

УДК 621.95

П.Д.Кривий, В.В.Крупа

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

**КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ БАГАТОРІЗЦЕВИХ РОЗТОЧУВАЛЬНИХ ГОЛОВОК З РАДІУСНИМИ ВЕРШИНАМИ РІЗЦІВ**

*Проаналізовано відомі рекомендації та залежності для визначення конструкторських та технологічних параметрів багаторізцевих розточувальних головок. Запропоновано, виходячи із того, що параметр шорсткості обробленої поверхні визначиться геометрією інструменту і кінематикою його переміщення, два варіанти конструкторського виконання БРГ, які забезпечують в процесі різання одночасний поділ припуску та подачі. Отримано залежності для визначення подач на оберт для чорнового різця і на окремий чистовий різець та глибин різання на чорновому і чистовому проходах в залежності від геометричних параметрів різців для обох варіантів, а також формули для визначення кутових положень чорнового та другого і третього чистових різців відносно першого чистового різця.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Розточування є однією з фінішних і найважливіших операцій оброблення у сучасному машинобудуванні, так як від точності розточених отворів, взаємного їх розміщення, залежить надійність роботи як окремих механізмів, вузлів так і машин в цілому.

Найбільша продуктивність при розточуванні досягається використанням багаторізцевих розточних головок (БРГ). Проте при чистовому і тонкому розточуванні отворів використання БРГ є обмеженим внаслідок недостатнього забезпечення високої точності геометричних розмірів, форми та шорсткості обробленої поверхні. Причиною цього є відсутність достатнього наукового обґрунтування методики проектування нових конструкцій БРГ.

Тому розроблення науково-обґрунтованої методики визначення конструкторсько-технологічних параметрів (КТП) БРГ, а саме: кількість чорнових та чистових різців; їх геометричних параметрів; радіального, осьового і кутового розташування різців; глибин різання на чорнових і чистових різцях; подач на оберт та на окремий чистовий різець, що є основними даними при проектуванні БРГ, які забезпечували б необхідні якісні показники розточувальних отворів є актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В літературних джерелах [1-9] подаються як конструкторські так і технологічні параметри розточувальних інструментів, зокрема БРГ в залежності від їх призначення. В абсолютній більшості літературних джерел відсутні наукові обґрунтування значень конструкторських і технологічних параметрів.

Аналіз існуючих в літературних джерелах рекомендацій щодо встановлення конструкторських параметрів БРГ показав, що їх значення визначаються як на основі рекомендацій, що базуються на практичному інженерному досвіді, так і на основі аналітичних залежностей. В БРГ використовують від двох [3,6,7] до восьми [1] різців. Визначення таких конструкторських параметрів як головний –  $\varphi$  та допоміжний  $\varphi'$  кути в плані, радіус при вершині різця, осьове, радіальне та кутове зміщення різців здійснюється як на основі практичних рекомендацій [1,2,4], так і аналітично [6,7,8,9].

Щодо технологічних параметрів процесу розточування отворів БРГ то в літературі подані їх кількісні значення, які мають рекомендаційний характер. В [2,3] подані рекомендації для визначення глибин різання на різцях, а в [5] глибина різання на різцях БРГ визначається як відношення загального припуску на оброблення до кількості різців. Подача в [5,6] на і-тий різець (переміщення головки в напрямку її поздовжньої подачі відносно заготовки за час її повороту на кут між і-тим та і-1-шим різцями) для випадку рівномірного розміщення по колу n чистових різців при використанні головок поданих рівна  $s_n = s/n$ .

При цьому виявлено, що при визначенні конструкторських та технологічних параметрів БРГ має місце відсутність єдиного підходу, а існуючі рекомендації щодо встановлення їх значень базуються на практичних рекомендаціях і часто є протирічливими. Аналітичні залежності подані лише для визначення якогось одного із параметрів безвідносно, наприклад, до такого якісного параметра обробленої поверхні як шорсткість, чи економічного досягнення максимальної продуктивності.

Дана робота присвячена частковому усуненню прогалін в цій області, розробленню нової методики визначення конструкторсько-технологічних параметрів БРГ на основі комплексного підходу, який враховує геометричні параметри різців та кінематику їх переміщення і базується на рівні як мікрогеометричного (висота мікро нерівностей профілю за десятьма точками  $Rz$ ) так і макрогеометричних (контактні довжини прямолінійних (ПД) і радіусних (РД) ділянок головної (ГРК) та допоміжної (ДРК) різальних кромки різців та радіуси при їх вершинах) параметрів системи: оброблена поверхня-інструменти.

**Мета роботи:** розробити методику визначення конструкторсько-технологічних параметрів БРГ з одночасним забезпеченням поділу припуску та подачі

**Постановка завдань:** 1. Розробити методику розрахунку конструкторсько-технологічних параметрів БРГ, які забезпечують в процесі різання одночасний поділ припуску та подачі; 2. Отримати залежності для визначення конструкторських та технологічних параметрів БРГ з врахуванням радіуса при вершині різців;

**Результати дослідження.** Дослідження конструкторсько-технологічних параметрів здійснено для розточувальної головки, яка реалізує процес оброблення з одночасним поділом припуску на оброблення та подачі, виходячи з забезпечення розрахункового якісного параметра шорсткості  $Rz_p$ . При всіх методах обробки шорсткість поверхні формується як геометрією і кінематикою переміщення робочої частини інструменту [10,11] так і іншими факторами: пластичними і пружними деформаціями в зоні контакту інструменту і оброблюваного матеріалу [10], пружними коливаннями технологічної системи [10,12,13], нерівностями різальних кромки інструменту, які зростають по мірі зношування, що приводить до копіювання профілю інструмента на обробленій поверхні [10], тертям задніх поверхонь інструменту по поверхні різання [13]. При конструюванні БРГ за запропонованою методикою враховуються лише розрахунковий мікропрофіль обробленої поверхні  $Rz_p$ , сформований геометрією різців і кінематикою переміщення при розточуванні БРГ з радіусними вершинами різців, припускаючи при цьому, що складові шорсткості, сформовані іншими вище переліченими факторами є постійними і рівними за величиною для розглядуваних варіантів оброблення. При визначенні  $Rz_p$ , нехтують кутом підйому гвинтової лінії ( $\eta = \arctg(s/\pi D)$ ), траєкторії руху вершини різця, як величиною малості третього порядку. Суть методики визначення КТП для БРГ, які працюють з одночасним поділом припуску на оброблення та подачі, полягає у створенні таких аналітичних залежностей, за допомогою яких при забезпеченні заданої величини  $Rz_p$  і точності обробленої поверхні науково обґрунтовано можна було б визначати взаємне кутове розміщення різців та певні їх геометричні параметри, співвідношення глибин різання та подач на чорновому і чистових різцях, причому кожний із наступних чистових різців, починаючи з другого, розміщений в такому кутовому положенні, що його вершина суміщена з максимальною мікронерівністю створеною проходом попереднього різця, а положення чорнового різця визначається з умови забезпечення зрівноваження діючих радіальних складових сил різання.

Значення головного  $\varphi$  та допоміжного  $\varphi'$  кутів в плані на чистових різцях приймаємо однаковими  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_4$  та  $\varphi'_1 = \varphi'_2 = \varphi'_3 = \varphi'$ . Нерівномірне розташування по колу чистових різців в свою чергу спричинятиме неоднакову висоту мікронерівностей. Для усунення даного недоліку запропоновано два методи, які будуть визначати два варіанти конструкторського виконання БРГ: перший – коректування  $\varphi$  на третьому чистовому різці (ТЧР) –  $\varphi_{3K}$ , другий – коректуванням  $\varphi'$  на ТЧР –  $\varphi'_{3K}$ .

При визначенні КТП БРГ для «гостозаточених»  $r=0$  різців встановлювалась залежність подач на різцях від їх геометричних параметрів ( $\varphi$  та  $\varphi'$ ) [14]. Проте різальні кромки навіть після самого ретельного заточування [15] залишаються заокругленими по деякому радіусу  $r=0,008-0,01$  мм, що, наприклад, для протяжок є основною причиною яка обмежує найменшу товщину зрізаного шару. Цей радіус з'являється про вершині різців при «гострому» заточуванні, або перезаточуванні і є величиною того ж порядку що величина  $Rz_p$ , а значить буде впливати на їх формування. Такий механізм формування шорсткості обробленої поверхні схематично проілюструємо наприкладі однорізевої обробки (рис. 1)

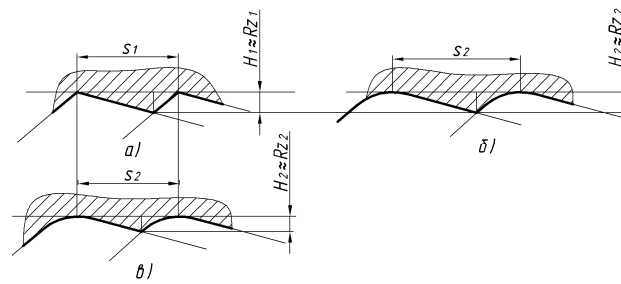


Рис. 1. Схеми формування мікронерівностей різцями: а) з радіусом вершини  $r = 0$ ; б,в) з радіусами вершини  $r \neq 0$

З рис.1(а,в) видно, що при однаковій подачі ( $s_1=s_2$ ) величина мікронерівностей, що утворюється без урахування радіуса при вершині більша, ніж з його урахуванням  $H_1 \approx Rz_1 > H_2 \approx Rz_2$ . Задавшись умовою забезпечення однакової шорсткості ( $H_1 \approx Rz_1 = H_2 \approx Rz_2$ ), і визначивши подачі для обох випадків бачимо (рис. 1 а,б), що  $s_2 > s_1$ , а це означає що у випадку не врахування даного радіуса вершини знижується продуктивність оброблення. Тому визначення геометричних параметрів проведемо для БРГ з врахуванням утворюваного при загострюванні різця радіуса вершини різця  $r$ .

Проілюструємо формування шорсткості оброблюваної поверхні БРГ, яка забезпечує реалізацію поділу припуску та подачі схемою, показаною на рис. 2.

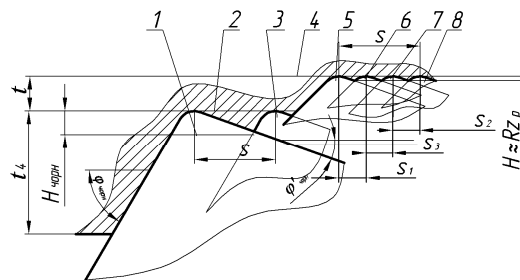


Рис. 2. Загальна схема формування шорсткості обробленої поверхні БРГ, з одночасним поділом припуску та подачі: 3 і 8 та, 6, 7, 5 і 1 – положення чорнового різця і ПЧР у момент початку здійснення оберту та ПЧР, ДЧР, ТЧР і чорнового різця у момент закінчення оберту відповідно; 2, 4– траєкторія руху вершин відповідно чорнового та чистових різців;

Розглянемо схему розміщення чистових різців для випадку коли  $r \neq 0$  та розрахунковий мікропрофіль поверхні за I варіантом конструкторського виконання БРГ, яка подана на рис. 3.

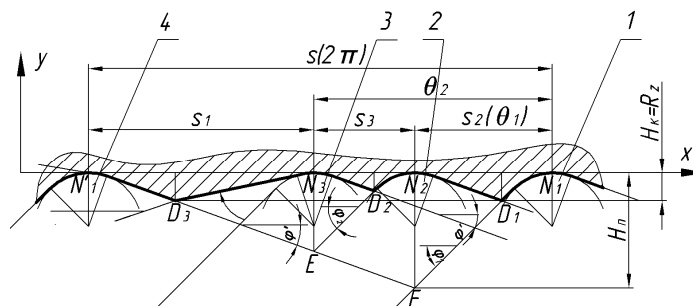


Рис. 3. Схема розміщення чистових різців за I варіантом і розрахунковий мікропрофіль обробленої поверхні: 1,4 – положення ПЧР у момент початку здійснення оберту та у момент закінчення оберту відповідно; 2 – положення ДЧР зміщеного відносно I-го на кут  $\theta_1$ ; 3 – положення ТЧР зміщеного відносно I-го на кут  $\theta_2$ ;

Для визначення таких технологічних параметрів як значення подач на чистових різцях введемо систему координат  $yOx$ . Вісь  $Oy$  направимо вертикально вгору, а вісь  $Ox$  – вправо (в напрямку протилежному напрямку подачі) і вершини всіх чистових різців розмістимо на ній.

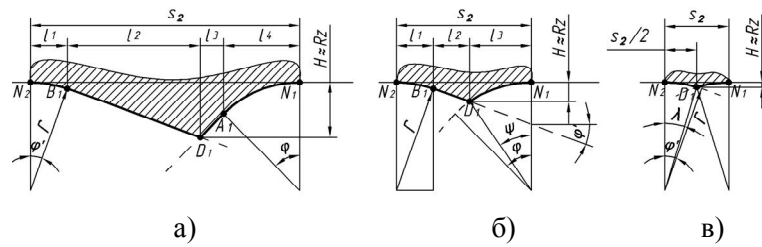


Рис. 4. Варіанти схем профілю обробленої поверхні для визначення подачі  $s_2$ , які утворюються в результаті контактів: а) РД і ПД ГРК ПЧР з поверхнею головного руху (ПГР) та ПД і РД ДРК ДЧР з обробленою поверхнею (ОП); б) РД ГРК ПЧР з ПГР та ПД і РД ДРК ДЧР з ОП; в) РД ГРК ПЧР з ПГР та РД ДРК ДЧР з ОП;

Виберемо довільну точку на осі  $Ox - N_1$  і розмістимо в ній вершину першого чистового різця (ПЧР) у момент початку здійснення оберту. Задавши величиною  $H \approx Rz_p$  і скориставшись [11] величина подачі на другому чистовому різці (ДЧР)  $s_2$  буде визначатись в залежності від  $\varphi$ ,  $\varphi'$ ,  $r$  та  $H$  і їх комбінацій.

Використавши рис. 4 а,б,в та залежності з [11] знайдемо подачу на  $s_2$  на ДЧР. При  $H > r - r \cdot \cos \varphi$  (рис 4а):

$$s_2 = r(\sin \varphi + \sin \varphi') + \frac{H + r \cos \varphi - r}{\operatorname{tg} \varphi} + \frac{H + r \cos \varphi' - r}{\operatorname{tg} \varphi'} \quad (1)$$

при  $r - r \cdot \cos \varphi' < H < r - r \cdot \cos \varphi$ , (рис 4б):

$$s_2 = r \cdot \sin \varphi' + \frac{H - r + r \cos \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi'} + r \cdot \sqrt{1 - ((r - H)/r)^2} \quad (2)$$

при  $H < r - r \cdot \cos \varphi'$  (рис 4в):

$$s_2 = 2r \sqrt{1 - ((r - H)/r)^2} \quad (3)$$

Встановивши вершину ДЧР зліва від ПЧР на величину подачі  $s_2$  і вважаючи, що вершина ДЧР розмістилася в точці максимальної величини нерівностей, утворених проходом ПЧР та провівши відрізок, перпендикулярний напрямку подачі з вершини ДЧР до перетину з ГРК ПЧР (відрізок  $N_2F$ ), розмістимо ПЧР після здійснення оберту таким чином, щоб його ДРК проходила через точку  $F$  (точка перетину ГРК і ДРК ПЧР до і після здійснення оберту), а вершина дотикалась до осі  $Ox$ . Таким чином встановивши положення ПЧР в момент після здійснення оберту, визначимо подачу на оберт  $s$  (рис. 5).

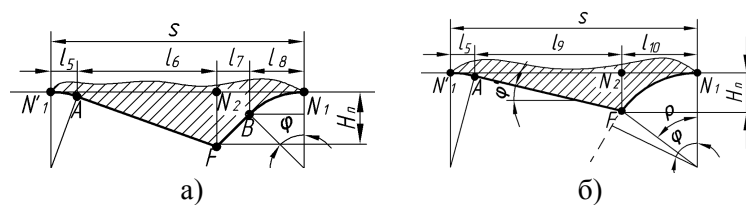


Рис. 5. Фрагмент схеми з рис. 3. для визначення подачі на оберт  $s$  при різних варіантах профілю утвореного в результаті контактів: а) РД і ПД ГРК ПЧР до початку здійснення оберту з ПГР та ПД і РД ДРК ПЧР після здійснення оберту з ОП; б) РД ГРК ПЧР до початку здійснення оберту з ПГР та ПД і РД ДРК ПЧР після здійснення оберту з ОП.

Для цього знайдемо величину  $N_2F = H_n$  (рис. 5 а,б). Отже якщо знайдена за (1), (2) чи (3) величина  $s_2 > r \cdot \sin \varphi$ , то  $H_n = s_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi - r(1 - \cos \varphi) / \cos \varphi$  (рис. 5а): і величина  $s$  визначиться за формулою:

$$s = r(\sin \varphi + \sin \varphi') + \frac{H_n + r \cos \varphi - r}{\operatorname{tg} \varphi} + \frac{H_n + r \cos \varphi' - r}{\operatorname{tg} \varphi'} \quad (4)$$

а якщо  $s_2 < r \cdot \sin \varphi$  то  $H_n = r - r\sqrt{(1 - s_2/r)^2}$  (рис. 5б)

$$s = r \cdot \sin \varphi' + \frac{H_n - r + r \cos \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi'} + r \cdot \sqrt{1 - ((r - H_n)/r)^2}. \quad (5)$$

Перетин ГРК ДЧР і ДРК ПЧР дав нам току Е, з якої опустивши перпендикуляр на вісь Ох отримаємо положення вершини ТЧР (N<sub>3</sub>), а відповідно і положення ДРК ТЧР.

Для визначення величини подач s<sub>1</sub> і s<sub>3</sub> знаходимо за [11] величину H<sub>c</sub> в залежності від утворених профілів(рис. 6 а,б):

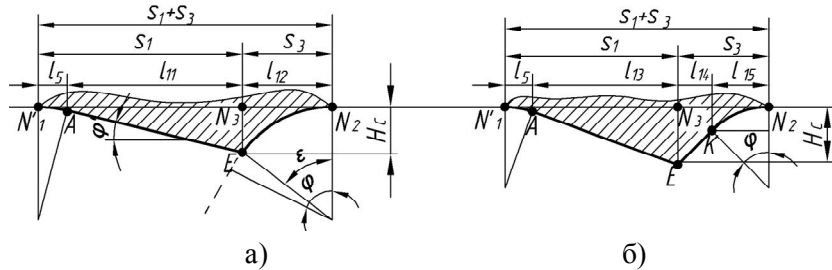


Рис. 6. Фрагмент схеми з рис. 3. для визначення подач на ПЧР та ТЧР s<sub>1</sub> та s<sub>3</sub> відповідно при різних варіантах профілю, утвореного в результаті контактів: а) РД ГРК ДЧР з ПГР та ПД і РД ДРК ПЧР після здійснення обертю з ОП; б) РД і ПД ГРК ДЧР з ПГР та ПД і РД ДРК ПЧР після здійснення обертю з ОП.

Якщо  $2r \cdot \sin \varphi' \leq s - s_2 \leq r(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi' + 1/\sin \varphi')$  ():

$$H_c = r - \frac{\frac{r \cos 2\varphi'}{\cos \varphi'} + (s - s_2) \cdot \operatorname{tg} \varphi' + \operatorname{tg} \varphi' \sqrt{r^2 + r^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi' - \left(\frac{r \cos 2\varphi'}{\cos \varphi'} + (s - s_2) \cdot \operatorname{tg} \varphi'\right)^2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi'}, \quad (6)$$

і величина s<sub>3</sub> визначиться за формулою:

$$s_3 = r \cdot \sin \left( \arccos \left( \frac{r - H_c}{r} \right) \right). \quad (7)$$

При  $s - s_2 \geq r(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi' + 1/\sin \varphi')$  (рис. 5б)

$$H_c = r - \frac{r \cdot (\sin \varphi + \sin \varphi') / \cos \varphi \cdot \cos \varphi' - (s - s_2) \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi'} \quad (8)$$

і s<sub>3</sub> визначиться за формулою:

$$s_3 = \frac{H_c - r + r \cdot \cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi} + r \cdot \sin \varphi \quad (9)$$

Провівши з точки D<sub>1</sub> паралельно до осі Ох пряму до перетину з ДРК ПЧР після здійснення обертю отримаємо точку D<sub>3</sub>, з якої провівши дотичну до радіусної частини ГРК ТЧР знайдемо положення ГРК ТЧР. Таким чином ми забезпечимо задану величину мікронерівностей  $H \approx Rz_p = \text{const}$  після проходження ПЧР, ДЧР і ТЧР. Для визначення кута  $\varphi_{3K}$  скористаємось рис. 7.

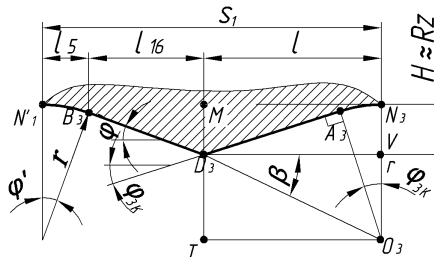


Рис. 7. Розрахункова схема для визначення скорегованого значення скорегованого головного кута в плані на ТЧР  $\varphi_{3K}$

Знайшовши величину  $l$  (рис 7):

$$l = s_1 - (l_5 + l_{16}) = s_1 - r \cdot \sin \varphi' + (H - r + r \cdot \sin \varphi') / \operatorname{tg} \varphi', \quad (10)$$

визначивши кут  $\beta$  :

$$\beta = \operatorname{arctg}(r - H) / l; \quad (11)$$

та розглянувши  $\Delta D_3 O_3 V : D_3 O_3 = l / \cos \beta$  і врахувавши що  $D_3 O_3$  є гіпотенузою в  $\Delta D_3 O_3 A_3$ , відповідно визначимо  $\angle A_3 D_3 O_3 : \angle A_3 D_3 O_3 = \arcsin A_3 O_3 / D_3 O_3 = \arcsin r \cos \beta / l$ .

Оскільки  $\varphi_{3K} = \angle A_3 D_3 O_3 - \beta$ , то:

$$\varphi_{3K} = \arcsin \frac{r \cdot \operatorname{tg} \varphi' \cdot l / \sqrt{1 + \beta^2}}{s_1 - 2r \sin \varphi' - H + r} - \beta. \quad (12)$$

Розглянемо схему розміщення чистових різців для випадку коли  $r \neq 0$  та розрахунковий мікропрофіль поверхні за II варіантом конструкторського виконання БРГ, яка подана на рис. 8.

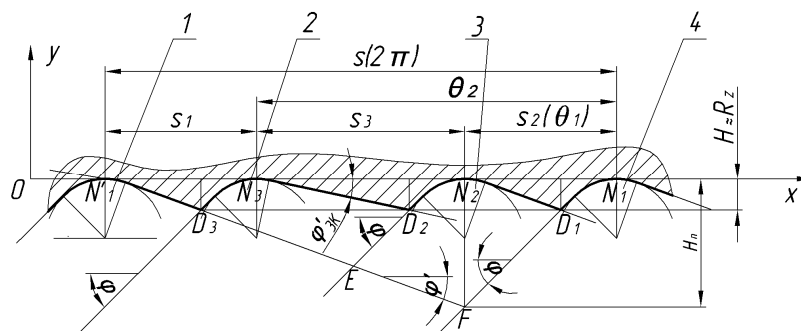


Рис. 8. Схема розміщення чистових різців за I варіантом і розрахунковий мікропрофіль обробленої поверхні: 1,4 – положення ПЧР у момент початку здійснення оберту та у момент закінчення оберту відповідно; 2 – положення ДЧР зміщеного відносно ПЧР на кут  $\theta_1$ ; 3 – положення ТЧР зміщеного відносно ПЧР на кут  $\theta_2$ ;

Для визначення таких технологічних параметрів як значення подач на чистових різцях введемо систему координат  $uOx$ . Вісь  $Ou$  направимо вертикально вгору, а вісь  $Ox$  – вправо (в напрямку протилежному напрямку подачі) і вершини всіх чистових різців розмістимо на ній. Встановлення ПЧР до та після здійснення оберту та ДЧР здійснюємо так як при I варіанті, а тому величини подач  $s_2$  і  $s$  визначаться за формулами відповідно (1), (2), (3) і (4), (5) відповідно. ТЧР встановлюємо таким чином, щоб його вершина  $N_3$  лежала на осі  $Ox$ , а висота мікронерівностей утворених контактуванням його ГРК та ДРК ПЧР після здійснення оберту була рівна заданій  $H \approx Rz_p = \text{const}$ , а шляхом корегування значення допоміжного кута в плані на ТЧР  $\varphi'_{3K}$  добиваємось, щоб висота мікронерівностей, утворених в результаті контактів ГРК ДЧР та ДРК ТЧР теж була рівна заданій. В цьому випадку  $s_1 = s_2$ , а  $s_3 = s - s_2 - s_1$ .

Для визначення величини корегованого допоміжного кута в плані на ТЧР скористаємось рис. 9.

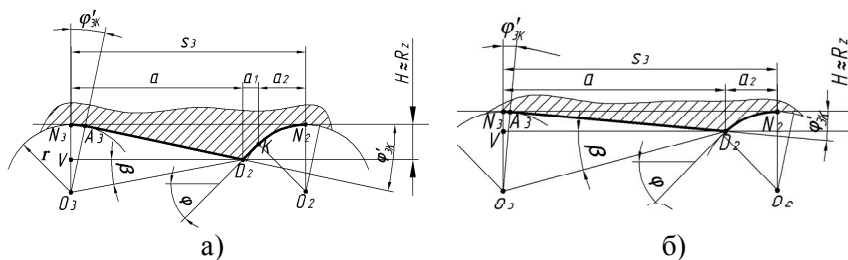


Рис. 9. Розрахункові схема для визначення скорегованого значення допоміжного кута в плані на ТЧР  $\varphi'_{3K}$  при різних варіантах профілю, утвореного в результаті контактів: а) РД і ПД ГРК ДЧР з ПГР та ПД і РД ДРК ТЧР з ОП; б) РД ГРК ДЧР з ПГР та ПД і РД ДРК ТЧР з ОП

Кут  $\beta$  визначиться за формулою (11). З  $\Delta D_3O_3V$ :  $D_3O_3 = l / \cos \beta$ .  $D_3O_3$  є гіпотенузою в  $\Delta D_3O_3A_3$ , відповідно визначимо  $\angle A_3D_3O_3$ :  $\sin \angle A_3D_3O_3 = A_3O_3 / D_3O_3 = \frac{r}{a / \cos \beta} = \frac{r \cos \beta}{a}$

Оскільки  $\angle A_3D_3V = \varphi_{3K} = \angle A_3D_3O_3 - \beta$ , то:

$$\varphi'_{3K} = \arcsin \frac{r \cos \beta}{a} - \beta. \quad (13)$$

де  $a = s_3 - (a_1 + a_2)$  при  $s_3 \geq r(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi' + 1 / \sin \varphi')$  і  $a = s_3 - a_3$  при  $s_3 \leq r(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi' + 1 / \sin \varphi')$ , де  $a_1 = r \cdot \sin \varphi'$ ,  $a_2 = (H - r + r \cdot \sin \varphi') / \operatorname{tg} \varphi'$  (рис. 9),  $a_3 = r \cdot \sin(\arccos(r - H) / r)$

Знаючи значення подач як для I так і для II варіантів можна визначити такі конструкторські параметри головок як кути розміщення різців.

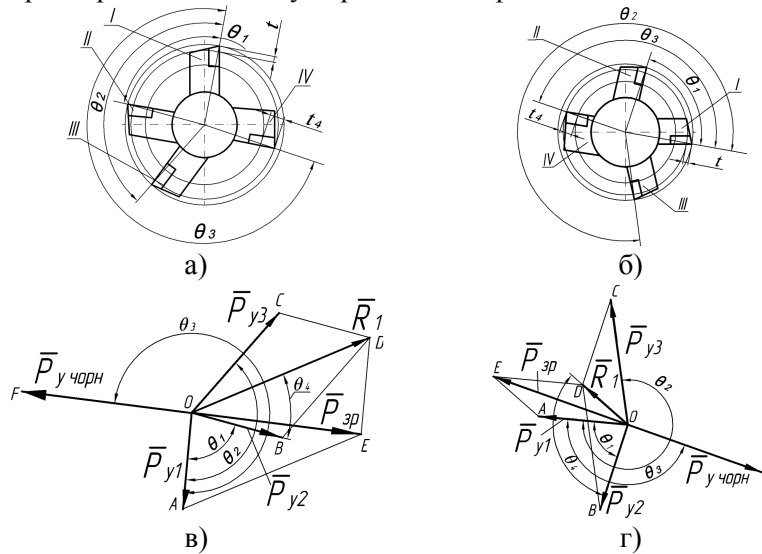


Рис. 10. Схеми розміщення чорнових та чистових різців за I (а) і II (б) варіантами та розрахункові схеми для визначення кутових положень різців за I (в) та II (г) варіантами відповідно: I, II, III і IV – відповідно ПЧР, ДЧР, ТЧР і чорновий різець.

Такі конструкторські параметри БРГ, як центральні кути, які регламентують кругове положення (розміщення) різців визначимо, скориставшись рис. 10. Значення кутів  $\theta_1$  і  $\theta_2$ , які забезпечують відповідно кутове зміщення ДЧР і ТЧР відносно ПЧР визначимо за формулами:

$$\theta_1 = 2\pi \cdot s_2 / s, \quad (14)$$

$$\theta_2 = 2\pi \cdot (s_2 + s_3) / s, \quad (15)$$

Для визначення кутового розміщення чорнового різця відносно ПЧР, а також глибин різання на чорновому та чистових різцях з умови зрівноваження складових сил різання чистових різців  $P_{Yi}$  скористаємось схемами (рис. 10 а,б) та методикою описаною в [14].

Кутове положення чорнового різця відносно ПЧР визначиться за формулою:

$$\theta_3 = \pi + \arcsin \frac{\eta \cdot \sin(\theta_4 + \theta_1)}{\sqrt{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos(\theta_4 + \theta_1)}} \quad (16)$$

де  $\eta = s_2^{2y} \cdot K_{\varphi_2}^2 + s_3^{2y} \cdot K_{\varphi_3}^2 + 2s_2^y s_3^y K_{\varphi_2} K_{\varphi_3} \cdot \cos \theta_2$ , та  $\theta_4 = \arcsin(s_2^y \cdot K_{\varphi_2} \cdot \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta})$

Визначимо глибини різання на чорновому та чистових різцях з умови зрівноваження радіальних сил  $\bar{P}_{зр} = \bar{P}_{Yчорн}$ , де  $P_{Yчорн} = C \cdot t_4^x \cdot s^y \cdot V_4^n \cdot K_{\varphi_4}$  [16]. Врахувавши, що  $V_4 \approx V$ , а  $t_4 = z - t$ , де  $z$  – припуск на оброблення, отримаємо величину глибини різання на чистових різцях:

$$t = \frac{z}{2} \left( \frac{s^y \cdot K_{\varphi_4}}{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos(\theta_4 + \theta_1)} \right)^{1/x} \quad (17)$$

Визначення ТКП дає змогу здійснити проектування БРГ для конкретних умов оброблення при відповідних заданих параметрах.

**Висновки:** 1. Розроблена методика визначення технологічно-конструкторських параметрів, які забезпечують в процесі різання одночасний поділ припуску та подачі з врахуванням радіуса при вершині різців. Розглянуто, виходячи з геометричних та конструкторських параметрів різців два можливих варіанти виконання БРГ.

2. Показані переваги другого варіанту, які полягають в тому, що рівність головних кутів в плані на чистових різцях дає можливість одночасного їх переагострювання, а корегування значення допоміжного кута в плані на ТЧР розширює область застосування БРГ, забезпечуючи більшу продуктивність. Рівність глибин різання на чистових різцях, а також подач на ПЧР та ДЧР забезпечує рівність радіальних складових сил різання що сприяє зрівноважуванню БРГ.

3. Для проектування таких БРГ отримані залежності, які дають можливість встановлювати технологічні (подачі на оберт та на окремий чистовий різець та глибини різання на чорновому та чистових різцях) та конструкторські (взаємне розташування різців та значення корегованих головного (за I варіантом) та допоміжного (за II варіантом) кутів в плані ТЧР) параметрів БРГ.

1. Семенченко И.И. Проектирование металлорежущих инструментов / И.И. Семенченко, В.М.Матюшин, Г.Н. Сахаров.– М.: Машгиз, 1963.–952с.
2. Кочеровский Е.В. Расточная головка для тонкого растачивания отверстий / Е.В. Кочеровский, Г.М. Лихциер, В.А. Ухачев // Станки и инструмент.–1984.–№9.–С. 15-16.
3. Карпуть В.Е. Эффективное растачивание основных отверстий двухрезцовою оправкой / В.Е. Карпуть, Д.А. Миненко // Резание и инструмент в технологических системах.–Харьков: НТУ «ХПИ».–2009.–Вып. 76.–С 63-66.
4. Железнов Г.С. Расточной инструмент / Г.С Железнов, Ю.А.Голоднова, С.Г. Железнова //Станки и инструмент.–2004.–№8.–С. 39-41.
5. А. с. 1814986 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 23 В 29/03. Расточная головка / Ю.Я. Жидеев (СССР). – № 4772085/08; заявл. 21.12.89; опубл. 15.05.1993, Бюл. №18.
6. 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
7. Пат. 2104827 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> В23 В31/03. 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. 1565595 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 23 В 29/03. Многорезцовая расточная головка для обработки глубоких отверстий / В.В. Григорьев, К.В. Воскобой (СССР). – № 4300551/31-08; заявл. 01.06.87; опубл. 23.05.1990, Бюл. №49.
9. А. с. 1053973 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 23 В 29/03. Расточная головка / Н.Ф. Уткин, В.В. Григорьев, Н.С. Силян, М.Н. Коростелев (СССР). – № 3317409/25-08; заявл. 15.07.81; опубл. 15.11.1983, Бюл. №42.
10. Суслов А. Теоретическое описание параметров шероховатости поверхностей при механической обработке / А. Суслов // Труды Второй Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы фундаментальных наук»: в 7 т. / под ред. И.Б. Федорова, К.С. Колесникова, А.О. Карпова. М.: Технофера-Информ, 1994 –.– Т. 5. Симпозиум «Промышленные технологии в современной техносфере». – С 107-109.
11. Кривий П.Д. Геометричні та математичні моделювання формування шорсткості поверхні при точінні та розточуванні / П.Д. Кривий, В.В. Крупа // Вісник житомирського державного технологічного університету. – 2010. –№2. – С. 44-55.
12. Луців І.В. Формування шорсткості і хвилястості поверхні при багатолезовій адаптивній обробці / І.В. Луців // Вісник ТДГУ. — 1999. — Том 4. — № 3. — С. 135-138.
13. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов: учебник / Бобров В.Ф. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
14. Кривий П.Д. Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів / Кривий П.Д., Крупа В.В., Продан В.І. // Вісник ТДГУ. — 2010. — Том 15. — № 1. — С. 147-156. — (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).