

УДК 621.95

П. Кривий, канд. техн. наук; В. Крупа; В. Продан

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ ТОНКОСТІННИХ ЦИЛІНДРІВ

**Резюме.** Розглянуто конструкторсько-технологічні передумови підвищення точності внутрішніх циліндричних поверхонь, які при дотриманні певних технічних обмежень реалізуються створенням оригінального технологічного та інструментального оснащення: спеціального трикулачкового патрона і багаторізевої розточної головки, використання якої забезпечує одночасний поділ ширини і товщини зрізаного шару і задану шорсткість обробленої поверхні. Запропоновано залежності для визначення основних конструкторських параметрів технологічного та інструментального оснащення.

**Ключові слова:** глибокий отвір, подача, тонкостінний циліндр, шорсткість.

P. Kryvyy, V. Krupa, V. Prodan

## DESIGN-MANUFACTURING BACKGROUNDS OF RAISING THE QUALITY OF THIN WALL CYLINDER DEEP HOLES

**The summary.** Design-manufacturing backgrounds of raising accuracy of inner cylinder surfaces which are obtained due to some engineering limitations while creating original manufacturing and tool equipment ( special three-jaw chuck) and multiple-tool boring head, which operates simultaneously dividing the width and the thickness of the cutting layer and providing the necessary rigidity of the treated surface, are suggested. Dependencies for finding the main construction parameters of the manufacturing equipment and tools, are obtained.

**Key words:** deep holes, serve, obtaining thin wall cylinder, roughness.

### Умовні позначення:

$b_1$  – проекція дуги контакту кулачка і заготовки на напрям перпендикулярний напрямку дії сили базування, мм;  
 $C_4$  і  $C_5$  – коефіцієнти пропорційності, що враховують фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу при визначенні крутного моменту та сили різання відповідно;  
 $D$  – діаметр розточної головки, мм;  
 $D_m$ ,  $D_{cp}$  і  $d$  – зовнішній, середній і внутрішній діаметри заготовки відповідно, мм;  
 $d_{вк}$  – внутрішній діаметр товстостінного кільця, мм;  
 $E$  і  $E_1$  – модулі пружності матеріалів кулачка і заготовки відповідно, МПа;  
 $F_b$ ,  $F_z$ ,  $F_{зк}$  – зусилля базування на кулачку патрона, затиску заготовки при її обробленні та затиску кулачків при їхньому розточуванні відповідно, Н;  
 $HV$  – твердість за Брінелем;  
 $K_3$ ,  $K_{np}$ ,  $K_\phi$  – коефіцієнт запасу, поправочний приведений коефіцієнт для визначення моменту, приведений поправочний коефіцієнт на головний кут у плані відповідно;  
 $L_K$  – довжина кулачків, мм;  
 $l$  – довжина заготовки, мм;  
 $M$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  та  $M_{зм}$  – сумарний момент, що виникає у процесі розточування, моменти на першому чистовому, другому чистовому і чорновому різцях розточної головки та необхідний момент затиску відповідно Нмм;  
 $P_x$ ,  $P_{x1}$  і  $P_{x2}$  та  $P_{x3}$  – осьові складові сил різання сумарна, на першому і другому чистових та на чорновому різцях відповідно, Н;  
 $P_y$ ,  $P_{y1}$  і  $P_{y2}$ , та  $P_{yc}$  – радіальні складові сил різання сумарна, на першому і другому чистових та на чорновому різцях відповідно, Н;  
 $P_z$ ,  $P_{z1}$  і  $P_{z2}$  та  $P_{z3}$  – тангенціальні складові сил різання сумарна, на першому і другому чистових та на чорновому різцях відповідно, Н;

$p$  – загальна величина припуску, мм.

$R$  і  $R_{тр}$  та  $R_{к}$  – внутрішній і зовнішній радіуси заготовки та радіус розточки кулачків відповідно, мм;

$Ra$  – середнє арифметичне значення відхилення профілю, мкм;

$Rz \approx H$  – висота нерівностей профілю за десятьма точками, мкм;

$s$  – подача на оберт, мм/об;

$s_1$  та  $s_2$  – подачі на зубець на першому та другому чистових різцях відповідно, мм/зуб;

$t$  і  $t_1$  – глибина різання на чорновому та чистових різцях відповідно, мм;

$x_2, y_2, n_2$  – показники степенів, які характеризують вплив  $t, S$  і  $HB$  на  $P_{уз}$ ;

$\delta$  – товщина стінки заготовки, мм;

$\varepsilon$  – радіальний зазор, мм;

$\theta_1$  і  $\theta_2$  – центральні кути, що визначають кутові положення першого і другого чистових різців розточної головки відповідно, град;

$\mu_1$  і  $\mu_2$  – відповідно коефіцієнти Пуассона матеріалів кулачка і заготовки;

$[\sigma]_{зм}$  – допустима границя міцності на зминання, МПа;

$2\varphi_и$  – кут контакту заготовки (труби) і циліндричної поверхні кулачка, град;

$\varphi$  і  $\varphi'$ , та  $\varphi_1$  і  $\varphi'_1$ , і  $\varphi_2$  і  $\varphi'_2$  – головні та допоміжні кути в плані чорнового та 1-го і 2-го чистового різців відповідно, град.

**Постановка проблеми.** Деталі машин типу тонкостінних циліндрів у даний час широко використовують передусім, в автомобільній промисловості. Це насамперед гільзи двигунів внутрішнього згорання, корпусні деталі амортизаторів та гідропідсилювачів рульових механізмів автомобілів.

Термін „глибокий отвір” на даний час має різне тлумачення і базується в основному на поділі отворів на глибокі й звичайні за відношенням довжини отвору до його діаметра, при цьому цей умовний поділ визначається відношенням від трьох [2] до десяти [3]. Тонкостінним циліндром вважають такий, у якого всі 3 виміри, довжина і розміри поперечного січення – величини різного порядку [4].

У цій роботі в результаті аналізу існуючих досліджень здійснено спробу подати конструкторсько-технологічні підходи створення нового типу технологічного та інструментального оснащення.

Створення, аналіз та реалізація конструкторсько-технологічних передумов підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів науковим обґрунтуванням параметрів спеціального трикулачкового патрона та багаторізевої розточної головки, яка забезпечує одночасний поділ товщини і ширини зрізаного шару, розширює та доповнює існуючі дослідження і є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Якість глибоких отворів тонкостінних циліндрів визначають одиничними показниками, які є кількісним виміром кожної із сукупних властивостей продукції, що зумовлюють її придатність задовольнити певні потреби, відповідно до свого призначення.

Одиничними показниками якості глибоких отворів тонкостінних циліндрів є: точність геометричних розмірів (діаметри внутрішньої і зовнішньої циліндричних поверхонь, довжина (глибина) отвору; точність геометричної форми (відхилення від круглості, конусність, відхилення від прямолінійності твірної циліндричних поверхонь); радіальне биття; різностінність стінок циліндрів; відхилення дійсної осі отвору від теоретичної; шорсткість; залишкові технологічні поверхневі напруження.

Дослідженню процесу оброблення глибоких отворів присвячено значну кількість наукових праць. Серед дослідників цієї проблеми необхідно відзначити А.М. Дальського [1], С.А. Картавова [5], Р.К. Мешерякова [6], В.А. Светлицького [7], М.А. Мінкова [8], В.Н. Подураєва [9], Н.Д. Троїцького [10], Н.Ф. Уткіна [11], С.С. Костюковича [12], Ф.В. Гурина [13] та ін.

Дослідження А. М. Дальського присвячені найзагальнішим принципам технології оброблення деталей, класу „пустотілі циліндри”, в яких відзначено особливості оброблення тонкостінних циліндрів високої точності (гільз). У роботі [1] подано три способи досягнення концентричності внутрішніх і зовнішніх циліндричних поверхонь, висвітлено похибки базування, установки, оброблення, розкрито причини

їхнього виникнення, а також принципи побудови поточних і автоматичних ліній для оброблення пустотілих циліндрів. Наукові праці С.С. Костюковича, Н.Д. Троїцького, Н.Ф. Уткіна в основному присвячені дослідженню процесу свердління глибоких отворів і конструкції свердл.

Цікавими є дослідження В.Н. Подураєва [9], присвячені процесу вібраційного різання при свердлінні глибоких отворів, формуванню шорсткості поверхні, особливо при різнооброблюваності матеріалу, а також впливу швидкості різання на відведення свердла. Необхідно відзначити значний вклад Р.К. Мещерякова [6] в галузі дослідження точності свердління глибоких отворів. Він встановив, що за схемою оброблення при якій інструмент обертається, діаметральна похибка менша, а зміщення осі отвору більше, ніж при схемі, при якій обертається деталь.

Аналіз існуючих літературних джерел виявив суперечливі думки щодо впливу окремих факторів на точність оброблення, наприклад, на даний час немає одностайної думки про доцільність створення свердел із зворотною конусністю [2, 10].

Здійснений огляд і аналіз показав, що в основному теоретико-експериментальні дослідження присвячені саме свердлінню і розточуванню глибоких отворів та розроблено конструкції спеціальних свердел і розточних головок.

**Мета роботи.** Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищення якості оброблення внутрішньої циліндричної поверхні глибоких отворів тонкостінних циліндрів розточуванням.

**Постановка завдання.** Проаналізувати існуючі дослідження, присвячені забезпеченню якості обробки глибоких отворів; розробити інженерні підходи для проектування технологічного та інструментального оснащення, а саме – 3-кулачкового спеціального патрона, і розробити методику визначення основних конструкторсько-технологічних параметрів багаторізцевої розточної головки.

**Результати дослідження.** Створення спеціального трикулачкового патрона базується на технологічному маршруті оброблення тонкостінних циліндрів, на виборі та збереженні принципу постійності й сумісності баз. При цьому слід виконувати певні вимоги: циліндричні поверхні заготовки, які є технологічними базами, не мають сприймати затискних зусиль при закріпленні заготовки; параметри базуючих поверхонь патрона (кулачків) мають бути розраховані так, щоб при базуванні забезпечувалася максимальна площа їхнього контакту із зовнішньою циліндричною поверхнею заготовки; затискати заготовку (трубу) необхідно по її торцях; циліндричні базуючі поверхні кулачків слід створити розточуванням у їх затиснутому стані.

Окрім цього, необхідно врахувати технічні обмеження, а саме: сила затиску має обмежуватися міцністю на зминання торцевих поверхонь заготовки, які сприймають затискні зусилля; сила затиску не має перевищувати критичну силу Ейлера, тобто циліндр (стержень) не має втрачати стійкості, а звідси й елементи режиму різання та силу різання слід визначити, врахувавши наведені вище обмеження. Також вважаємо, що перша операція механічного оброблення – фрезерування торців, а друга – токарна – обточування зовнішньої циліндричної поверхні, в якій заготовка-труба розташована на внутрішній циліндричній поверхні в центрах (передній підпружинено-плаваючий), а за рахунок торцевих з рифленням поверхонь здійснюється затиск і передача крутного моменту.

Для реалізації поставлених передумов визначимо радіус розточки кулачків патрона. Звернемося до розрахункової схеми, зображеної на рис.1.

Із розрахункової схеми (рис.1), використавши  $\Delta O_m AB$ , визначимо кут контакту  $2\varphi_{\text{ц}}$  труби 1 з циліндричною поверхнею кулачка 2, знаючи  $R_{mp}$  і задавшись  $b_1$ :

$$2\varphi_{\text{ц}} = 2 \arcsin(b_1 / 2R_{mp}). \quad (1)$$

З іншого боку, задавшись силою  $F_{\delta}$ , яка забезпечує тільки базування заготовки, а не її затиск, і використавши [14], запишемо значення  $2\varphi_{\text{ц}}$  з умови контактної жорсткості:

$$2\varphi_u = \operatorname{arctg} 2\sqrt{(v_1 + v_2) \cdot F_3 / \varepsilon}, \quad (2)$$

де  $v_1 = (1 - \mu^2) / \pi \cdot E$ ,  $v_2 = (1 - \mu_1^2) / \pi \cdot E_1$ .

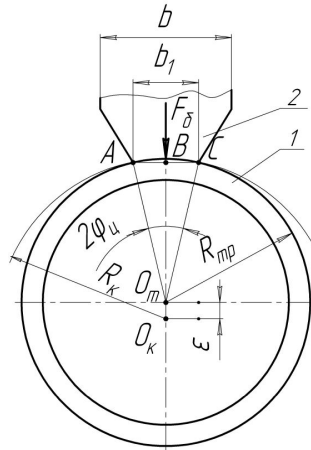


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення радіуса кулачка  $R_k$ , який створюється розточкою:  
1 – заготовка (труба); 2 – кулачок 3-кулачкового патрона

У випадку, коли кулачки і труба виготовлені з одного матеріалу, рівняння (2) набуде вигляду

$$2\varphi_u = 2\operatorname{arctg} 2\sqrt{2(1 - \mu^2)F_6 / \pi E \varepsilon}. \quad (3)$$

Необхідно відзначити, що зусилля базування  $F_6$  не передбачає закріплення (затиску) заготовки в патроні, при якому виникло б спотворення першопочаткової форми і внаслідок технологічної спадковості не забезпечилась би задана точність відхилень від круглості. Існуючі залежності [5, 15] розрахунку зусиль затиску заготовки в трикулачковому патроні з умов недопущення її прокручування у кулачках, вивернення із кулачків чи зсуву її уздовж осі в процесі оброблення не можна використати для визначення  $F_6$ . При обробленні високоточних циліндрів слід оцінити похибки, які можуть виникнути внаслідок зусилля базування. Враховуючи те, що кулачки розточені за певним радіусом, можемо прийняти [1], що зусилля базування відповідає рівномірно-розподіленому радіальному навантаженню з інтенсивністю  $q_0 = 3F_6 / 2\pi R_k$ . Задавшись величиною зміни форми циліндричної оболонки (радіальним переміщенням –  $W$ ), за напівбезмоментною теорією циліндричних оболонок Власова [1] можна визначити  $F_6$ , яке буде вихідним даним для визначення конструктивних параметрів трьохкулачкового патрона.

Визначивши  $F_6$  та врахувавши, що  $\arcsin b_1 / 2R_{mp} = \operatorname{arctg} b_1 / 2R_{mp} \sqrt{1 - b_1^2 / R_{mp}^2}$  і порівнявши (1) та (3), отримуємо рівняння, з якого визначимо радіус кулачка

$$R_k = \frac{32F_6(R_{mp}^2 - b_1^2)(1 - \mu) + b_1^2 \pi E R_{mp}}{b_1^2 \pi E}. \quad (4)$$

Схему розточки кулачків радіусом  $R_k$  зображено на рис. 2а. Для реалізації цієї схеми необхідно, щоб кулачки мали довжину  $L_K = (1,5 - 3,0) \cdot R_{mp}$  і в середній частині кулачків була б виточка шириною  $L_6 = 1/3 L_K$ . У цю виточку встановлюють товстостінне кільце, в якого внутрішній діаметр  $d_{вк} > R_{mp}$ . Затискають у патроні кільце зусиллям  $F_{зк}$  і в такому стані здійснюють розточку кулачків, забезпечивши радіус  $R_k$ .

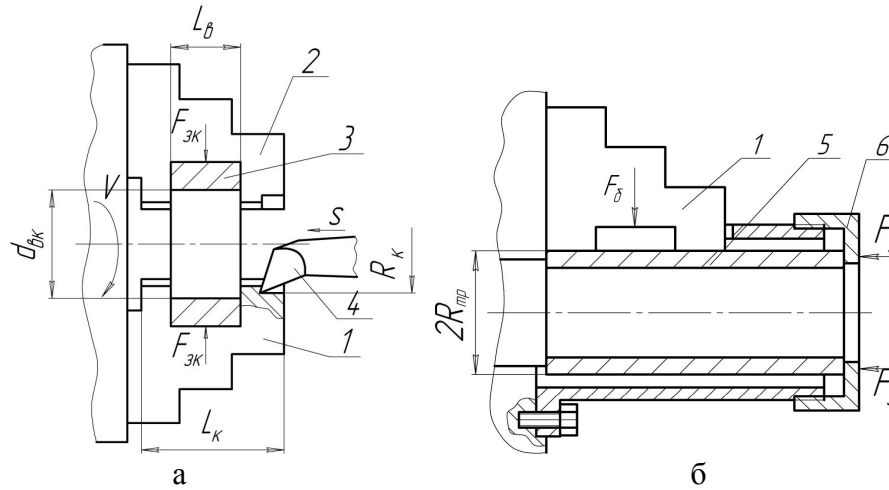


Рисунок 2 – Схеми розточки кулачків (а) і закріплення заготовки в патроні (б); 1,2 – кулачки; 3 – товстостінна втулка; 4 – розточний різець; 5 – оброблювана заготовка; 6 – затискна гайка; 7 – труба

У процесі розточування виникає момент  $M = 10P_z D/2$ , Н·мм. Використавши [16], визначимо силу  $P_z$ , а врахувавши, що розточна головка має 3 різці, отримаємо значення моменту різання:

$$M = \sum_{i=1}^3 M_i = M_1 + M_2 + M_3 = C_4 \cdot t^{X_1} \cdot s^{Y_1} \cdot HB^{n_1} \cdot K_{np} \cdot D/2 + C_4 \cdot t_1^{X_1} \cdot s_1^{Y_1} \cdot HB^{n_1} \cdot K_{1np} \cdot D/2 + C_4 \cdot t_1^{X_1} \cdot s_2^{Y_1} \cdot HB^{n_1} \cdot K_{2np} \cdot D/2 = C_4 \cdot HB^{n_1} \cdot D/2 \left( t^{X_1} \cdot s^{Y_1} \cdot K_{np} + t_1^{X_1} (s_1^{Y_1} \cdot K_{1np} + s_2^{Y_1} \cdot K_{2np}) \right),$$

який має з одного боку урівноважуватися моментом тертя, що виникає від сили затиску  $F_3$ , тобто

$$F_3 \geq \frac{C_4 \cdot HB^{n_1} \cdot D/2 \left( t^{X_1} \cdot s^{Y_1} \cdot K_{np} + t_1^{X_1} (s_1^{Y_1} \cdot K_{1np} + s_2^{Y_1} \cdot K_{2np}) \right)}{2fD_{cp} K_3}, \quad (5)$$

а з іншого – має бути дотримана умова збереження стійкості тонкостінного циліндра при незащемлених торцях, яка виражається залежностями [9]:

– для недовгих циліндрів

$$F_3 < P_{кр} = \frac{\pi E \delta}{\sqrt{3(1 - \mu^2)}}; \quad (6)$$

– для довгих циліндрів, коли довжина  $l > (10 \dots 15) \sqrt{R \delta}$ :

$$F_3 < P_{кр} = \frac{\pi E R^3 \delta}{(\mu l)^2}. \quad (7)$$

Для практичних розрахунків за формулами (6) та (7) потрібно визначити  $P_{кр}$  і прийняти менше значення. Необхідно також врахувати умову міцності на зминання

$$\sigma = \frac{4F_3}{\pi(D_m^2 - d^2)} \leq [\sigma]_{зм}. \quad (8)$$

Формування шорсткості обробленої поверхні окремим різцем розглянемо суто із геометричних міркувань для випадку, коли радіус при вершині різця дорівнює нулю, не враховуючи при цьому певних пружних та залишкових пластичних деформацій, які виникають при формуванні шорсткості.

Схеми формування шорсткості, при обробленні внутрішньої циліндричної поверхні, подано на рис.3.

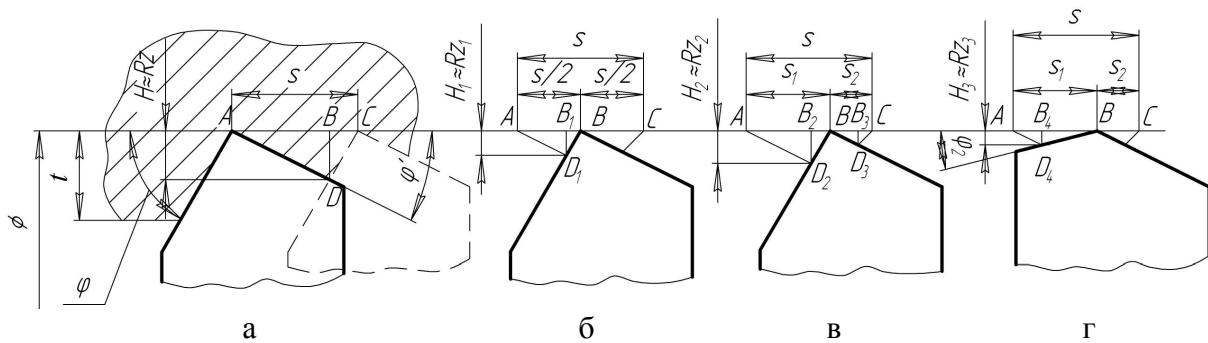


Рисунок 3 – Схеми формування шорсткості оброблюваної циліндричної поверхні: а) принципова схема; б) багаторізевою розточною головкою з симетричним розміщенням різців; в) з поділом товщини зрізаного шару і несиметричним розміщенням різців; г) з поділом товщини зрізаного шару, несиметричним розміщенням різців та зміною головного кута в плані другого різця

Із рис. 3 а висоту мікронерівностей  $BD=H \approx Rz$  визначимо із  $\triangle ABC$  і  $\triangle BCD$ , використавши теорему синусів:

$$H \approx Rz = 10^3 \cdot s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi' / \sin(\varphi + \varphi'). \quad (9)$$

Аналіз залежності (9) показує, що зменшення  $Rz$  можна досягнути двома шляхами: перший – зменшенням подачі  $s$ ; другий – зменшенням значень кутів  $\varphi$  і  $\varphi'$ . У принципі, якщо  $\varphi=0$ , то в цьому випадку неможливий процес різання, а при  $\varphi=90^\circ$  практично немає складової сили різання  $P_y$ , що негативно впливає на самоцентрування розточної головки в отворі й на точнісні параметри обробленої поверхні.

Значення  $\varphi'$  в існуючих інструментах для оброблення отворів, особливо у зенкерах, рекомендують  $0 \leq \varphi' \leq 2^\circ$ . Малі значення  $\varphi'$  в інструментах для оброблення отворів з одного боку забезпечують низьку шорсткість оброблюваної поверхні, а з іншого – сприяють виникненню значних сил тертя і високих температур різання, що призводить до температурного розширення інструмента, яке може вийти за допустимі розміри. Це підтверджує практика використання протяжних чотирьохзубих зенкерів ( $\varphi'=0,5^\circ$ ) для оброблення внутрішньої циліндричної поверхні діаметром 70 мм, довжиною 360 мм корпусу гідропідсилювача рульової колонки для автомобілів КРАЗ на Кам'янець-Подільському автоагрегатному заводі. Для зменшення впливу температурного розширення інструменту на діаметр оброблюваної поверхні використовують комплект протяжних зенкерів із шести штук. Після кожного проходу, який здійснюється з інтенсивним під тиском охолодженням інструмента, контролюють діаметр зенкера і при необхідності замінюють, ставлять на охолодження, а процес оброблення здійснюють іншим, охолодженим зенкером. При глибоких отворах, коли відношення довжини до діаметра більше 10, такий інструмент для чистового оброблення з  $\varphi'=0..2^\circ$ , наприклад, протяжний зенкер, не може бути використаний, бо, незважаючи на охолодження, унаслідок температурного розширення діаметр обробленого отвору вкінці оброблення може вийти за допустимі границі, а сам отвір набуде конічної форми. Тому для інструменту, який би обробляв глибокі отвори, значення  $\varphi'$  має бути значно більшим за рекомендовані, наприклад, для зенкерів.

Зниження  $Rz$  можна також досягнути не тільки зменшенням  $s$ , а встановленням кількох симетрично розміщених по колу різців розточної головки. Тоді висота нерівностей профілю буде:  $H_1 \approx Rz_1 = 10^3 \cdot s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi' / 2 \sin(\varphi + \varphi')$  (див.рис.3б).

Пропонуємо створити інструмент – багаторізевою розточну головку, конструкція якої забезпечувала б її центрування в отворі з  $\varphi < 90^\circ$  і  $\varphi' = 20..45^\circ$ , а зменшення  $Rz$  здійснювалось би завдяки поділу товщини та ширини зрізаного шару спеціальним розміщенням по колу різців головки.

Схематично формування шорсткості при роботі розточної головки з поділом товщини зрізаного шару зображено на рис. 3 в. Поділ товщини зрізаного шару, а отже, і розміщення другого чистового різця розточної головки щодо першого, здійснюється так, щоб вершина цього різця встановлювалась у точці  $B$  (див. рис. 3 в). При цьому поперечний переріз профілю шорсткості, схематично зображений  $\triangle ADC$  (див. рис. 3 а), трансформується у профіль з поперечним перерізом, зображеним двома трикутниками  $\triangle AD_2B$  і  $\triangle BD_3C$ . Оскільки  $B_2D_2 > B_3D_3$ , то і шорсткість визначено величиною  $B_2D_2$ . Розглянувши  $\triangle AD_2B$  і  $\triangle AD_2B_2$ , отримаємо:

$$B_2D_2 = H_2 \approx Rz_2 = 10^3 \cdot s \cdot \sin^2 \varphi_2 \cdot \cos \varphi'_1 \cdot \sin \varphi'_1 / \sin^2(\varphi_2 + \varphi'_1), \quad (10)$$

а розглянувши  $\triangle BD_3B_3$  і  $\triangle CD_3B_3$ , матимемо

$$B_3D_3 = H_3 \approx Rz_3 = 10^3 \cdot s \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin^2 \varphi'_2 / \sin^2(\varphi_1 + \varphi'_2). \quad (11)$$

Встановивши за [17] рекомендовані значення  $Ra$  для чистового розточування, наприклад, заготовок із сталі, і виразивши їх через  $Rz$ , використавши (11), отримаємо діапазон значень подач:

$$0,02 \leq s \leq 0,125 \text{ мм/об.} \quad (12)$$

З рис. 3в очевидно, що  $B_2D_2 > B_1D_1 > B_3D_3$ , а отже,  $Rz_3 < Rz_1 < Rz_2$ . Для забезпечення однакової шорсткості оброблюваної поверхні як першим, так і другим чистовими різцями, тобто умови  $Rz_2 = Rz_3 < Rz_1$  і  $B_2D_2 = B_4D_4 = B_3D_3$  (рис. 3б, в, г), необхідно скорегувати значення головного кута в плані  $\varphi_2$  на другому чистовому різці розточної головки (див. рис. 3г). З  $\triangle AD_4B$ , використавши теорему косинусів:  $D_4B = AD_4^2 + s_1^2 - 2 \cdot AD_4 \cdot s_1 \cdot \cos \varphi'$  і врахувавши, що  $AD_4 = H_3 / \sin \varphi'_1$  та визначивши подачу на першому чистовому різці

$$s_1 = s \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi'_2 / \sin(\varphi_1 + \varphi'_2), \quad (13)$$

отримаємо значення кута  $\varphi_2$ :

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{H_3}{\sqrt{\frac{H_3^2}{\sin^2 \varphi'_2} + s^2 \cdot \frac{\sin^2 \varphi_1}{\sin^2(\varphi_1 + \varphi'_2)} - \frac{2H_3 \cdot s \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi'_2}{\sin \varphi'_2 \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi'_2)}}}. \quad (14)$$

Підставивши (11) в (14) і спростивши, матимемо:

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{\cos \varphi_1 \cdot \sin^2 \varphi'_2}{\sqrt{\cos^2 \varphi_1 \cdot \sin^2 \varphi'_2 + \cos^2 \varphi'_2 \cdot \sin^2(\varphi_1 + \varphi'_2) - \sin 2\varphi'_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi'_2 \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi'_2)}}}. \quad (15)$$

Графіки залежності головного кута в плані другого різця  $\varphi_2$  від його допоміжного кута  $\varphi'_2$  при різних значеннях кута  $\varphi_1$  зображено на рис. 4.

Аналіз графіків показує, що при збільшенні допоміжного кута в плані другого чистового різця  $\varphi'_2$  кут  $\varphi_2$  збільшується, а при збільшенні головного кута в плані першого чистового різця  $\varphi_1$  – зменшується.

Врахувавши (12) та (15), для нашого випадку можна рекомендувати такі діапазони значень кутів:

$$\varphi = 50..65^\circ; \varphi_1 = 40..55^\circ. \quad (16)$$

Для забезпечення технологічності й спрощення заточки згідно з рекомендаціями [18] необхідне виконання умови

$$20 \leq \varphi'_1 = \varphi'_2 < 45^\circ. \quad (17)$$

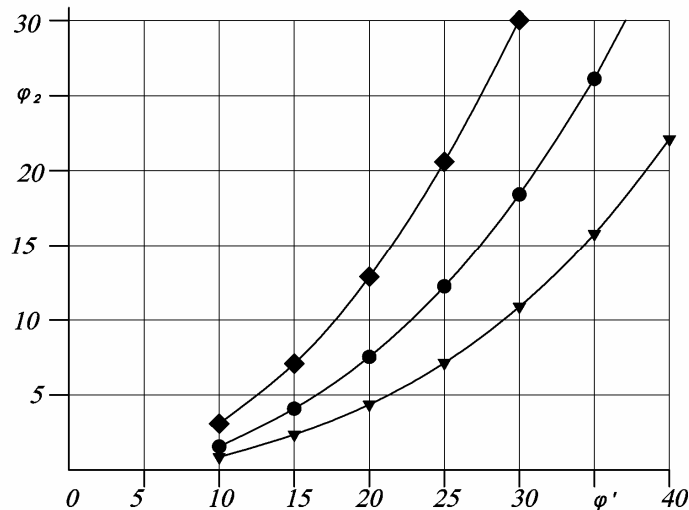


Рисунок 4 – Графіки залежності головного кута в плані другого чистового різця  $\varphi_2$  від його допоміжного кута  $\varphi'_1$  при різних значеннях головного кута в плані  $\varphi_1$  першого чистового різця при:  
 $\varphi_1=30^\circ$  ◆◆◆;  $\varphi_1=45^\circ$  ●●●;  $\varphi_1=60^\circ$  ▼▼▼

Необхідну величину  $Rz$ , унаслідок корегування значення головного кута в плані другого чистового різця забезпечимо у випадку

$$B_4 D_4 = H_4 \approx Rz_4 = s \cdot \sin \varphi_2 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi'_1 \cdot \sin \varphi'_1 / \sin(\varphi_2 + \varphi'_1) \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi'_1) \cdot 10^3. \quad (18)$$

Використавши [9] і рис. 3 в, виразимо значення подач на першому та другому чистових різцях розточної головки через величину  $Rz$

$$s_1 = 10^{-3} \cdot Rz \cdot \sin(\varphi_2 + \varphi'_1) / \sin \varphi'_1 \cdot \sin \varphi_2, \quad (19)$$

$$s_2 = 10^{-3} \cdot Rz \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi'_2) / \sin \varphi'_2 \cdot \sin \varphi_1. \quad (20)$$

Значення кутів  $\theta_1$  і  $\theta_2$  відповідно будуть рівні:

$$\theta_1 = \frac{360 \cdot s_1}{s}, \quad (21)$$

$$\theta_2 = 360^\circ - \theta_1. \quad (22)$$

Схему розміщення різців розточної головки зображено на рис.5. Розглянемо варіант, при якому кут  $\theta_1$  міститься в інтервалі  $0 < \theta_1 < 3\pi/2$ . Для конструювання такої головки необхідно визначити положення чорнового різця, яке буде визначатись кутом  $\psi_0 = 90^\circ + \alpha_x$  і його радіальний виліт, який забезпечить глибину різання –  $t_l$ . Це дасть можливість отримати радіальну складову силу  $P_{y3}$ , яка зрівноважить радіальну рівнодійну  $\bar{P}_{yc} = \bar{P}_{y1} + \bar{P}_{y2}$ , тобто забезпечить умову

$$P_{y3} = P_{yc}. \quad (23)$$

У цьому випадку оправка, на якій буде монтуватись розточна головка, працюватиме на кручення від моментів, які створюються складовими  $P_{z1}, P_{z2}, P_{z3}$ , і на розтяг від складових сил різання  $P_{x1}, P_{x2}, P_{x3}$ .

Визначаємо кутове положення чорнового різця щодо першого чистового, тобто кут  $\psi_0 = \pi/2 + \alpha_x$ .

З  $\triangle ABO$  і  $\triangle ACO$  отримаємо

$$AC = P_{y1} - P_{y2} \cos \theta_2; \quad AB = P_{y2} \cos \theta_2; \quad OA = P_{y2} \sin \theta_2.$$



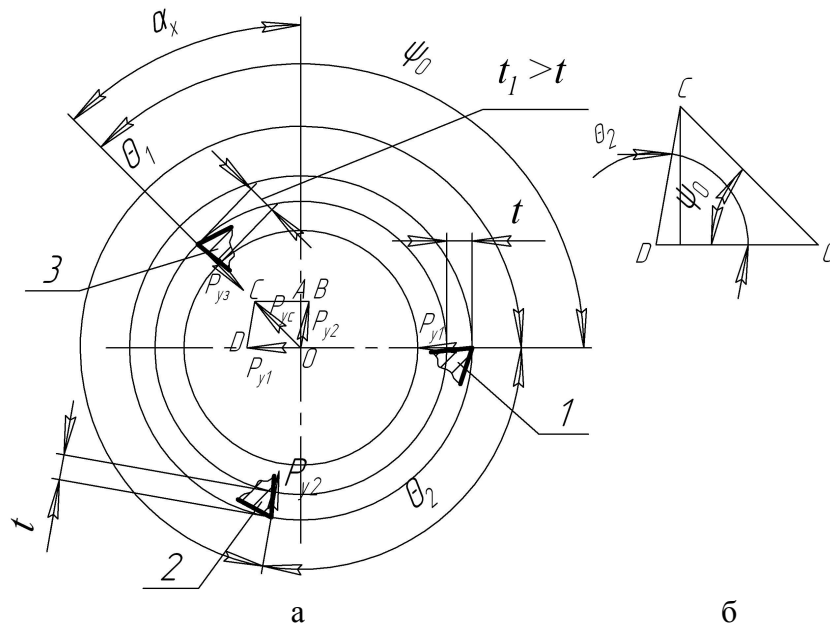


Рисунок 5 – Схема розміщення різців, складових та зрівноважуючої сил трьохзубої розточної головки:  
 а) загальний вигляд; б) фрагмент схеми;  
 1,2 – різці розточної головки, що забезпечують поділ товщини зрізуючого шару;  
 3 – зрівноважувальний різець, що забезпечує поділ ширини зрізаного шару

Розглянувши  $\Delta ACO$ , будемо мати

$$\alpha_x = \arctg[(1 - \cos \theta_2) / \sin \theta_2]. \quad (24)$$

Для встановлення радіального вильоту чорнового різця (глибини різання) скористаємось такими міркуваннями.

З  $\Delta ACO$  визначимо сумарну силу  $P_{yc}$ :

$$P_{yc} = \sqrt{P_{y1}^2 + P_{y2}^2 + 2P_{y1}P_{y2} \cos \theta_2}. \quad (25)$$

Для зрівноваження сили  $P_{yc}$  і виконання умови (23) визначимо глибину різання на чорновому різці головки –  $t_1$ , який працює з подачею  $s$ . На основі [11] можемо записати значення радіальних складових сил, що діють на чорновому різці та двох чистових відповідно  $P_{yc} = 10C_s t_1^{x_2} s^{y_2} HB^{n_2} K_\varphi$ ,  $P_{y1} = 10C_s t^{x_2} s^{y_2} HB^{n_2} K_{\varphi_1}$ ,  $P_{y2} = 10C_s t^{x_2} s^{y_2} HB^{n_2} K_{\varphi_2}$  і, використавши (25) та взявши до уваги (23) і розв'язавши відносно  $t_1$ , після спрощень, отримаємо:

$$t_1 = \frac{p}{2} \cdot \left( \frac{\sqrt{s_1^{2y_2} K_{\varphi_1}^2 + s_2^{2y_2} K_{\varphi_2}^2 + 2s_1^{y_2} s_2^{y_2} K_{\varphi_1} K_{\varphi_2} \cos \theta_2}}{s^{y_2} K_\varphi} \right)^{\frac{1}{x_2}}. \quad (26)$$

Оскільки задана величина припуску  $p = t_1 + t$ , то глибину різання для чистових різців визначимо за формулою

$$t = p - t_1 \leq 0,5 \text{ мм}. \quad (27)$$

Якщо умову (27) не виконано, то необхідно змінити геометричні параметри різальної частини чорнового та (або) чистових різців.

**Висновки.**

1. У результаті аналізу існуючих літературних джерел, присвячених технології отримання глибоких отворів тонкостінних циліндрів, виявлено суперечливі підходи щодо підвищення якості їх внутрішніх циліндричних поверхонь.

2. Запропоновані, при дотриманні відповідних технічних обмежень, конструкторсько-технологічні підходи створення спеціального технологічного та інструментального оснащення, а саме – трьохкулачкового патрона та багаторізевої розточної головки з одночасним поділом ширини та товщини зрізаного шару.

3. Отримано залежності для визначення основних конструктивних та геометричних параметрів технологічно-інструментального спорядження та елементів режиму розточування, а саме – подачі й глибини різання.

**Література**

1. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин / Дальский А.М. – М.: Машиностроение, 1975. – 223 с.
2. Иваса Т. Выбор параметров сверл и технологических режимов при глубоком сверлении / Иваса Т. [пер. №37906/4 с японского]. – М.: Машиностроение, 1964. – 236 с.
3. Зусман А.Д. Обработка отверстий на сверлильных станках / Зусман А.Д. – М.: Машгиз, 1963. – 132с.
4. Советский энциклопедический словарь / [ред. Прохоров А.М.]. – 4-е изд. испр. – М.: Советская энциклопедия, 1986. – 1600 с.
5. Технология машиностроения / [Картавов С.А., Левченко А.М., Рудник С.С. и др]. – К.: Техніка, 1965. – 527 с.
6. Мещеряков Р.К. Радиальное биение поверхностей, полученных сверлением и рассверливанием деталей / Мещеряков Р.К., Симанчук Л.И., Киселев В.Л. // Изв. вузов. Машиностроение. – 1977. – №5. – С. 158 – 165.
7. Светлицкий В.А. Расчет погрешностей обработки глубоких отверстий / Светлицкий В.А., Мещеряков Р.К., Ушаков А.И. // Изв. вузов. Машиностроение. – 1977. – №5. – С. 167 – 171.
8. Минков М.А. Технология изготовления глубоких и точных отверстий / Минков М.А. М., Л.: Машиностроение, 1965. – 176 с.
9. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями / Подураев В.Н. М.: Машиностроение, 1970. – 350 с.
10. Троицкий Н.Д. Глубокое сверление / Троицкий Н.Д. – Л.: Машиностроение, 1971. – 176 с.
11. Уткин Н.Ф. Обработка глубоких отверстий / Уткин Н.Ф., Кижняев Ю.Н., Плужников С.К. – Л.: Машиностроение, 1988. – 269 с.
12. Костюкович С.С. Точность обработки глубоких отверстий / С.С. Костюкович, Э.М. Дечко, В.И. Долгов. – Минск: Высшей шк., 1978. – 144 с.
13. Гурин Ф.В. Технология автотракторостроения: учебник для вузов / Ф.В. Гурин, В.Д. Клепиков, В.В. Рейн. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1981. – 295с.
14. Сухарев И.П. Прочность шарнирных узлов машин: Справочное пособие / И. П. Сухарев. – М. : Машиностроение, 1977. – 168 с.
15. Кулешова З.Г. Исследование погрешностей формы гильз прецизионных станков, возникающих вследствие деформаций, вызванных силами закрепления при механической обработке / З.Г. Кулешова // Изв. вузов. Машиностроение, 1969. – №11 – С. 185 – 190.
16. Справочник металлиста: в 5-ти т. / под ред. А.Н. Малова. – М.: Машиностроение, 1977–. – Т.3.– 1977.– 748с.
17. Мягков В.Д. Допуски и посадки: справочник: в 2-х ч. / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – [6-е изд., пер. и доп.]. – Л.: Машиностроение, 1982. – Ч. 1.–1982.– 543 с.
18. Долматовский Г.А. Справочник технолога по обработке металлов резанием / Г.А. Долматовский. – [изд. 5-е пер.].– М.: Госнаучтехиздат, 1962. – 1236 с.

*Одержано 18.02.2010 р.*