

УДК 621.9

*Петро Кривий, Володимир Кобельник, Володимир Крупа, Володимир Яковлев*  
**РОЗТОЧУВАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ З ПОПАРНО-АСИМЕТРИЧНИМ  
 РОЗМІЩЕННЯМ ЛЕЗ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ГЛИБОКИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ  
 ОТВОРІВ**

*Petr Krivyy, Vladimir Kobelnyk, Vladimir Krupa, Vladimir Yakovlev*  
**РАСТОЧНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ С ПОПАРНО-АСИММЕТРИЧЕСКИМ  
 РАЗМЕЩЕНИЕМ ЛЕЗВИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ  
 ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ**

*Petro Kryvyi, Volodymyr Kobelnyk, Volodymyr Krupa, Volodymyr Yakovlev*  
**BORING TOOLS WITH CONJUGATE-ASYMMETRIC ALLOCATION  
 OF CUTTERS FOR MACHINING OF DEEP CYLINDER HOLES**

На основі аналізу наявних конструкцій запропоновано принципи попарно-асиметричного розміщення різців у розточувальних інструментах з корегованими кутами у плані. Для двох варіантів їх конструкторського виконання отримано залежності для визначення подач на різець та на оберт, а також значення корегованих головних (для I варіанта) та допоміжних (для II варіанта) кутів у плані залежно від параметра розрахункової висоти мікронерівностей профілю. Подано варіант конструкції інструменту за запропонованими принципами. Проведено випробування інструменту на токарному верстаті з спеціальним пристосуванням та схемою роботи «на розтяг». Експериментально встановлено оптимальну подачу для конкретних умов оброблення. Показано його переваги у продуктивності в порівнянні з традиційними інструментами.

**Ключові слова:** розточувальний інструмент, попарно-асиметричне розміщення, різець, подача, головний кут у плані, допоміжний кут у плані, величина нерівності профілю.

Рис.: 6. Бібл.: 13.

На основании анализа существующих конструкций предложены принципы попарно-асимметричного размещения резцов с корректированной углами в плане в расточных инструментах. Для двух вариантов их конструкторского исполнения получены зависимости для определения подач на резец и на оборот, а также значение корректированных главных (для I варианта) и вспомогательных (для II варианта) углов в плане в зависимости от параметра расчетной высоты микронеровностей профиля. Подано вариант конструкции инструмента по предложенным принципам. Проведены испытания инструмента на токарном станке со специальным приспособлением и схеме работы «на растяжение». Экспериментально установлено оптимальную подачу для конкретных условий обработки. Показано его преимущества в производительности по сравнению с традиционными инструментами.

**Ключевые слова:** расточной инструмент, попарно-асимметричное размещение, резец, подача, главный угол в плане, вспомогательный угол в плане, величина неровности профиля.

Рис.: 6. Библ.: 13.

Basing on the analyses of the available constructions the principles of conjugate-asymmetric allocation of the cutters with the corrected plane angles in the boring tools, have been proposed. Dependencies for finding the cutter and revolution feeds, as well as the values of the plane corrected primary (for the first option) and secondary (for the second option) angles, depending on the parameter of the calculated height of the profile roughnesses, have been obtained for two options of their construction design. The option of the tool design according to the proposed principles has been presented. The testing of the tool on the turning lathe with special device and «tension scheme» operation has been carried out. The maximum feed for certain machining condition has been found experimentally. Its efficiency advantages in comparison with those of conventional ones have been described.

**Key words:** boring tool, conjugate-asymmetric allocation, cutter, feed, plane primary angle, plane secondary angle, profile roughness size.

Fig.: 6. Bibl.: 13.

**Постановка проблеми.** Основним завданням сучасного машинобудування є підвищення продуктивності технологічних процесів виготовлення деталей машин. Одним із напрямків підвищення ефективності наявних технологічних процесів механічного оброблення є розроблення нових конструкцій інструментів, які б забезпечували підвищені вимоги до якісних параметрів та продуктивності. У процесі оброблення глибоких циліндричних отворів однією і найважливіших операцій є розточування, мета якої полягає у забезпеченні таких заданих якісних параметрів внутрішньої циліндричної поверхні, як точність розмірів, мінімальне відхилення дійсної осі отвору від теоретичної, шорсткість та відхилення від круглості. Під час розточування глибоких отворів циліндрів в основному використовуються багатолезові розточувальні інструменти, зокрема розточувальні головки та зенкери, які працюють за методом розточування як «на

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

стиску», так і «на розтяг». Одними із прогресивних конструкцій розточувальних інструментів є інструменти з асиметричним розміщенням лез [2].

Для створення нових конструкцій розточувальних інструментів з асиметричним розміщенням різальних елементів необхідно розробити теоретичну базу та здійснити наукове обґрунтування їх конструкторських та технологічних параметрів, які забезпечували б досягнення певного позитивного ефекту. Це доповнить наявні дослідження в цій галузі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проаналізовано існуючу класифікацію [1] багатолезових металорізальних інструментів (БМІ) для оброблення глибоких циліндричних отворів. У дослідженнях, поданих у роботі [2] показано деякі переваги використання БМІ з асиметричним розміщенням різальних елементів.

Розточувальні інструменти з асиметричним розміщенням різальних елементів за призначенням працюють за методами: поділу припуску; поділу подачі й одночасного поділу припуску та подачі [3; 4].

Одним із представників металорізальних інструментів, що працюють за поділом припуску, є розточний інструмент [5; 6], в якому використовуються два різці, що мають різний радіальний виліг і розміщені один відносно одного під певним кутом. Регулювання на розмір в інструменті [5] здійснюється за допомогою напрямних елементів, які розміщені навпроти кожного із різців, що може спричинити відхилення його осі обертання від осі оброблюваного отвору. Недоліком інструменту [6] є невелика 0,03–0,07 мм глибина різання на чистовому різці, що внаслідок незначного його зношування може ускладнювати процес різання і забезпечення заданої точності.

Представники інструментів, що працюють за методом поділу подачі, подані в [7]. У корпусі розточувальної головки розміщені два різці з однаковим радіальним вильотом та зміщені в поперечному перерізі один відносно одного на певний кут. Недоліком такої конструкції є складність забезпечення однакового радіального вильоту різців.

Металорізальні інструменти, що працюють з одночасним поділом припуску та подачі, представлені у [8–10]. В інструментах [8; 9] використаний один чорновий різець та дворіцевий блок, що виконує чистове оброблення. Особливістю розточувальної головки [10] є використання одного чорнового та трьох чистових різців, розміщення яких визначається центральними кутами, причому їх величина знаходиться з умови зрівноваження радіальних складових сил різання. Основним недоліком інструментів, що працюють за методом одночасного поділу припуску та подачі, як і інструментів з асиметричним розміщенням різців, є складність забезпечення зрівноваження радіальних складових сил різання, що спричиняє у процесі оброблення відхилення дійсної осі отвору від теоретичної.

**Метою цієї роботи** є створення нових конструкцій розточувальних інструментів з попарно-асиметричним розміщенням різальних елементів (РПАР) на основі методики врахування теоретичного профілю обробленої поверхні із забезпеченням мінімальних параметрів шорсткості.

**Виклад основного матеріалу.** Особливістю запропонованої методики конструювання РПАР є використання чотирьох різців зі спеціальним кутовим попарним зміщенням з урахуванням формованих різальними лезами профілю обробленої поверхні і величини подач на різець та оберт, із забезпеченням певної корекції кутів у плані використовуваних різців.

Забезпечення однакової висоти мікронерівностей профілю здійснюється корегуванням значень кутів у плані різців за двома варіантами виконання інструмента (рис. 1): перший – формуванням на головних різальних кромках (ГРК) другого і четвертого різців додаткових фасок і корегуванням на цих фасках головного кута в плані  $\varphi_{OK}$  при однакових значеннях допоміжних кутів у плані і другий – корегування значень допоміжного

кута у плані  $\varphi'_k$  на першому і третьому різцях при однакових головних кутах у плані, та заданих значень допоміжних кутів у плані на другому та четвертому різцях.

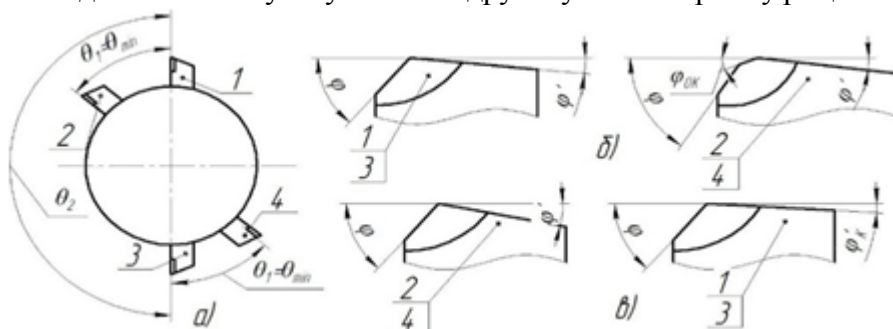


Рис. 1. Схема розміщення різців у перпендикулярному до поздовжньої осі циліндричного отвору перерізі (а); вигляд фрагментів різців у основній площині при першому (б) та другому (в) варіантах виконання інструмента, 1, 2, 3, 4 – відповідно перший, другий, третій та четвертий різці

Здійснимо обґрунтування конструкторських параметрів розточувального інструменту, а саме: центральних кутів розміщення різців у площині, перпендикулярній до поздовжньої осі інструменту; величин допоміжних кутів у плані та подачі на кожному різці інструменту, а також подачі на оберт інструмента (заготовки) залежно від параметра висоти нерівностей профілю для обох його варіантів.

Розв'язання поставленого завдання за першим варіантом виконання інструменту здійснимо наступним чином. Введемо систему координат  $uOx$  (рис. 2). Вісь  $Ox$  спрямуємо вправо – у напрямку протилежному до напрямку подачі, вісь  $Oy$  – вгору.

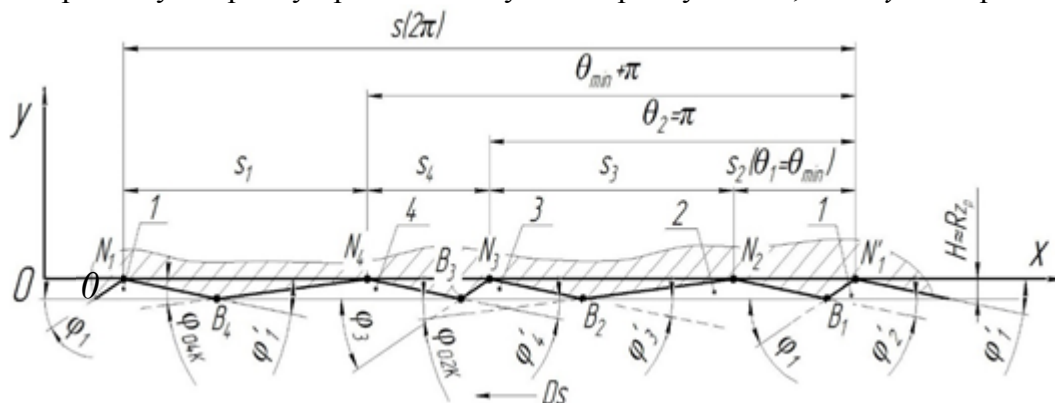


Рис. 2. Схематичне зображення у поздовжньому перерізі розрахункового профілю обробленої поверхні, сформованого інструментом з парно-асиметричним розміщенням різців за першим варіантом (з корегованими головними кутами у плані на допоміжних фасках різців)

Виберемо на осі  $Ox$  довільну точку  $N'_1$ , яка умовно зображатиме вершину першого різця інструменту. Провівши промінь з  $N'_1$  під кутом  $\varphi_0$  (рекомендованим кутом в плані додаткової фаски на ГРК в традиційних інструментах) до осі  $Ox$ , отримаємо положення ГРК першого різця в момент початку здійснення оберту інструментом чи заготовки. Другий різець змістимо відносно першого на кут  $\theta_1 = \theta_{min}$ . Прийmemo, що  $\theta_{min} = 30..60^\circ$ . Тоді, взявши до уваги те, що допоміжний кут в плані  $\varphi'_i$  ( $i=1..4$  – номер різця) на всіх різцях однаковий, а також і те, що величина нерівностей профілю обробленої поверхні  $H \approx Rz_p = const$  та прийнявши значення головного кута в плані на першому різці  $\varphi_1 = \varphi$ , з  $\Delta N_2 N'_1 B_1$ , використавши [11], отримаємо значення подачі на другому різці:  $s_2 = H \cdot (\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi'_2)$ .

Вершину третього різця відносно вершини першого, а також вершину четвертого різця відносно другого (рис. 1, а) для зрівноваження радіальних складових сил різання

змістимо на кут  $\pi$ . Враховуючи, що подача  $s_2$  на другому різці забезпечується таким конструкторським параметром, як його кутове розміщення відносно першого різця  $\theta_1 = \theta_{\min}$ , то величину подачі на третьому різці, використавши співвідношення  $s_2 / s_3 = \theta_{\min} / (\pi - \theta_{\min})$ , знайдемо із залежності

$$s_3 = \frac{s_2 \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}} = \frac{H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi') \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}} \quad (1)$$

Величина цієї подачі на рис. 2 умовно зображена відрізком  $N_2 N_3$ . Величина подачі на четвертому різці  $s_4 = s_2$ . Величину подачі на оберт  $s$  інструмента знайдемо, використавши співвідношення  $s_2 / s = \theta_{\min} / 2\pi$  за формулою

$$s = \frac{s_2 \cdot 2\pi}{\theta_{\min}} = \frac{H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi') \cdot 2\pi}{\theta_{\min}}$$

Для забезпечення умови  $H_1 = Rz_{p1} = H_3 = Rz_{p3} = H = Rz_p = \operatorname{const}$  прийняли значення головних кутів в плані на першому і третьому різцях однаковими  $\varphi_1 = \varphi_3 = \varphi$ . З  $\Delta N_3 N_2 B_2$  (рис. 2) отримали кореговані значення головних кутів в плані (на додаткових фасках) на другому та четвертому різцях, величина яких визначиться за формулою:  $\varphi_{02K} = \varphi_{04K} = \operatorname{arcctg} (s_3 / H - \operatorname{ctg} \varphi')$ . Підставивши у отриману формулу замість  $s_3$  отримане раніше значення (1) та спростивши отримали:

$$\varphi_{02K} = \varphi_{04K} = \operatorname{arcctg} \left( \frac{(\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi') \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}} - \operatorname{ctg} \varphi' \right)$$

Для обґрунтування параметрів інструмента за другим варіантом його конструкторського виконання скористаємось рис. 3.

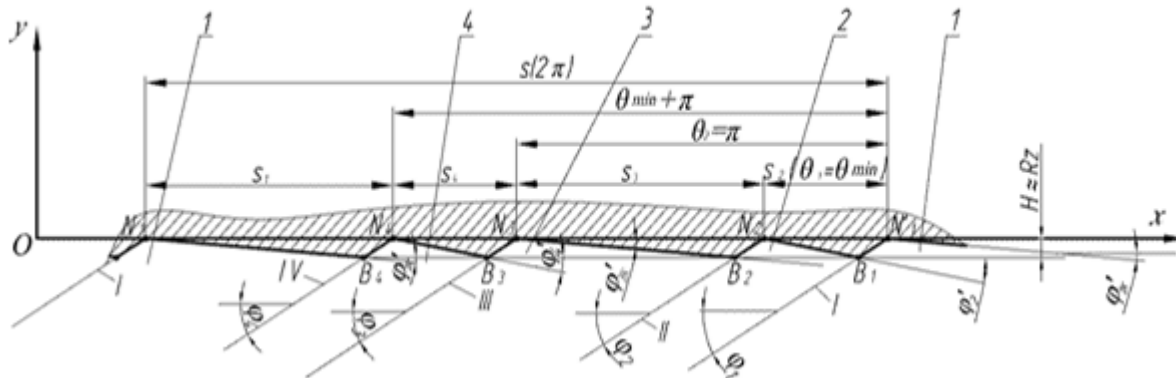


Рис. 3. Схематичне зображення у поздовжньому перерізі розрахункового профілю обробленої поверхні, сформованого інструментом з попарно-асиметричним розміщенням різців за другим варіантом (з корегованими допоміжними кутами у плані різців)

Введемо систему координат  $u\theta x$ . Виберемо на осі  $0x$  довільну точку  $N'_1$ , яка буде зображати вершину першого різця інструмента та провівши промінь з  $N'_1$  під кутом  $\varphi_1$  до осі  $\theta x$ , отримаємо положення ГРК першого різця в момент початку здійснення оборту. Вершину другого різця змістимо по колу відносно першого на кут  $\theta_1 = \theta_{\min}$ , де  $\theta_{\min} = 30 \dots 60^\circ$ . Тоді, прийнявши, що головний кут у плані на всіх різцях однаковий  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_4 = \varphi$ , а також врахувавши задані величину висот мікронерівностей обробленої поверхні, створені різними різцями  $H \approx Rz_p = \operatorname{const}$  та прийнявши значення

допоміжного кута в плані на другому різці  $\varphi'_2$ , з  $\Delta N_2 N'_1 B_1$  отримаємо значення подачі на другому різці:  $s_2 = H \cdot (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi'_2)$ .

Вершини третього різця відносно першого і четвертого відносно другого для зрівноваження радіальних складових сил різання змістимо в поперечному перерізі на кут  $\pi$  (рис. 1, а). Враховуючи, що подача  $s_2$  на другому різці забезпечується таким конструкторським параметром, як центральний кут  $\theta_1 = \theta_{\min}$  подачу на третьому різці, врахувавши співвідношення  $s_2 / s_3 = \theta_{\min} / (\pi - \theta_{\min})$ , визначимо із залежності

$$s_3 = \frac{s_2 \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}} = \frac{H \cdot (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi') \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}}. \quad (2)$$

Величина подачі  $s_3$  на рис. 3 зображена відрізком  $N_2 N_3$ . Подача на четвертому різці інструменту буде  $s_4 = s_2$ . Величину подачі на оберт  $s$  інструменту знаходили зі співвідношення  $s_2 / s = \theta_{\min} / 2\pi$ :

$$s = \frac{s_2 \cdot 2\pi}{\theta_{\min}} = \frac{H \cdot (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi') \cdot 2\pi}{\theta_{\min}}. \quad (3)$$

Для забезпечення умови  $H_2 = Rz_{p2} = H_4 = Rz_{p4} = H_2 = Rz_{p2} = \operatorname{const}$  приймали значення допоміжного кута в плані на четвертому і другому різцях однаковими  $\varphi'_4 = \varphi'_2 = \varphi'$ , а величини допоміжних кутів у плані на першому та третьому різцях визначали з  $\Delta N_3 N_2 B_2$  (рис. 3) за формулою:  $\varphi'_3 = \varphi'_1 = \operatorname{arccctg}(s_3 / H - \operatorname{ctg}\varphi)$ . Підставивши в (3) замість  $s_3$  його отримане значення з (2) та спростивши, отримаємо величину корегованих допоміжних кутів в плані на першому і третьому різцях

$$\varphi'_{3K} = \varphi'_{1K} = \varphi'_K = \operatorname{arccctg}\left(\frac{(\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi') \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}} - \operatorname{ctg}\varphi\right).$$

На основі вищевикладених принципів запропонований інструмент [12; 13], поданий на рис. 4, що складається з корпусу 1, на якому виконані хвостова і робоча частини з чотирма вставними різцями 3, 8, 9, 17 та чотирма напрямними 4, 5, 13, 14 елементами. Напрямні елементи рекомендовано виконувати із полімерного матеріалу, наприклад, поліуретану. Хвостовик, на якому виконана двозахідна різь та циліндрична поверхня служать для співвісного з'єднання інструмента з оправкою. Величина діаметра описаного кола навколо напрямних елементів більше від діаметра оброблюваного отвору на величину 0,6–1 мм. Для підводу мастильно-охолоджувального технологічного середовища (МОТС) в зону різання в корпусі 1 виконаний центральний отвір 2 з вікнами 10, через які подають МОТС до кожного з різців.

Випробування інструменту здійснювалось на ПАТ «Кам'янець-Подільськавтоагрегат» під час оброблення корпусу підсилювача рульової колонки автомобілів марки «КрАЗ» за схемою оброблення «на розтяг» [3; 4] (рис. 5). За цією схемою інструмент 8 закріплюють в оправі 2, яка з'єднана з патроном 1 і процес різання починається з торця А заготовки 7. Для координації напрямлення інструменту використовують люнети 4 і 6, які встановлюють у напрямних стійках 3 і 5. Осьова складова сили різання  $P_x$  створює в оправі 2 нормальні напруження розтягу.

На супорті верстата моделі 1М63 встановлювалась установка, яка показана на рис. 6, а. Установка складається з плити 9 та розміщених на ній механізму 5 базування заготовки, механізму 1 базування інструменту та механізму затиску 6 заготовки.

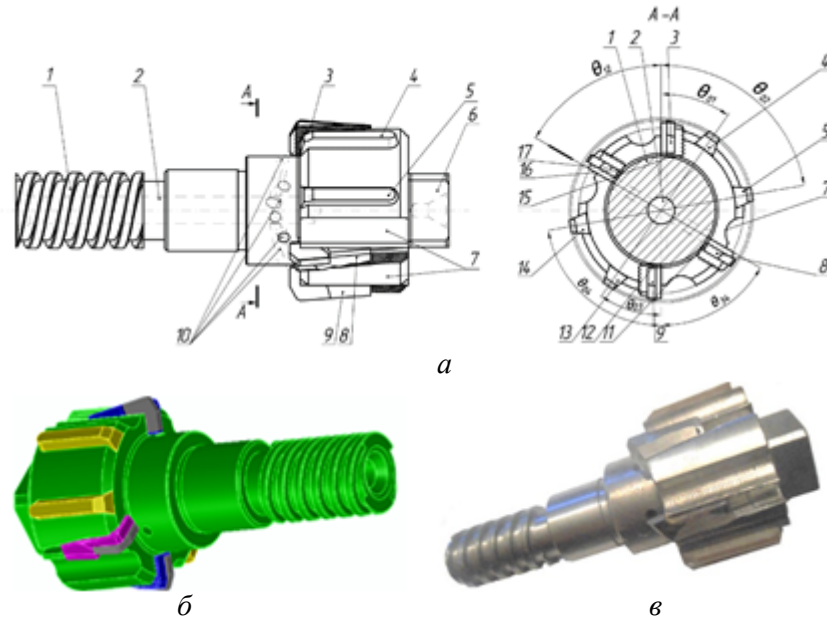


Рис. 4. Конструкція розточувального інструменту з парно-асиметричним розміщенням лез: а – конструктивна схема; б – 3-D модель; в – фотографія

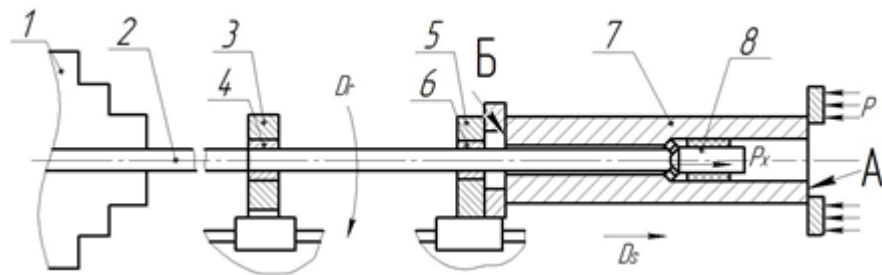


Рис. 5. Схема оброблення глибоких отворів циліндрів «на розтяг»

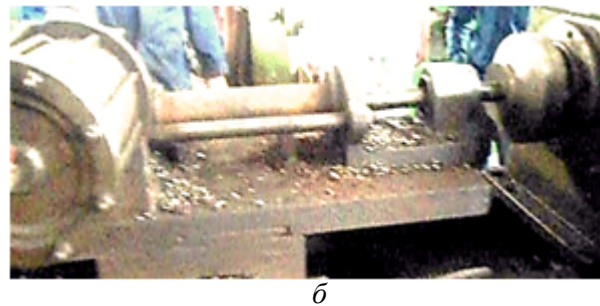
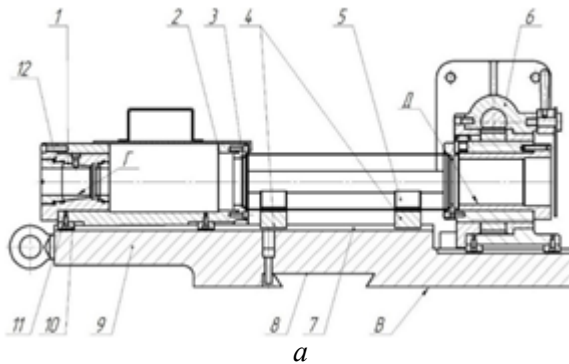


Рис. 6. Установка для оброблення внутрішньої циліндричної поверхні підсилвача рульової колонки автомобіля марки «КРАЗ»: а – принципова конструктивна схема; б – фрагмент установки

У нижній частині плити 9 виконаний паз 8 для з'єднання типу «ластівчин хвіст» установки з поздовжнім супортом (на рис. не показано). Установку встановлено на поздовжньому супорті. Для базування використовується нижня площина В плити 9. Регулювання зазору в з'єднанні типу «ластівчин хвіст» здійснюється з допомогою клину та гвинтів. На верхній плоскій поверхні плити 9 виконані Т-подібні пази 7 для встановлення інших механізмів.

Механізм 5 базування заготовки виконаний у вигляді двох призм 4, які жорстко прикріплені до плити 9 з допомогою гвинтів. Заготовка притискається до втулки 3, що з'єднана з корпусом 2 механізму базування інструменту. У лівій частині плити з боку шпинделя розміщений блок 12, що виконує функцію опори для заготовки та базування

оправки інструменту в процесі оброблення. Блок 12 жорстко встановлений на плиті 9 і зафіксований гвинтами 11 та спеціальними шпонками 10. Основною частиною блока є корпус 2, виконаний у вигляді втулки з вирізаним зверху вікном. Вікно служить для змащування оправки з інструментом.

Випробування проводились наступним чином: заготовка – труба: внутрішній діаметр  $D_6=63$  мм, зовнішній діаметр  $D_3=85$  мм, довжина  $l=400$  мм, матеріал сталь 45 ГОСТ 1050-88, термічна обробка – нормалізація; обладнання – токарно-гвинторізний верстат моделі 1М63 зі спеціальним пристроєм (рис. 6); МОТС – 5%-им розчин емульсолу “Mobil Cutwell -42”.

Режими обробки:

- глибина різання становила  $t=3,5$  мм;
- швидкість різання  $V=110$  м/хв. Частота обертання шпинделя –  $n=500$  об/хв,
- контроль – калібр пробка  $\varnothing 70$  (ПР-НЕ  $\varnothing 70$ Н8), зразки шорсткості.
- значення подач  $s$ , мм/об., при яких здійснювалась обробка були наступними: 0,3; 0,35; 0,4; 0,5. При подачі  $s \geq 0,4$  мм/об шорсткість обробленої поверхні перевищувала задану Ra 1,6. Із врахуванням умови забезпечення максимальної продуктивності та необхідної якості прийняли остаточну подачу  $s=0,35$  мм/об;

До втрати стійкості інструменту оброблено 32 заготовки. За критерій втрати стійкості був прийнятий технологічний критерій, за якого оброблювана поверхня переставала відповідати технічним умовам на виготовлення. Точність оброблення відповідає 8 квалітету. Шорсткість не перевищує Ra 1,6. Продуктивність оброблення підвищується в середньому на 10–15 %.

#### Висновки.

1. Запропонована нова методика конструювання розточувальних інструментів із попарно-асиметричним розміщенням різців.
2. Отримано залежності для визначення параметрів: технологічних (подач на різець та на оберт) та конструкторських (кути розміщення різців та величини корегованих кутів в плані) для інструментів з попарно-асиметричним розміщенням різців, виходячи із забезпеченням заданої розрахункової висоти мікронерівностей обробленої поверхні.
3. На основі запропонованих принципів розроблено конструкцію розточувального інструменту та доведено його ефективність.

#### Список використаних джерел

1. *Кривий П. Д.* Інструментальне забезпечення процесу розточування глибоких отворів тонкостінних циліндрів / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Вісник ЖДТУ. – 2012. – №2. – С. 23–34.
2. *Пуховский Е. С.* Безвибрационное многолезвийное резание / Е. С. Пуховский, Г. Э. Таурит, М. И. Лещенко. – К. : Техника, 1982. – 117 с.
3. *Обработка* глубоких отверстий в машиностроении : справочник / [Жирсанов С. В., Грецишников В. А., Григорьев С. Н., Схиртладзе А. Г.]. – М. : Машиностроение, 2010. – 344 с.
4. *Обработка* глубоких отверстий / [Уткин Н. Ф., Кижняев Ю. Н., Плужников С. К. и др.] ; под общ. ред Н. Ф. Уткина. – Л. : Машиностроение, 1988. – 269 с.
5. *Железнов Г. С.* Расточной инструмент / Г. С. Железнов, Ю. А. Голоднова, С. Г. Железнова // Станки и инструмент. – 2004. – № 8. – С. 39–41.
6. *Карпусь В. Е.* Эффективное растачивание основных отверстий двухрезцовой оправкой / В. Е. Карпусь, Д. А. Миненко // Резание и инструмент в технологических системах. – 2009. – Вып. 76. – С. 63–66.
7. *Пат. 2104827 РФ, МПК<sup>6</sup> В 23 В 29/03.* Расточная головка / Самыкин В. Н., Волков А. Н., Бурмистров Е. В. ; заявитель и патентообладатель Самарский государственный аэрокосмический университет. – №94025997/02; заявл. 12.07.1994 ; опубл. 20.02.1998.
8. *А. с. №1683876 МКП<sup>3</sup> В 23 В 29/03.* Расточная головка для обработки глубоких отверстий / В. Ф. Гилян, (СССР). – №4437654/08; заявл. 08.06.88; опубл. 15.10.1991, Бюл. № 38.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

9. *Обработка* глубоких отверстий. Справочник технолога / [под ред. А. Панова]. – М. : Машиностроение, 2004. – 784 с.

10. *Пат. 72588 UA МПК (2006.01) В 23В 29/03*. Розточувальна головка / Кривий П. Д., Крупа В. В. ; заявник та патентовласник ТНТУ. – u201200904 ; заявл. 30.01.12; опубл. 27.08.2012, бюл. № 16/2012

11. *Кривий П. Д.* Геометричні та математичні моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь при точінні та розточуванні / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Вісник ЖДТУ. Технічні науки, 2010. – Т. 4, № 2. – С. 45–56.

12. *Пат. 67542 UA МПК (2006.01) В 23В 51/10*. Багатолезовий різальний інструмент для протяжного розточування внутрішніх циліндричних поверхонь / Кривий П. Д., Крупа В. В., Кушпіль В. С. ; заявник та патентовласник ТНТУ. – u201109467 ; заявл. 28.07.2011; опубл. 27.02.2012, бюл. № 4/2012.

13. *Пат. 73092 UA МПК (2006.01) В 23В 51/10*. Багатолезовий різальний інструмент для витяжного розточування внутрішніх циліндричних поверхонь / Кривий П. Д., Крупа В. В.; заявник та патентовласник ТНТУ. – u201202467 ; заявл. 01.03.2012 ; опубл. 10.09.2012, бюл. № 17/2012.

**Кривий Петро Дмитрович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна).

**Кривий Петр Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры конструирования станков, инструментов и машин, Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя (ул. Русская, 56, г. Тернополь, 46001, Украина).

**Kryvyi Petro Dmytrovytch** – PhD in Technical Sciences. Associate Professor. Professor of the Design Machine Tools. Tools and Machines Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University (56 Ruska Str., 46001 Ternopil, Ukraine).

E-mail: p.kryvyu@gmail.com

**Кобельник Володимир Романович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна).

**Кобельник Владимир Романович** – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования станков, инструментов и машин, Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя (ул. Русская, 56, г. Тернополь, 46001, Украина).

**Kobelnuk Volodymyr Romanovytych** – PhD in Technical Sciences. Associate Professor of the Design Machine Tools. Tools and Machines Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University (56 Ruska Str., 46001 Ternopil, Ukraine).

E-mail: v\_kobelnuk@ukr.net

**Крупа Володимир Васильович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна).

**Крупа Владимир Васильевич** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры конструирования станков, инструментов и машин, Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя (ул. Русская, 56, г. Тернополь, 46001, Украина).

**Krupa Volodymyr Vasylovytch** – PhD in Technical Sciences. Associate Professor of the Design Machine Tools. Tools and Machines Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University (56 Ruska Str., 46001 Ternopil, Ukraine).

E-mail: konf.tntu@gmail.com

**Яковлев Володимир Григорович** – кандидат технічних наук, головний інженер Волочиського машинобудівного заводу ПАТ «МоторСІЧ» (вул. Незалежності, 1, м. Волочиск, Хмельницька область, 31200, Україна).

**Яковлев Владимир Григорьевич** – кандидат технических наук, главный инженер Волочискского машиностроительного завода ПАО «МоторСІЧ» (ул. Независимости, 1, г. Волочиск, Хмельницкая область, 31200, Украина).

**Yakovlev Volodymyr Grygorovytych** – PhD in Technical Sciences, Chief Engineer of Volochisk Machine-Building Plant PC «MotorSICH» (1 Nezaleshnosti Str., 31200 Volotchysk, Khmelnytsky region, Ukraine).