

П.Д. Кривий, к.т.н., доц., проф.
В.В. Крупа, асист.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ КОМБІНОВАНОГО РОЗТОЧУВАННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ ТОНКОСТІННИХ ЦИЛІНДРІВ

На основі розробленої класифікації багаторізованих розточувальних інструментів (БРІ) для обробки глибоких отворів здійснено аналіз існуючих конструкцій таких інструментів, виявлено позитивний і негативний бік, виходячи із геометричних моделей шорсткості запропонований новий підхід до проектування БРІ. Розроблено нові конструкції БРІ і отримано залежності для визначення корегованих значень головного і допоміжного кутів в плані чистових різців.

Постановка проблеми. Деталі машин типу тонкостінних циліндрів з глибокими отворами в даний час знайшли широке застосування, у першу чергу, в автомобільній промисловості та сільськогосподарському машинобудуванні. Це, наприклад, корпусні деталі амортизаторів та гідропідсилювачів рульових механізмів, гільзи двигунів внутрішнього згоряння, циліндри гідросилових механізмів та ін.

Однією із основних операцій при обробленні внутрішніх циліндричних поверхонь таких деталей є розточування. При розточуванні глибоких отворів тонкостінних циліндрів в основному використовуються багатолезові розточувальні інструменти, зокрема розточувальні головки та спеціальні зенкери, які працюють за методом розточування на розтяг, або так званого витяжного розточування.

Основним пріоритетом сучасного інструментального виробництва є створення конструкцій інструментів з підвищеною продуктивністю оброблення та з одночасним забезпеченням заданих показників якості оброблюваних поверхонь. Найбільша продуктивність при розточуванні досягається шляхом концентрації інструментів, яка реалізується багаторізованими розточувальними головками для комбінованого розточування, які за один прохід здійснюють одночасно чорнове і чистове розточування.

Тому створення нових конструкцій інструментів, які б поряд із позитивними відомими попередніми властивостями, при збереженні або підвищенні якісних показників оброблюваних поверхонь забезпечували підвищену продуктивність є безумовно актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел [1–9], а також спеціальних каталогів фірм-виробників інструментального оснащення, таких як: Acrow (Нова Зеландія); Fette-Kieninger; Guhring Kaiser (Німеччина); Mircona, Sandvik Coromant, Seco tools ab (Швеція); Nikken (Японія); Pinzbohr (Іспанія); SAU (Італія) і Swiss (Швейцарія) показав наявність сотень різноманітних інженерних рішень з проблеми інструментального забезпечення розточування глибоких отворів багаторізованими розточувальними інструментами. В окремій статті неможливо проаналізувати всі існуючі конструкції й особливості роботи відомих багаторізованих розточувальних інструментів (БРІ). Тому запропонована їх класифікація за певними ознаками (рис. 1), яка б дала можливість виявити їх як позитивний, так і негативний бік і на основі розв'язання технічних протиріч запропонувати нові конструкції різальних інструментів, а саме – багаторізованих розточувальних головок (БРГ).

Залежно від схеми розточування і напружень, що виникають в корпусі інструмента, розрізняють два види розточування: перший, за якого в корпусі інструмента виникають напруження розтягу та другий, за якого виникають напруження стиску. Обидві схеми використовують як при чорновому, так і при чистовому та комбінованому розточуванні. При розточуванні на розтяг непрямолінійність осі отвору отримують меншою, ніж при розточуванні на стиск, тому такий метод використовують частіше при комбінованій і чистовій обробках.

Проаналізувавши існуючі конструктивні рішення БРІ, можна поділити їх за методом оброблення на 3 основних групи. До першої групи віднесемо багаторізованих розточувальних інструментів, які працюють за схемою поділу припуску на оброблення, до другої – ті, що працюють за схемою поділу подачі, і до третьої – з одночасним поділом припуску і подачі.

Представники БРІ, принцип роботи яких належить до першої групи, описано в [1, 2] та каталогах розточувальних інструментів фірм: Acrow, Guhring Kaiser, Mircona, Sandvik Coromant, Nikken, Pinzbohr, SAU, Swiss. В інструментах даної групи використовується ступінчасте розміщення різців і за призначенням вони можуть бути для чорнового, чистового або комбінованого розточування.

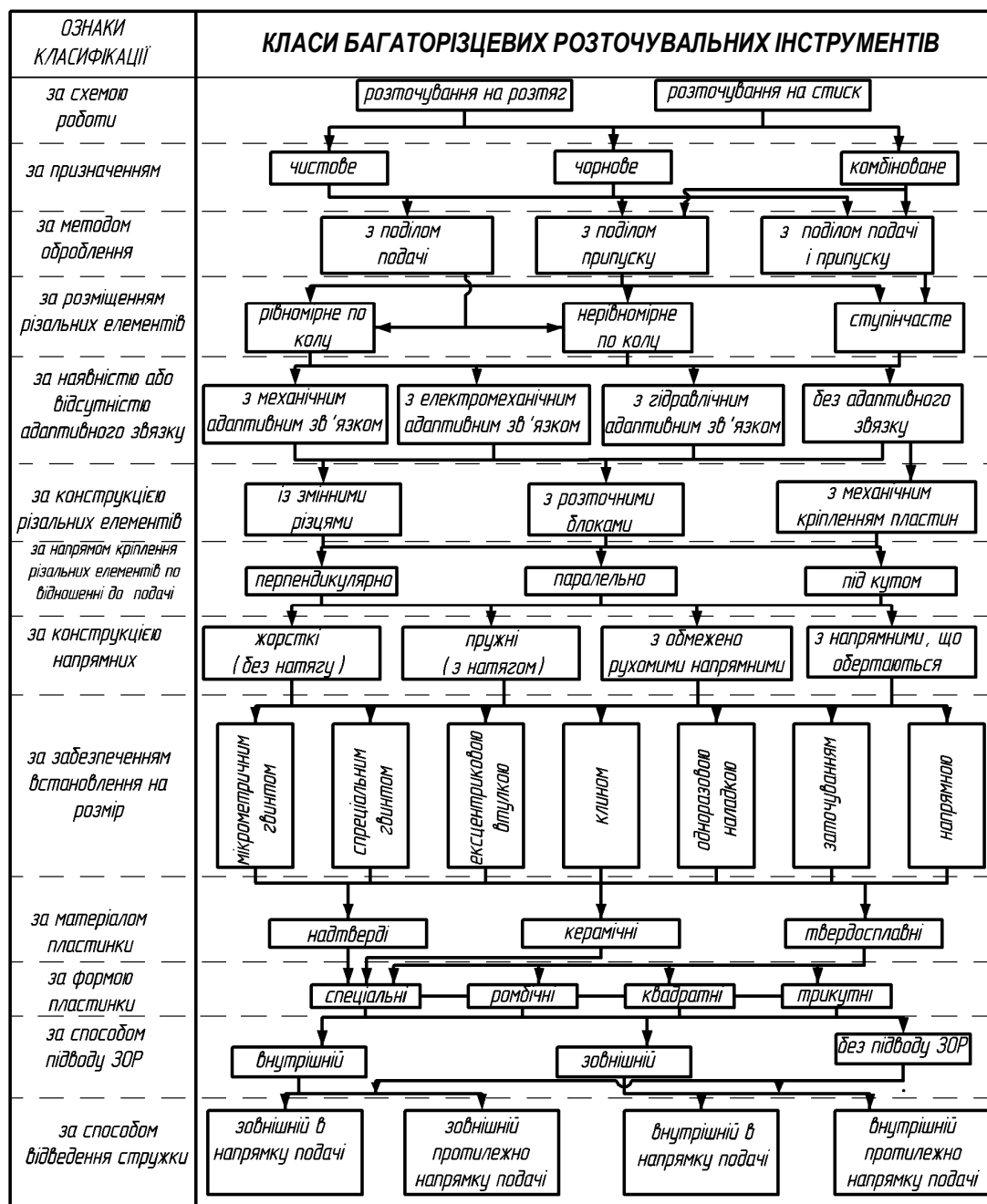


Рис. 1. Класифікація багаторізованих розточувальних інструментів

Типовим представником даної групи є інструмент, описаний в [1], який призначений для оброблення отворів діаметром не менше 30 мм та точністю 6–9 квалітету. Особливістю конструкції є те, що в корпусі виконано симетрично 4 канавки, що утворюють 4 пера, на трьох із яких механічно закріплено змінні багатогранні пластинки, а на четвертому в поздовжній паз встановлено рухома напрямна. Всі пластини зміщені одна відносно одної в осьовому і радіальному напрямках, забезпечуючи при цьому поділ припуску. Недоліком даної конструкції є відхилення осі головки відносно осі оброблюваного отвору внаслідок настроювання на розмір за допомогою напрямної, що, в свою чергу, може спричинити додаткові вібрації, а також спотворення профілю обробленого отвору. Ще один БРІ, який працює за даним методом, описаний в [2]. Особливістю даної дворізованої оправки, в якій різці виставлено на один розмір і зміщено один відносно одного на величину, що дорівнює половині подачі, є те, що другий різець зрізає мікронерівності, які залишаються після проходження першого. Оскільки глибина різання на другому різці складає всього 0,03...0,07 мм, то внаслідок пружних деформацій, а також незначного зношування другого різця процес різання ним може не відбуватися. Оскільки глибини різання в двох різців різні,

будуть різними і радіальні складові сили різання, що може призводити до відхилення осі інструмента від осі отвору.

Представники БРІ, які належать до другої групи, можуть бути з рівномірним та нерівномірним розміщенням різальних елементів [3–8]. Типова конструкція розточувальної головки з рівномірним розташуванням різальних елементів описана в [3]. У корпусі головки по периферії зроблено пази з рифленням, в яких закріплено ножі з твердосплавними пластинами. Забезпечення необхідних діаметральних розмірів здійснюється переточуванням. Основним недоліком даної конструкції є складність виготовлення, а також неможливість самоцентрування через величину головного кута в плані $\varphi = 90^\circ$. Ще одним типовим представником БРІ даної групи є розточувальний інструмент, описаний в [8]. Основним недоліком даного інструмента є його надмірне нагрівання внаслідок сил тертя, що виникають під час роботи через велику площу контакту різальних лез по допоміжній задній поверхні з оброблюваною поверхнею, внаслідок допоміжного кута в плані меншого $0,2^\circ$. Розточувальні інструменти з симетричним розміщенням різців мають недостатню вібростійкість, оскільки частоти, що виникають під час оброблення кожним різцем можуть накладатися і створювати резонанс. Частково цей недолік усувається при обробленні багаторізевою головкою, яка працює з поділом подачі та несиметричним розміщенням різців. Конструкція такої головки подана в [9]. Вона призначена для чистового розточування глибоких отворів і складається з корпусу, на якому зроблені поздовжні пази, в яких вставлено різцеві блоки із заданим кутовим зміщенням. Один із різцевих блоків відносно іншого має можливість осьового, радіального та кутового регулювання, яке забезпечується за допомогою спеціального гвинта та клина. Перший різцевий блок закріплений нерухомо, а регулювання на розмір здійснюється автоматично, використанням спеціальних твердосплавних пластин з механічним кріпленням. До недоліків даної конструкції належать: незабезпечення точності обробленого отвору, на яку значно буде впливати допуск на виготовлення пластин та точність їх встановлення в різцевому блоці; несиметричне розміщення різців, що спричиняє утворення на оброблюваній поверхні мікронерівностей різної висоти, а також не забезпечує зрівноваження радіальних складових сил різання, що може призводити в процесі роботи до відхилення осі розточувального отвору від теоретичної, незважаючи на використання напрямних.

Типовим представником інструментів третьої групи, які в процесі роботи забезпечують одночасний поділ припуску та подачі і використовуються для комбінованого розточування глибоких отворів, є розточувальна головка, описана в [10]. В ній використовується один окремий різець та різцевий блок, які виконують відповідно чорнову та чистову обробку, а також інерційне тіло, яке коливається в процесі роботи. Недоліком даного інструмента є незрівноваженість сил, які виникають на різальних елементах і тому основне навантаження від радіальних складових сил різання приходить на напрямні. Іншим недоліком є коливання інерційного тіла, яке впливає на точність обробки.

Здійснений огляд і аналіз показав наявність різноманітних конструкцій інструментів першої та другої груп. Конструкції багаторізцевих розточувальних інструментів третьої групи, для комбінованого розточування, а також принципи їх проектування в існуючих літературних джерелах висвітлено недостатньо. Тому існує потреба створення нових конструкцій БРГ для комбінованого розточування глибоких отворів, які б забезпечували високу продуктивність та точність обробки глибоких отворів циліндрів.

Мета роботи: розробити конструкції багаторізцевих розточувальних головок для комбінованого розточування глибоких отворів циліндрів з підвищеною продуктивністю обробки та забезпеченням необхідних якісних показників оброблювальних поверхонь.

Результати дослідження. Запропонована конструкція розточувальної головки для комбінованого розточування глибоких отворів циліндрів, яка реалізує в процесі роботи одночасний поділ припуску на оброблення та подачі, базується на конструктивному рішенні [11], суть якого полягає у використанні одного чорнового та трьох чистових різців. Головною конструкторською особливістю запропонованих головок є те, що взаємне кутове розміщення 2-го чи 3-го чистових різців, яке визначається центральними кутами θ_i таке, що вершина 2-го чистового різця суміщена з перпендикуляром, встановленим з точки перетину проєкцій ГРК і ДРК в основній площині (точка максимальної висоти мікронерівностей), яка розміщена на максимальній віддалі від траєкторії вершин чистових різців, а кутове положення чорнового різця визначається за умови забезпечення зрівноваження всіх діючих радіальних складових сил різання. Значення головних φ_i та допоміжних φ'_i кутів у плані на чистових різцях приймається спочатку однаковими, тобто $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$ та $\varphi'_1 = \varphi'_2 = \varphi'_3 = \varphi'$. Але, враховуючи те, що, згідно з запропонованим розташуванням різців, їх розміщення по колу буде нерівномірним, внаслідок того висота мікронерівностей після проходу кожного із різців буде неоднаковою. Для усунення цього недоліку, тобто недопущення неоднакової висоти мікронерівностей, запропоновано два варіанти конструкторського виконання БРГ: перший – за

якого здійснюється коректування φ на третьому чистовому різці (ТЧР) – φ_{3K} , і другий – за якого корегують значення допоміжного кута в плані φ' на ТЧР – φ'_{3K} .

Розглянемо ідеалізовану схему розміщення різців та формування шорсткості поверхні за **I варіантом** конструкторського виконання БРГ (рис. 2).

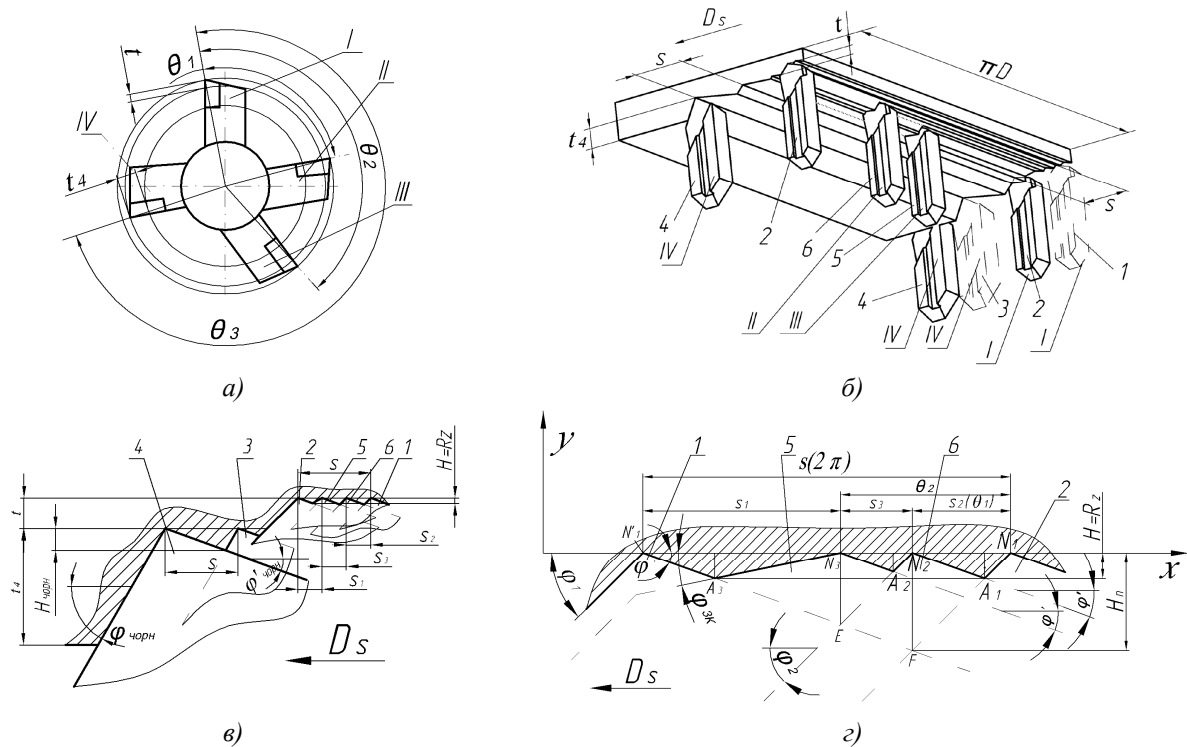


Рис. 2. Ідеалізована схема розміщення чистових різців та формування шорсткості обробленої поверхні шляхом забезпечення певного взаємного розміщення різців в розточувальній головці і корекції головного кута в плані (за I варіантом конструкторського виконання): а – згортка; б – розгортка; в – загальна схема формування шорсткості; г – формування шорсткості поверхні чистовими різцями: 1 і 2 – положення I чистового різця у момент початку і закінчення оберту відповідно; 3, 4 – положення чорнового різця у момент початку і закінчення оберту відповідно; 5 – положення III чистового різця, зміщеного відносно I на кут θ_2 ; 6 – положення II чистового різця, зміщеного відносно I на кут θ_1

Для визначення таких технологічних параметрів, як значення подач на чистових різцях скористаємось рисунком 2, г. Введемо систему координат YOX . Вісь OX направимо вправо (в напрямку протилежному напрямку подачі) і вершини всіх чистових різців розмістимо на ній, а OY направимо вверх. Оберемо довільну точку на осі OX – N_1 і розмістимо в ній вершину першого чистового різця (ПЧР) – 1 у момент початку оберту. З N_1 проведемо промені під кутами φ та φ' до осі OX . Вони відобразять положення головної та допоміжної різальних кромки (ГРК і ДРК відповідно) першого чистового різця (ПЧР) у момент початку оберту. Задавши величиною $H \approx Rz$ і використавши [12], величина подачі на другому чистовому різці (ДЧР) складатиме:

$$s_2 = H \cdot (\text{ctg} \varphi + \text{ctg} \varphi'). \quad (1)$$

Отримана подача на осі OX , схематично зображено відрізком N_1N_2 (рис. 2, г). Точка N_2 відповідає вершині ДЧР у момент закінчення оберту. Аналогічною побудовою, отримаємо положення ГРК і ДРК ДЧР. Провівши з N_2 пряму, перпендикулярну осі OX до перетину з ГРК ПЧР у момент початку оберту, отримаємо точку F і відрізок N_2F . З F провівши лінію під кутом φ' до перетину з віссю OX , отримаємо положення ПЧР у момент закінчення оберту, а відповідно і значення подачі на оберт (s , мм/об.), яка рівна довжині відрізка $N_1'N_1 = N_1N_2 + N_2N_1'$ (рис. 2, г). Враховуючи, що $N_1N_2 = s_2$, а $N_2N_1' = N_2F \cdot \text{ctg} \varphi'$ (з $\Delta N_1'N_2F$), $N_2F = s_2 \cdot \text{tg} \varphi$ (з ΔN_1N_2F), і підставивши значення подачі s_2 з (1), виконавши перетворення, будемо мати:

$$s = H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi')^2. \quad (2)$$

Опустивши з точки E , утвореної перетином ГРК ДЧР і ДРК ПЧР в момент закінчення оберту, перпендикуляр на вісь OX , отримаємо положення вершини ТЧР, яка зображена точкою N_3 . Провівши пряму через точки N_3 та A_3 (точка перетину прямої паралельної осі OX , що проходить через A_1 , з ДРК ПЧР в момент закінчення оберту), отримаємо положення ГРК ТЧР, кут φ_{3K} , а також відрізки N'_1N_3 і N'_3N_2 , довжини яких відповідають значенню подач на ПЧР і ТЧР, відповідно s_1 і s_3 .

Подачу на ПЧР – s_1 можна визначити, розглянувши подібні ΔN_1N_2F та $\Delta N'_1N_3E$. Врахувавши (з $\Delta N'_1N_2E$), що $N_3E = (s - s_2) / (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi')$, та склавши пропорцію $N'_1N_2 / N'_1N_3 = N_2F / N_3E$ і підставивши в неї значення сторін, виражені через s , s_2 та кути в плані отримаємо: $(s - s_2) / s_1 = s_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi / (s - s_2 / (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi'))$. Спростивши дане рівняння та підставивши значення s_2 з (1), отримаємо:

$$s_1 = H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi')^2. \quad (3)$$

Подача на ТЧР s_3 визначиться із залежності $s_3 = s - (s_1 + s_2)$, підставивши в яку (1), (2) та (3), знайдемо:

$$s_3 = H \cdot \operatorname{ctg} \varphi'. \quad (4)$$

Розглянувши $\Delta N'_1N_3A_3$, знайдемо скореговане значення φ_{3K} на ТЧР:

$$\varphi_{3K} = \operatorname{arccctg} \frac{s_1 - H \cdot \operatorname{ctg} \varphi'}{H} = \operatorname{arccctg} ((\operatorname{ctg} \varphi')^2 \operatorname{tg} \varphi - \operatorname{ctg} \varphi'). \quad (5)$$

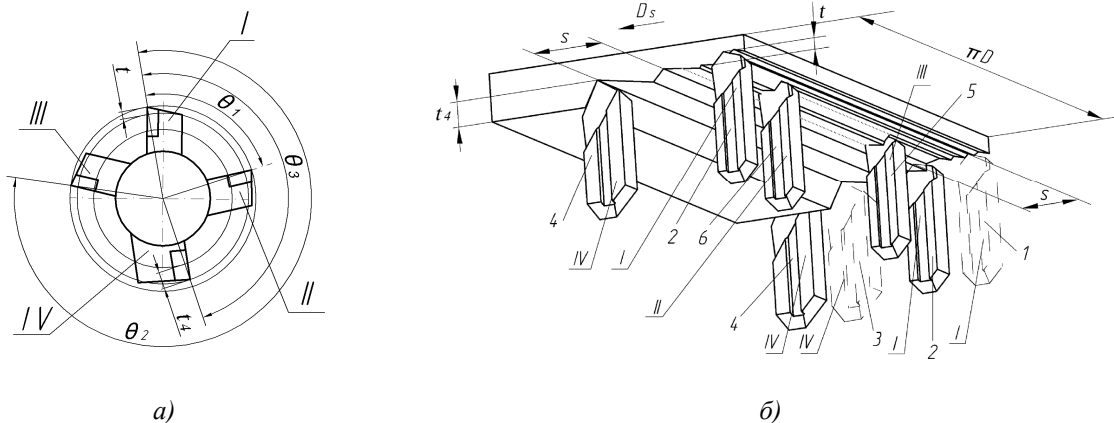
Розглянемо схему розміщення різців та формування шорсткості поверхні за II варіантом конструкторського виконання БРГ (рис. 3), при якому корегування буде здійснюватись допоміжним кутом в плані на ТЧР.

Для визначення таких технологічних параметрів, як значення подач на чистових різцях введемо систему координат YOX . Принцип розміщення ПЧР до початку оберту та після його закінчення – 1 та 2 відповідно і ДЧР після закінчення оберту аналогічний до принципу їх розміщення за I варіантом конструкторського виконання БРГ. ТЧР встановлюємо так, щоб висота мікронерівностей, утворених в результаті перетину слідів контактів ГРК ТЧР та ДРК ПЧР була рівною $H \approx Rz = \operatorname{const}$, а шляхом корегування значення допоміжного кута в плані на ТЧР φ'_{3K} добиваємось, щоб висота мікронерівностей, утворених в результаті перетину слідів контактів ГРК ДЧР та ДРК ТЧР теж була рівна заданій $H \approx Rz = \operatorname{const}$. В цьому випадку s_2 та s визначаються за формулами (1) та (2) відповідно $s_1 = s_2$, а $s_3 = s - (s_1 + s_2)$, або:

$$s_3 = H \cdot (\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi'^2 - \operatorname{ctg} \varphi). \quad (6)$$

Скореговане значення φ'_{3K} визначається за формулою $\varphi'_{3K} = \operatorname{arccctg} ((s_3 - H \cdot \operatorname{ctg} \varphi_2) / H)$, або виразивши s і H через тригонометричні функції, отримаємо:

$$\varphi'_{3K} = \operatorname{arccctg} (\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi'^2 - 2 \operatorname{ctg} \varphi). \quad (7)$$



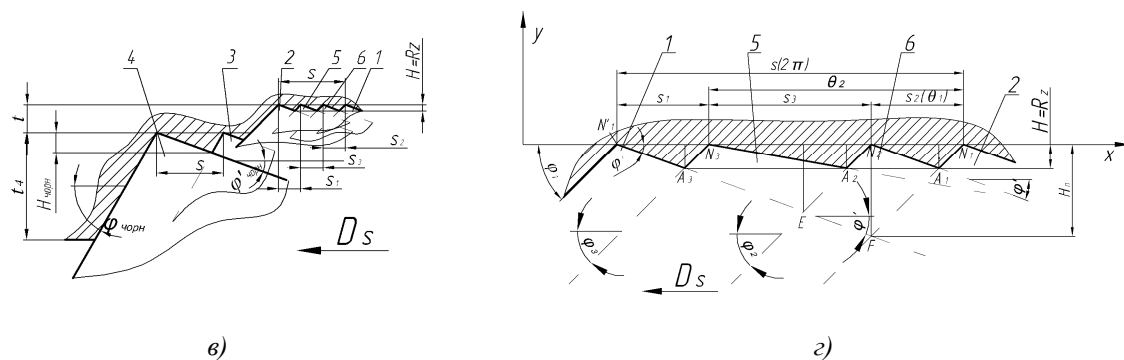


Рис. 3. Ідеалізована схема формування шорсткості обробленої поверхні шляхом забезпечення певного взаєморозміщення різців і корекції допоміжного кута в плані: а – згортка; б – розгортка; в – загальна схема формування шорсткості; г – формування шорсткості поверхні чистовими різцями: 1 і 2 – положення I чистового різця у момент початку і закінчення оберту відповідно; 3, 4 – положення чорнового різця у момент початку і закінчення оберту відповідно; 5 – положення III чистового різця, зміщеного відносно I на кут θ_2 ; 6 – положення II чистового різця, зміщеного відносно I на кут θ_1

На рисунку 4 представлена конструкція розточувальної головки, спроектованої на основі наведених вище залежностей за I варіантом проектування БРГ. Розточувальна головка призначена для обробки глибоких отворів з точністю 7–9 квалітетів при забезпеченні шорсткості обробленої поверхні $Ra \leq 1,6$ мкм. Інструмент складається з корпусу 5 (рис. 4, а–в), в якому виконаний центральний отвір 2 та на одному з кінців якого знаходиться хвостовик 3. На ньому 3 виконана різь 1 та конусна частина 4, що використовуються для співвісного з'єднання розточувальної головки з пустотілою оправкою. На іншому торці корпусу виконані радіальні пази 6, в які встановлюються три чистові різці відповідно 7, 12 і 15 та один чорновий різець 9. Різці притискаються гвинтами 11 до диска 10, який жорстко з'єднаний з корпусом 1, гвинтами 13 та штифтами 14. Радіальний виліт різців регулюється за допомогою гвинтів 8, які своїми конічними кінцевими поверхнями спряжені з торцевими скосами різців. На кожному з різців 7, 12, 15, 9 виконані пази для підводу змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) в зону різання. Допоміжні кути в плані на чистових різцях 7, 12, 15, а також головні кути в плані на першому 7 та другому 12 чистових різцях однакові і рівні φ' і φ відповідно, а головний кут в плані на третьому чистовому різці 9 корегований і визначається за формулою (5).

Центральні кути між вершиною першого 7 та другого 12 θ_1 і вершиною першого 7 та третього 15 чистових різців, у площині перпендикулярній до поздовжньої осі головки визначаються за формулами [11]:

$$\theta_1 = 2\pi \cdot s_2 / s, \quad (8)$$

$$\theta_2 = 2\pi \cdot (s_2 + s_3) / s, \quad (9)$$

де s_2 – визначається за формулою (1), мм/різець; s – за формулою (2); s_3 – за (4) та (6) відповідно для I та II варіантів конструкторського виконання БРГ, мм/різець.

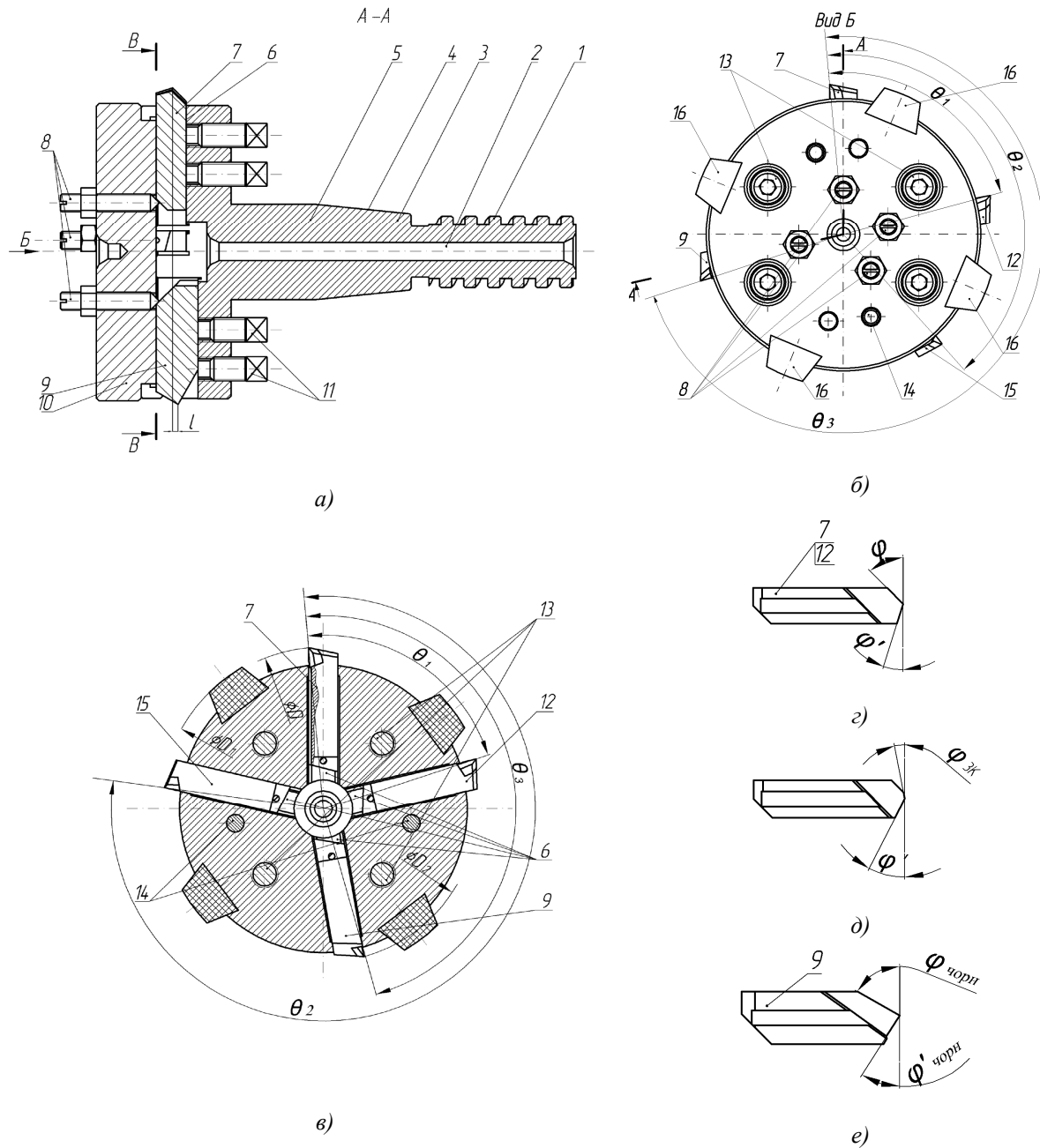


Рис. 4. Конструкція розточувальної головки для комбінованого розточування глибоких отворів за I варіантом конструкторського виконання: а – головний вигляд; б – вигляд по стрілці Б; в – переріз В-В; г, д, е – проєкції в плані відповідно першого та другого (г), третього (д) чистових і чорнового (е) різців

Чорновий різець 9 встановлюється в місці сходження радіальних складових сил різання, створених чистовими різцями 7, 12, 15. Центральний кут між вершиною першого чистового різця 7 та вершиною чорнового різця 9 θ_3 , в площині перпендикулярній до поздовжньої осі інструмента для обох варіантів конструкторського виконання БРГ визначається за формулою [11]:

$$\theta_3 = \pi + \arcsin \frac{\eta \cdot \sin(\arcsin(s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta}) + \theta_1)}{\sqrt{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos(\arcsin(s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta}) + \theta_1)}}, \quad (10)$$

де $\eta = s_2^{2y} \cdot K_{\varphi_2}^2 + s_3^{2y} \cdot K_{\varphi_3}^2 + 2s_2^y s_3^y K_{\varphi_2} K_{\varphi_3} \cdot \cos \theta_2$; K_{φ_1} , K_{φ_2} , K_{φ_3} – поправочні коефіцієнти на головні кути в плані на першому, другому та третьому чистових різцях відповідно; y – показник степеня, що враховує вплив подачі на радіальну складову сили різання. Вершина чорнового різця 9 зміщена відносно

вершин чистових різців 7, 12, 15, що знаходяться в одній площині, перпендикулярній до поздовжньої осі інструмента, в напрямку подачі на величину l , а його радіальний виліт менший від радіального вильоту чистових різців, які виставлені на однаковий діаметр D , 7, 12, 15 на величину t ($D_2 = D - 2t$) (рис. 4, в), що визначається з умови зрівноваження радіальних складових сил різання на чистових 7, 12, 15 та чорновому 9 різцях за формулою [11]:

$$t = \frac{z}{2} \left(\frac{s^y \cdot K_{\varphi_3}}{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos(\arcsin(s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta}) + \theta_1)} \right)^{1/x}, \quad (11)$$

де z – загальний припуск на оброблення; x – показник степеня, який враховує вплив глибини різання на радіальну складову сили різання.

На периферії корпусу та диска виконано чотири симетрично розміщені пази типу «ластівкового хвоста», в які встановлені напрямні елементи 16, що виконуються із поліуретану. Діаметр описаного кола по напрямних (D_1) більше діаметра описаного кола по різцях (діаметра оброблюваного отвору D) на величину $D_1 - D = 1-2$ мм для фіксування інструмента в отворі і зменшення впливу різноманітних коливань на якість обробки. Направні зміщені в напрямку протилежному подачі відносно вершин різальних елементів на певну величину і на них виконано забірні фаски для плавного їх входу в оброблений отвір.

Конструкція розточувальної головки, згідно з II варіантом конструкторського виконання БРГ, схема розміщення чистових різців якого наведена на рисунку 3, буде відрізнятися порядком кутового розміщення чистових та чорнового різця (рис. 5, а), а також конструкцією ТЧР (рис. 5, б). Головні кути в плані на чистових різцях 7, 12, 15 та допоміжні кути в плані на першому 7 та другому 12 чистових різцях однакові і рівні відповідно φ і φ' , а допоміжний кут в плані на третьому чистовому різці 15 корегований, а його значення визначається за формулою (7).

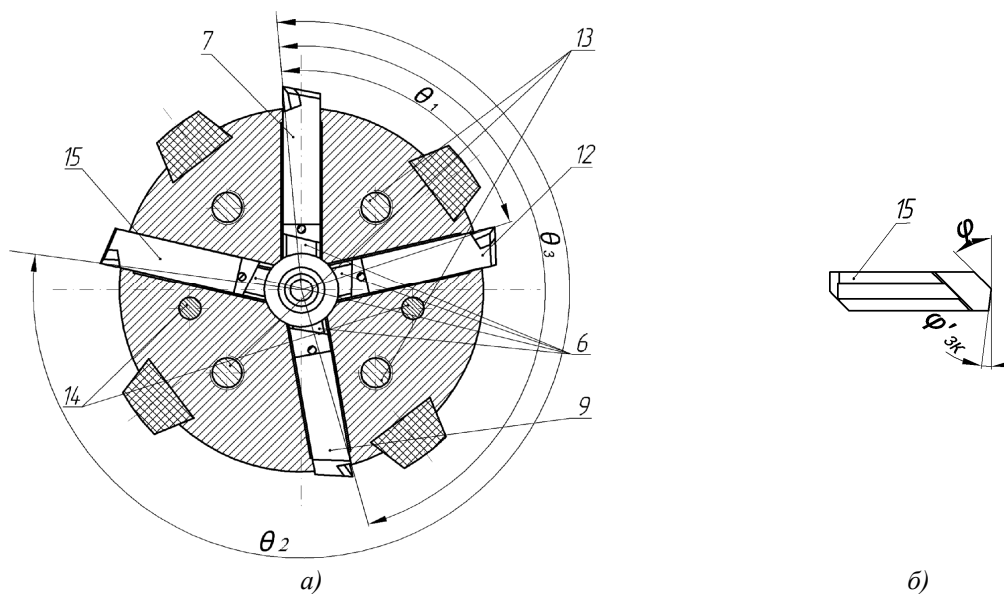


Рис. 5. Конструктивне розміщення різців (а) та проекція в плані третього чистового різця (б) розточувальної головки для комбінованого розточування глибоких отворів за II варіантом конструкторського виконання

Робота інструмента пояснюється рисунком 6. До початку обробки заготовку у вигляді труби 3 встановлюють на спеціальну оправку 4, що з'єднана з пристроєм осьової подачі верстата 5. На лівий кінець оправки закріплюють інструмент 2 і заводять разом із заготовкою 3 в патрон 1, у якому її затискають. На верстаті встановлюють задану подачу і, надавши заготовці обертовий рух, а інструменту – осьову подачу в напрямку зліва направо, починають процес обробки.

Після виходу інструмента з тіла заготовки її розкріплюють, знімають, від'єднують інструмент від оправки, встановлюють на оправку іншу заготовку і процес повторюють.

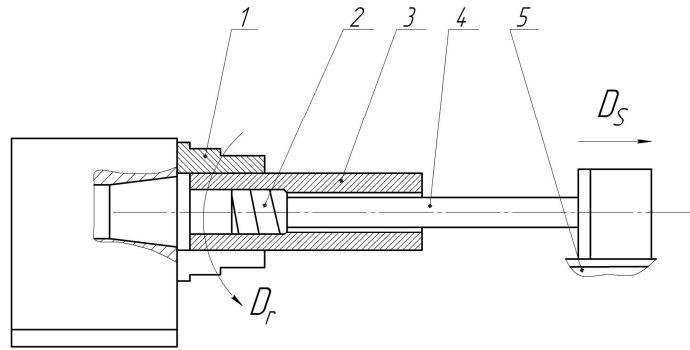


Рис. 6. Схема роботи багаторізевої розточувальної головки

Для порівняння продуктивності та якості обробки запропонованого інструмента із конструкціями БРІ, що забезпечують рівномірне розміщення по колу різальних елементів скористаємось рисунком 7.

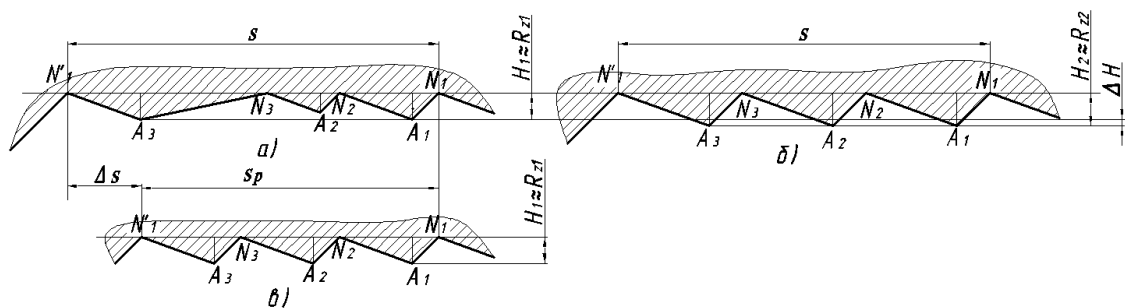


Рис. 7. Схеми розміщення різців: за запропованою методикою з подачею s та висотою мікронерівностей H_1 (а); традиційна з рівномірним розміщенням різців при забезпеченні подачі s та висоти мікронерівностей H_2 (б); традиційна з рівномірним розміщенням різців s_3 забезпеченням висоти мікронерівностей H_1 та зменшеною подачею $s_p < s$

Для схеми із запропованою методикою (рис. 7, а) висота мікронерівностей H_1 визначається за формулою (2), а для схеми з рівномірно розміщеними по колу різальними елементами (рис. 7, б) висота мікронерівностей визначається за формулою: $H_2 = \frac{s}{3(\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')}$. Для порівняння отриманих значень використаємо систему:

$$\begin{cases} H_1 = \frac{s}{\text{tg}\varphi \cdot (\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')^2} \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} H_2 = \frac{s}{3(\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')} \end{cases} \quad (13)$$

Визначивши з (13) величину s та підставивши в (12), отримаємо:

$$H_1 = \frac{3H_2(\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')}{\text{tg}\varphi \cdot (\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')^2} \quad (14)$$

Спростивши (14), будемо мати:

$$H_1 = \frac{3H_2}{1 + \text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\varphi'} \quad (15)$$

При кутах в плані різців $\varphi = 45^\circ$, $\varphi' = 20^\circ$, отримаємо:

$$\dot{I}_1 = 0,8\dot{I}_2.$$

Розглянемо варіант із забезпеченням однакової висоти мікронерівностей із запропонованим розміщенням різців (рис. 7, а), подача для якого визначається за формулою (2) та традиційним, з рівномірним розміщенням по колу (рис. 7, в), подача для якого визначиться за формулою: $s_p = 3H_1(\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')$. Розглянувши систему:

$$\begin{cases} s_p = 3H_1(\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi') & (16) \\ s = H_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi \cdot (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi')^2 & (17) \end{cases}$$

поділивши (17) на (16) та визначивши s , отримаємо:

$$s = s_p \cdot (1 + \operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{ctg}\varphi') / 3. \quad (18)$$

При кутах в плані різців $\varphi = 45^\circ$, $\varphi' = 20^\circ$ будемо мати: $s = 1.25s_p$.

Висновки:

1. На основі аналізу різних конструкцій багаторізцевих розточувальних інструментів для розточування глибоких отворів з врахуванням запропонованих ознак здійснено їх класифікацію.

2. Отримані залежності для визначення основних технологічних параметрів – подач та глибин різання на різцях двох запропонованих конструкцій багаторізцевих розточувальних головок для комбінованого розточування глибоких отворів циліндрів.

3. Встановлено, що при використанні інструментів із запропонованим розміщенням різців досягається підвищення продуктивності обробки на 25 % при забезпеченні постійної висоти мікронерівностей, або зниження висоти мікронерівностей на 20 % при забезпеченні однакової продуктивності за основним часом, порівняно з аналогічними традиційними інструментами з рівномірно розміщеними по колу різальними елементами.

Список використаної літератури:

1. Железнов Г.С. Расточной инструмент / Г.С. Железнов, Ю.А. Голоднова, С.Г. Железнова // Станки и инструмент. – 2004. – № 8. – С. 39–41.
2. Карпуть В.Е. Эффективное растачивание основных отверстий двухрезцовой оправкой / В.Е. Карпуть, Д.А. Миненко // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2009. – Вып. 76. – С. 63–66.
3. Семенченко И.И. Проектирование металлорежущих инструментов / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров. – М. : Машгиз, 1963. – 952 с.
4. Григорьев В.В. Расточная головка для обработки глубоких отверстий / В.В. Григорьев, А.М. Емельянов, Е.Я. Самсонов // Станки и инструмент. – 1980 – № 9. – С. 22–23.
5. Справочник металлста : В 5-ти т. / под ред. А.Н. Малова. – М. : Машиностроение, 1977. – Т. 3. – 748 с.
6. Кочеровский Е.В. Расточная головка для тонкого растачивания отверстий / Е.В. Кочеровский, Г.М. Лихицер, В.А. Ухачев // Станки и инструмент. – 1984. – № 9. – С. 15–16.
7. Грановский Г.И. Металлорежущий инструмент / Г.И. Грановский. – М. : ГНТИМЛ «Машгиз», 1952. – 732 с.
8. Многолезвийный режущий инструмент для вытяжного растачивания внутреннего отверстия заготовки под прокат : пат. RU2388579 Рос. Федерация, МПК⁶ В23 В51/10 / А.И. Едигарев, В.Л. Зайцев, И.В. Ильенко и др. ; заявитель и патентообладатель ОАО «Чепецкий механический завод». – № 2008118783/02 ; заявл. 12.05.2008 ; опубл. 20.11.2009.
9. Расточная головка : пат. 2104827 RU, МПК⁶ В23В 29/03 / Самыкин В.Н., Волков А.Н., Бурмистров Е.В. ; заявитель и патентообладатель Самарский государственный аэрокосмический университет. – 94028997/02 ; заявл. 12.07.94 ; опубл. 20.02.98.
10. А.с. 1683876 МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная головка для обработки глубоких отверстий / В.Ф. Гилин (СССР). – 4437654/08 ; заявл. 08.06.88 ; опубл. 15.10.1991, Бюл. № 38.
11. Крупа В. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторізцевих розточних головок з поділом припуску та подачі / В.Крупа // Вісник ТНТУ. – 2011. – Т. 16, № 1. – С. 105–117.
12. Кривий П.Д. Геометричні та математичні моделювання формування шорсткості поверхні при точінні та розточуванні / П.Д. Кривий, В.В. Крупа // Вісник ЖДТУ. – 2010. – № 2. – С. 47–56.

КРИВИЙ Петро Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

– технологічне та інструментальне забезпечення якості виробів.

Тел.: (0352)25–06–76.

КРУПА Володимир Васильович – асистент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

– процеси механічної обробки.

Тел.: (097)868–92–44.

E-mail: Volodimir_krupa@ukr.net

Стаття надійшла до редакції 26.04.2012