрішніми напруженнями; $\Delta_{\text{к}}$ – погрішність поточного й остаточного контролю (вимірів); $\Sigma \Delta \Phi$ – сумарна погрішність форми; $\Delta A_{\text{кол}}$ – погрішності, обумовлені амплітудою коливань елементів у технологічній системі ВПІД; $\Delta \Pi_{\text{стр}}$ – погрішність, викликана порушеннями нормального плину процесу різання.

Дві останні складові $\Delta A_{\text{кол}}$ і $\Delta \Pi_{\text{стр}}$ визначають не тільки величину погрішності, але і взагалі можливість реалізації процесу різання з запроєктованими технологічними параметрами [8 – 10].

Для більш інтенсивного зменшення результуючої погрішності формоутворення деталі звичайно досить цілеспрямовано змінювати, у першу чергу, будь-який один із вхідних або збурюючих параметрів, вплив яких

на точність у конкретній ситуації виявляється переважаючим.

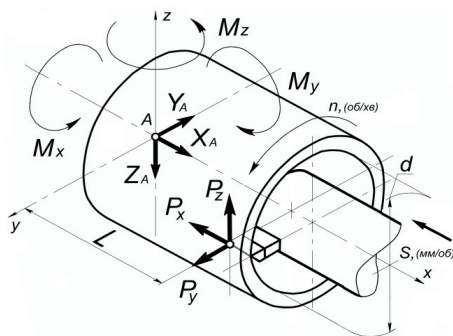
На прикладі можна розглянути класичний метод створення гладкої циліндричної посадки, що необхідно за технологією, - підготувати сполучувану поверхню отвору втулки та вала (рис. 1).

Для підготовки отвору застосовують два основних метода обробки, які розрізняються тим, що обертання в процесі роботи виконує деталь або інструмент. Обертання деталі характерно для токарних груп верстатів, а розточувальний інструмент забезпечує тільки подовжню подачу (рис. 1, а).

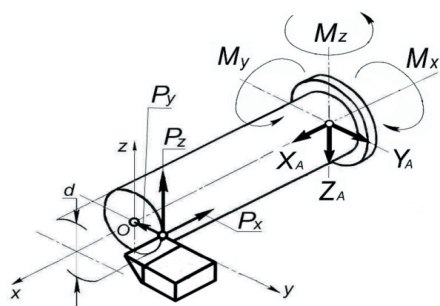
Якщо склавши шість рівнянь рівноваги при виготовленні циліндричних посадок на верстаті токарної групи (рис. 1, а, б) ($\sum P_x = 0$, $\sum P_y = 0$, $\sum P_z = 0$, $\sum M_x = 0$, $\sum M_y = 0$, $\sum M_z = 0$), за умовою, що

$$M_{вр} = M_x,$$

де $M_{вр}$ – крутний момент верстата; M_x – момент опору різанню, отримаємо: $X_A = P_x$; $Y_A = P_y$; $Z_A = P_z$; $M_{вр} = P_z \cdot d/2 = M_x$; $M_y = P_z \cdot L$; $M_z = P_y \cdot L + P_x \cdot d/2$.



а



б

Рис. 1. Виготовлення циліндричної посадки на верстаті токарної групи: а - розточування отвору втулки; б - обробка циліндричної поверхні вала

З цього очевидно, що сполучувана поверхня отвору після такої обробки може виявитись овальною, конічною, у тому разі якщо в конструкції інструмента не передбачені компенсуючі елементи, що забезпечують постійність співвідношень інструмента і деталі.

При підготовці сполучуваної поверхні вала на токарному верстаті (рис. 1, б), можемо спостерігати позакентровий стиск, викликаний силою P_x , та косий згин від сил P_y та P_z .

5. Основний матеріал

Для зменшення пружних переміщень в технологічній системі необхідно при конструюванні устаткування для механічної обробки сполучуваних поверхонь деталей із ПКМ дотримуватись:

1. Закону збереження руху центра мас. З теореми про рух центра мас механічної системи ($m\vec{a}_c = \sum \vec{F}_k^e$) можна одержати наступне:

- якщо сума зовнішніх сил, що діють на систему, дорівнює нулю ($\sum \vec{F}_k^e = 0$), тоді прискорення центра мас дорівнює нулю ($\vec{a}_c = 0$) або $\vec{V}_c = \text{const}$.

Отже, якщо сума всіх зовнішніх сил, що діють на систему, дорівнює нулю, то центр мас цієї системи рухається з постійною по модулю і напрямку швидкістю, тобто рівномірно і прямолінійно. Зокрема, якщо спочатку центр мас був у спокої, то він і залишиться в спокої. Дія внутрішніх сил, як ми бачимо, рух центра мас системи змінити не може.

- якщо сума зовнішніх сил, що діють на систему, не дорівнює нулю, але ці сили такі, що сума їхніх проекцій на яку-небудь вісь (наприклад, вісь Ox) дорівнює нулю ($\sum F_{kx}^e = 0$), тоді з рівняння $m\ddot{x}_c = \sum F_{kx}^e = 0$, випливає, що $\ddot{x}_c = 0$ або $V_{cx} = \text{const}$.

Отже, якщо сума проекцій усіх діючих зовнішніх сил на яку-небудь вісь дорівнює нулю, то проекція швидкості центра мас системи на цю вісь є величина постійна. Зокрема, якщо в початковий момент $V_{cx} = 0$, то й у будь-який наступний момент $V_{cx} = 0$, тобто центр мас системи в цьому випадку уздовж вісі переміщатися не буде ($x_c = \text{const}$).

Усі ці результати виражають собою закон збереження руху центра мас системи.

2. Закон збереження кількості руху. Нехай сума всіх зовнішніх сил, що діють на систему, дорівнює нулю $\sum \vec{F}_k^e = 0$. Тоді з рівняння $\frac{d\vec{Q}}{dt} = \sum \vec{F}_k^e$ випливає, що при цьому $\vec{Q} = \text{const}$.

Таким чином, якщо сума всіх зовнішніх сил, що діють на систему, дорівнює нулю, то вектор кількості руху системи буде постійний по модулі і напрямку.

Нехай зовнішні сили, що діють на систему, такі, що сума їх проекцій на яку-небудь вісь (наприклад, Ox) дорівнює нулю $\sum F_{kx}^e = 0$. Тоді з рівняння $\frac{dQ_x}{dt} = \sum F_{kx}^e$, випливає, що при цьому $Q_x = \text{const}$.

Таким чином, якщо сума проекцій усіх діючих зовнішніх сил на яку-небудь вісь дорівнює нулю, то проекція кількості руху системи на цю вісь є величина постійна.

3. Закон збереження кінетичного моменту системи. Якщо головний момент зовнішніх сил системи щодо деякого нерухомого центра O дорівнює нулю, тобто $\vec{M}_O^e = 0$, то кінетичний момент системи $\vec{K}_O$ щодо цього центра залишається постійним по модулю і напрямку, тобто $\vec{K}_O = \text{const}$.

Якщо сума моментів усіх зовнішніх сил системи щодо деякої нерухомої вісі Ox дорівнює нулю ($\sum M_x(F_k^e) = 0$), то $K_x = \text{const}$.

Отже, кінетичний момент системи щодо будь-якої координатної вісі постійний, якщо сума моментів зовнішніх сил щодо цієї вісі дорівнює нулю, що, зокрема, спостерігається, коли зовнішні сили рівнобіжні, чи вісі перетинають її. В окремому випадку для тіла чи

системи тіл, що усі разом можуть обертатися навколо нерухомої вісі, і якщо при цьому $\sum M_z(F_z^e) = 0$, то $K_z = J_z \omega = \text{const}$ або $J_z \omega = J_{z0} \omega_0$.

Застосовуючи ці закони механіки, виготовлювати гладкі циліндричні посадки з деталей машин із ПКМ можна у такий спосіб (рис. 2).

Вал обробляють дві ріжучі головки Р.г.1 та Р.г.2, які містять по чотири ріжучі елементи (різці), причому ріжучі головки обертаються в протилежні сторони відносно одна одної.

Отвір втулки обробляють ріжучі головки Р.г.3 та Р.г.4, які теж містять по чотири ріжучі елементи, причому ріжучі головки обертаються в протилежні сторони відносно одна одної.

Зауважимо, що для ріжучої головки Р.г.1 базуюча поверхонь є зовнішня поверхня ріжучої головки Р.г.4, а для Р.г.2 є зовнішня поверхня ріжучої головки Р.г.3.

Склавши шість рівнянь рівноваги, за умовою, що:

$$M_{P.g.1} = M_{P.g.2} = M_{P.g.3} = M_{P.g.4} = M_x,$$

де $M_{P.g.i}$ – крутний момент ріжучих головок, Нм; M_x – момент опору різанню;

$$I_{P.g.1} = I_{P.g.2} = I_{P.g.3} = I_{P.g.4} = \text{const},$$

де $I_{P.g.i}$ – момент інерції ріжучих головок, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

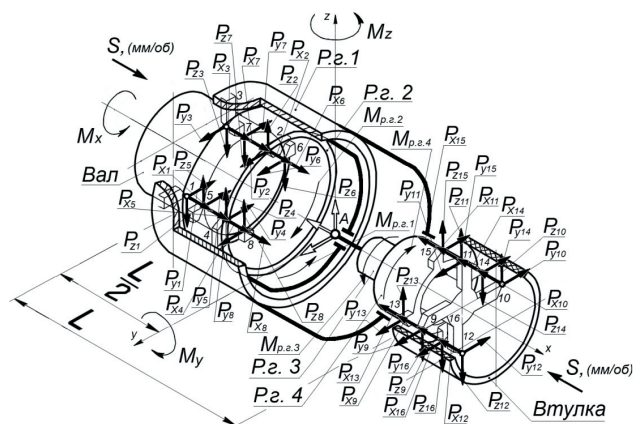


Рис. 2. Розрахункова схема механічної обробки сполучуваних поверхонь деталей (вал, втулка) із ПКМ при виготовленні циліндричної посадки

$$\omega_{P.g.1} = \omega_{P.g.2} = \omega_{P.g.3} = \omega_{P.g.4} = \text{const},$$

де $\omega_{P.g.i}$ – кутова швидкість ріжучих головок, рад/с;

$$T_{P.g.1} = T_{P.g.2} = T_{P.g.3} = T_{P.g.4} = \text{const},$$

де $T_{P.g.i}$ – маса ріжучих головок, кг;

$$S_{\text{вал}} = S_{\text{втулка}} = \text{const},$$

де $S_{\text{вал}}$, $S_{\text{втулка}}$ – подача вала та відповідно втулки, мм/об;

$$V_{\text{вал}} = V_{\text{втулка}} = \text{const},$$

де $V_{\text{вал}}$, $V_{\text{втулка}}$ – швидкість різання вала та відповідно втулки, (м/хв), отримаємо, що реакції та крутні моменти в опорі А дорівнюють: $X_A = 0$; $Y_A = 0$; $Z_A = 0$; $M_x = 0$; $M_y = 0$; $M_z = 0$.

Як ми бачимо, що усі зусилля прирівнюються до нуля, що дає можливість зменшити пружні переміщення в загальній технологічній системі ВПД. Також втулка та вал не потребують великих зусиль затиску у затискному пристосуванні (крутні моменти діючі на заготовки урівноважуються, але є необхідність в упорі вздовж осі x), що дозволяє обробляти тонкостінні заготовки з ПКМ.

Також можна розглянути пристрій для одночасного нарізання внутрішньої та зовнішньої різьби (рис. 3), який працює наступним чином. З обертанням приводного конічного колеса 7, приводить до обертального руху плашку 4 та мітчик 9, які обертаються в різні сторони відносно один від одного. Після чого до них одночасно подаються в осьовому напрямку стрижень 11 до плашки 4 і заготовка з отвором 12 до мітчика 9 та на протязі двох-трьох перших обертів початкові витки ріжучих частин плашки 4 та мітчика 9 починають нарізати різь (рис. 3) [11].

Після нарізання різьби, приводне конічне колесо 7 починає обертатися в протилежну сторону, чим сприяє викручуванню деталей 13, 14 (рис. 3).

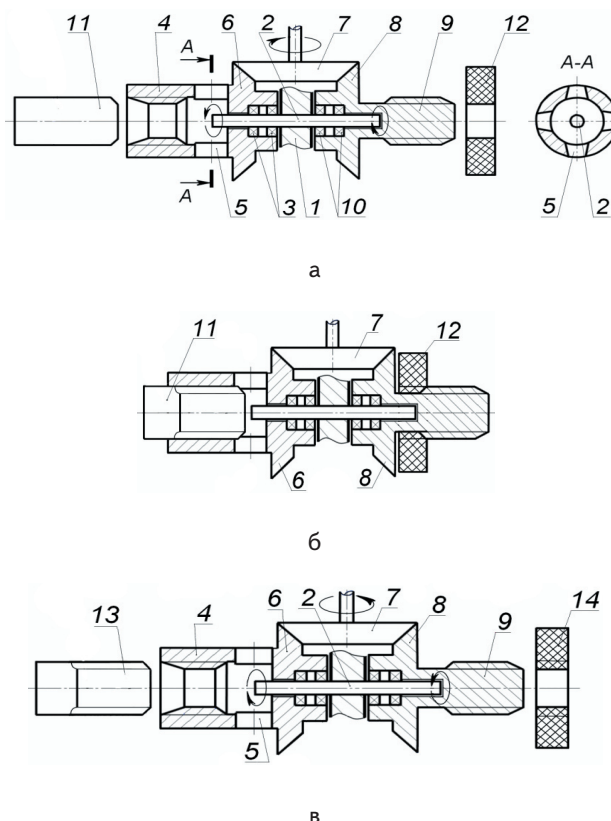


Рис. 3. Пристрій для одночасного нарізання внутрішньої та зовнішньої різьби: а - до роботи; б - у мить нарізання різьби; в - після нарізання різьби

Завдяки тому, що плашка 5 та мітчик 9 мають одну установчу базову поверхню вісі 2 і при їх протилежному обертанні відносно один від одного, то їх радіальні коливання компенсуються, чим покращується якість нарізаних витків різьби.

Використання запропонованого пристрою для одночасного нарізання внутрішньої та зовнішньої різьби дозволить підвищити продуктивність праці, завдяки одночасному виготовленню зовнішньої та внутрішньої різьби з'єднуваних деталей та якості нарізаних витків [11].

5. Висновок

Отже, метод механічної обробки сполучуваних поверхонь з'єднуваних деталей машин, виготовлених із полімерних композитних матеріалів, який

полягає у одночасній обробці охоплюваної та що охоплює поверхні з урахуванням закону збереження руху центра мас, закону збереження кількості руху та закону збереження кінетичного моменту системи, що дозволяє компенсувати сили різання, що зменшує пружні переміщення в технологічній системі ВПІД та підвищити ефективність (продуктивність, точність та якість поверхонь тощо) механічної обробки.

Також запропонована конструкція пристрою для одночасного нарізання внутрішньої та зовнішньої різьби, робота якого передбачена з дотриманням деяких вищезазначених законів механіки.

Література

1. Производство изделий из полимерных материалов [Текст]: Учеб. Пособие / В. К. Крыжановский, М. Л. Кербер, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматческо. – СПб: Профессия, 2004. – 464с.
2. Карпов, Я. С. Соединения деталей и агрегатов их композиционных материалов [Текст] / Я. С. Карпов. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – 359с.
3. Степанов, А. А. Обработка резанием высокопрочных полимерных композитов [Текст] / А. А. Степанов. – Л.: Машиностроение, Ленинград, 1987. – 176с.
4. Способ обработки сопрягаемых конических поверхностей [Текст]: пат. RU 2022721 С1 Рос. Федерация: МПК В23В 5/38 / А. М. Мелай, А. С. Ямников; заявитель и патентообладатель Тульский государственный технический университет; заявл. 17.101991; Опуб. 15.11.1994. – 2с.
5. Сичов, Ю.І. Розробка безвібраційних обробних комплексів [Текст] / Ю. І. Сичов, А. П. Тарасюк, Б. Г. Лях, В. В. Самчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 3, № 7(51). - С. 46-49.
6. Сичов, Ю. І. Пристрій для безвібраційної обробки отворів [Текст] / Ю. І. Сичов, А. П. Тарасюк, В. В. Самчук, Б. Г. Лях, І. С. Аракелян // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 6, № 7(54). - С. 33-35.
7. Сичов, Ю.І. Пристрій для обробки кінців труб [Текст] / Ю. І. Сичов, А. П. Тарасюк, Б. Г. Лях, В. І. Неко, В. В. Самчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Т. 5, N 5(47). - С. 24-29.
8. Davim, J. Paulo. Machining: fundamentals and recent advances. Springer-Verlag London Limited [Text] / J. Paulo Davim. – 2008. – 368с.
9. Klocke, F. Milling of Advanced Composites, in Machining of Ceramics and Composites [Text] / F. Klocke, W. Konig, S. Rummeholler, C. Wurtz, S. Jahanmir, M. Ramulu, P. Koshy // Marcel Dekker Inc. – 1999. – pp. 249-265.
10. Teti, R. Machining of composite materials [Text] / R. Teti // Annals of the CIRP, 2002. – vol. 51/2. – pp. 611-634.
11. Патент України на корисну модель UA 75955 U від 25.12.2012., бюл. № 24. МПК В23G 1/00, В23G 5/00. Пристрій для одночасного нарізання внутрішньої та зовнішньої різьби [Текст] / Ю. І. Сичов, А. П. Тарасюк, В. В. Самчук, Б. Г. Лях, Аракелян І. С.