

УДК 621.822

**В.Ю. Денисюк, Ю.А. Лук'янчук, В.П. Симонюк**  
*Луцький національний технічний університет*

### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОФІЛЮВАННЯ ВИКОНАВЧИХ КРУГІВ ПРИ БЕЗЦЕНТРОВОМУ ШЛІФУВАННІ РОЛИКІВ**

*В статті розглядається проблематика забезпечення точності безцентрового шліфування конічних поверхонь роликів підшипників та запропоновані шляхи вирішення цих проблем за рахунок профілювання та правки робочих кругів.*

*Ключові слова:* шліфування, ролик, профілювання, конічна поверхня, ведучий круг, абразивний круг, точність.

**В.Ю. Денисюк, Ю.А. Лук'янчук, В.П. Симонюк**

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ КРУГОВ ПРИ БЕСЦЕНТРОВОМ ШЛИФОВАНИИ РОЛИКОВ**

*В статье рассматривается проблема обеспечения точности бесцентрового шлифования конических поверхностей роликов подшипников и предложены пути решения этих проблем за счет профилирования и правки рабочих кругов.*

*Ключевые слова:* шлифование, ролик, профилирование, коническая поверхность, ведущий круг, абразивный круг, точность.

**V. Denysiuk, Y. Lukyanchuk, V. Symonyuk**

### **PROVIDING THE EXACTNESS OF PROFILING THE EXECUTIVE WHEELS BY CENTRELESS GRINDING OF ROLLERS**

*In the article the problems of providing precision centreless grinding conical surfaces roller bearings and proposed solutions to these problems by profiling and editing work circles.*

*Keywords:* grinding, roller, profiling, conical surface, driving wheel, abrasive wheel, precision.

**Постановка проблеми.** Всі сучасні безцентрово-шліфувальні верстати з поворотом ведучого круга мають три системи: шліфувальний круг – ведучий круг – ніж, правлячий інструмент – пристрій правки – шліфувальний круг, правлячий інструмент – пристрій правки – ведучий круг. Забезпечення необхідної точності оброблення на безцентрово-шліфувальних верстатах з поздовжньою подачею суттєво залежить від геометрії поверхонь ведучого і шліфувального кругів, опорного ножа, а також їх взаємного розміщення в процесі шліфування. Теоретична поверхня ведучого круга є поверхнею обертання, що має лінійний контакт з циліндричною заготовкою або потоком заготовок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вперше задача профілювання ведучого круга безцентрово-шліфувальних верстатів досліджена, а потім розвинена в роботах [3, 5, 6]. Однак у зазначених роботах отримані висновки мали наближений характер і ряд неточностей. Так твердження, наведене в роботі [7], що «теоретично точний» профіль ведучого круга може бути отриманий в результаті «обкатування» заготовки певного радіуса по гіперболі. У наступних роботах [3, 6] даний факт не уточнювався.

Математична модель для розрахунку профілю ведучого круга наведена в роботі [1]. У ній розглянута схема з поворотом осі круга у вертикальній і горизонтальній площинах, а безперервний стовп заготовок показаний як конус з урахуванням поступового знімання припуску. Однак така подача заготовок під час шліфування має як переваги, так і недоліки в порівнянні з традиційним. Очевидним є той факт, що при вказаній схемі оброблення циліндрична поверхня буде остаточно формуватися тільки на торці ведучого (шліфувального) круга. Крім того, в даний час цей спосіб не отримав широкого застосування у виробництві.

**Постановка завдань.** Підхід до вирішення задачі профілювання ведучого круга побудований на векторно-матричних перетвореннях функції формоутворення і кінематичній умові контакту [7]. Ведучий круг для оброблення конічних поверхонь доцільно виконувати металевим. Застосування металевих ведучих кругів дає значний економічний ефект за рахунок зниження витрат на круги і зменшенні часу правки. Як недолік варто зазначити деякі обмеження на висоту встановлення заготовок щодо лінії центрів шліфувального і ведучого кругів. Даний факт обумовлений появою коливачів під час безцентрового шліфування. Висока контактна жорсткість круга (абразивного – менше 200Н/мкм; металевого – більше 1000 Н/мкм) призводить до жорсткого зв'язку між бабками і «зміщення меж» стійкості процесу [1, 2, 4]. Для зниження жорсткості у металевому ведучому кругі виконують спеціальні прорізи.

Використання для базування і створення руху подачі гвинтової канавки на ведучому колі сприяє підвищенню точності оброблення. Створення конічних поверхонь під час безцентрового шліфування з поздовжньою подачею має ряд обмежень. Це обумовлено необхідністю створення складної траєкторії руху заготовки, яка при цьому має постійний контакт з елементами верстату – ведучим колем і опорним ножом.

**Викладення основного матеріалу.** Оброблення конічних поверхонь роликів проводять на спеціальних безцентрових круглошліфувальних верстатах з широким кругом. В цьому випадку верстат оснащують ведучим кругом (барабаном) з гвинтовою канавкою складного профілю. Розглянемо процес безцентрового шліфування конічних поверхонь і методику розрахунку профілю ведучого круга. Під час шліфування заготовка 1 базується і переміщується таким чином, що утворююча її конічної поверхні паралельна осі циліндричного шліфувального круга 2 верстата (рис. 1). Забезпечити безперервний рух такого виду можна тільки гвинтовим рухом заготовки відносно шліфувального круга.

Основним елементом, що створює кругову і поздовжню подачі, буде ведучий круг 3. Якщо вісь ведучого круга перехрещується з віссю заготовки, то гвинтова поверхня, утворена конічною поверхнею заготовки при їх відносному русі, є нелінійною. При цьому частину гвинтової поверхні ведучого круга, яка контактує з твірною конуса заготовки та базує її, називають робочою, а іншу частину, що контактує з основою зрізаного конуса і забезпечує поздовжнє переміщення – допоміжною.

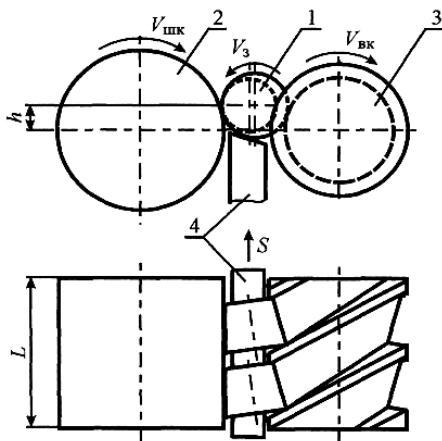


Рис. 1. Схема безцентрового шліфування конічних поверхонь

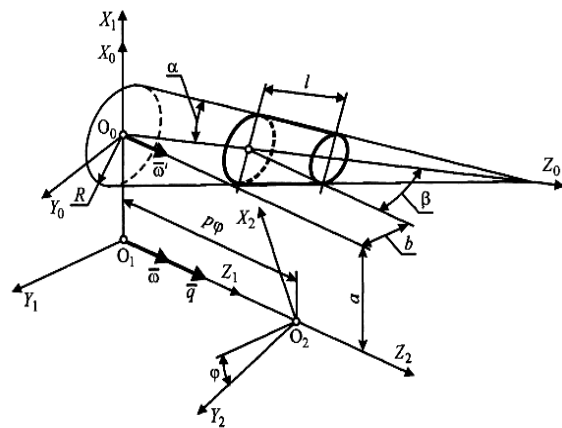


Рис. 2. Координатна схема профілювання ведучого круга при безцентровому шліфуванні конічних поверхонь

Ніж 4 виконує функцію додаткової опори. Від його положення залежить стабільність обертання заготовки, однак траєкторію руху він не формує. Очевидно, що в загальному випадку при просторовому розвороті конічної заготовки та її гвинтовому русі паралельно осі шліфувального круга завжди знайдеться площина, в якій буде лежати траєкторія утворюючої заготовки. Для прийнятої схеми формоутворення з використанням циліндричного шліфувального круга опорний ніж має складну криволінійну поверхню.

Введемо до розгляду наступні координатні системи (рис. 2):  $S_0(X_0O_0Y_0Z_0)$  – система заготовки;  $S_1(X_1O_1Y_1Z_1)$  – допоміжна умовно нерухома система;  $S_2(X_2O_2Y_2Z_2)$  – система ведучого круга. Система координат  $S_1$  по відношенню до системи  $S_0$  повернута навколо осі  $X$  проти годинникової стрілки на кут  $\beta$  і зміщена по осі  $X$  на величину  $a$ . Гвинтовий рух в системі  $S_2$  задають параметри  $p$  і  $\varphi$ . Подальші розрахунки приведені для правої гвинтової лінії (вектори  $\vec{w}$  і  $\vec{q}$  мають однаковий напрям). Заготовка показана у вигляді зрізаного конуса довжиною  $l$ , розміщеного на відстані  $b$  по осі  $Y$  в системі  $S_0$ .

Завдання профілювання ведучого круга полягає в знаходженні гвинтових поверхонь, що формуються твірною і основами конічної заготовки.

Конічну поверхню заготовки в системі  $S_0$  опишемо в параметричному вигляді (рис. 3):

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= u \cdot \sin \alpha \cdot \cos \vartheta \\ Y_0 &= u \cdot \sin \alpha \cdot \sin \vartheta \\ Z_0 &= R \cdot \operatorname{ctg} \alpha - u \cdot \cos \alpha \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

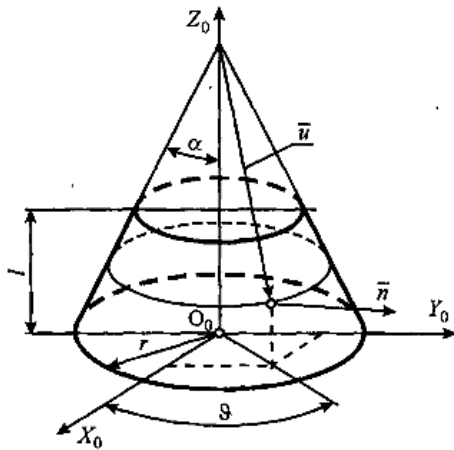


Рис. 3. Конічна поверхня в параметричному вигляді

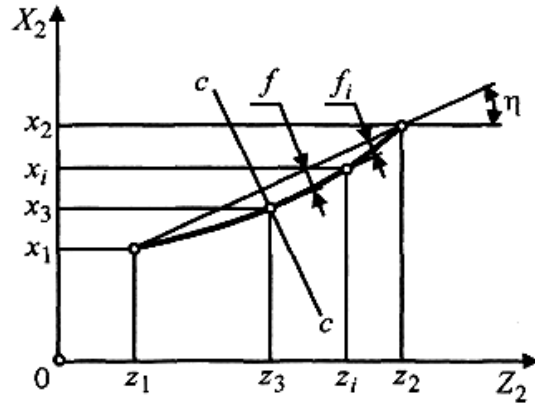


Рис. 4. Схема для визначення параметрів робочої ділянки профілю

де  $u, \vartheta$  – лінійна і кутова криволінійні координати;  $\alpha$  – кут утворюючої конуса заготовки;  $R = r + b \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \beta}$  – радіус основи продовженого конусу;  $r$  – радіус основи конуса заготовки (максимальний радіус заготовки);  $\beta$  – кут перехрещення осей заготовки і ведучого круга;  $b$  – параметр налаштування.

Поверхню основи заготовки опишемо як поверхню круга наступними рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= r_i \cdot \cos \vartheta \\ Y_0 &= r_i \cdot \sin \vartheta \\ Z_0 &= z_i \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де  $r_i, \vartheta$  – криволінійні координати круга;  $z_i$  – координата, що задає положення круга ( $r_i = R - z_i \cdot \operatorname{tg} \alpha$ ).

Поверхню ведучого круга знайдемо як геометричне місце контактних ліній в системі  $S_2$ . Рівняння поверхні ведучого круга у векторній формі:

$$\left. \begin{aligned} \bar{r}_2 &= \Phi \cdot \bar{r}_0 \\ \bar{n} \cdot \bar{V} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де  $M_{20}$  – матриця переходу від системи  $S_0$  до системи  $S_2$ ;  $\bar{n}$  – вектор нормалі до поверхні;  $\bar{V}$  – вектор швидкості відносного руху.

Матриця переходу  $M_{20}$  має вигляд:

$$M_{20} = M_{21} \cdot M_{10} = \begin{vmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -p\varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \cdot \cos \beta & -\sin \varphi \cdot \sin \beta & a \cdot \cos \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \cdot \cos \beta & -\cos \varphi \cdot \sin \beta & -a \cdot \sin \varphi \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta & -p\varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

де  $a$  – найкоротша міжосьова відстань заготовки і ведучого круга;  $p$  – крок гвинтової канавки;  $\varphi$  – кутовий параметр гвинтового руху.

Використовуючи формули (3) і (4), перейдемо від системи  $S_0$  до системи  $S_2$ :

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= X_1 \cdot \cos \varphi + Y_1 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - Z_1 \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta + a \cdot \cos \varphi \\ Y_2 &= -X_1 \cdot \sin \varphi + Y_1 \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta - Z_1 \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta - a \cdot \sin \varphi \\ Z_2 &= Y_1 \cdot \sin \beta + Z_1 \cdot \cos \beta - p\varphi \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Кінематична умова контакту поверхонь в загальному вигляді:

$$\bar{n} \cdot \bar{V} = n_x \cdot V_x + n_y \cdot V_y + n_z \cdot V_z = 0. \quad (6)$$

Відносний рух заготовки і ведучого круга визначено вектором кутової швидкості  $\bar{\omega}$  і вектором поступального руху  $\bar{q} = p \cdot \bar{\omega}$  (рис. 2). Приведемо вектор  $\bar{\omega}$  до точки  $O_0$ , замінивши його вектором  $\bar{\omega}' = \bar{\omega}$  і вектором моментом  $\bar{m}(\omega) = R_0 \cdot \bar{\omega}$ .

Тоді вираз для швидкості відносного руху:

$$\bar{V} = \bar{\omega}' \cdot \bar{r}_0 + \bar{R}_0 \cdot \bar{\omega} + p \cdot \bar{\omega}. \quad (7)$$

де  $\bar{r}_0$  – радіус-вектор точки поверхні заготовки;  $\bar{R}_0$  – радіус-вектор точки ковзаючого вектору  $\bar{\omega}$ .

Вектор  $\bar{\omega}$  в системі координат деталі визначений координатами:

$$\omega_x = \omega_x' = 0; \quad \omega_y = \omega_y' = \sin \beta; \quad \omega_z = \omega_z' = \cos \beta. \quad (8)$$

Проекції швидкості визначаємо за формулами:

$$\left. \begin{aligned} V_x &= \omega_y' \cdot r_z - \omega_z' \cdot r_y + \omega_z \cdot r_y' - \omega_y \cdot r_z' + p_x \omega_x \\ V_y &= \omega_z' \cdot r_x - \omega_x' \cdot r_z + \omega_z \cdot r_z' - \omega_z \cdot r_x' + p_y \omega_y \\ V_z &= \omega_x' \cdot r_y - \omega_y' \cdot r_x + \omega_y \cdot r_x' - \omega_x \cdot r_y' + p_z \omega_z \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

В кінцевому вигляді вираз для проекцій швидкості відносного руху:

$$\left. \begin{aligned} V_x &= (R \cdot \operatorname{ctg} \alpha - u \cdot \cos \alpha) \cdot \sin \beta - u \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin \vartheta \\ V_y &= u \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \cos \vartheta + a \cdot \cos \beta + p \cdot \sin \beta \\ V_z &= -u \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos \vartheta - a \cdot \sin \beta + p \cdot \cos \beta \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Проекції одиничного вектору нормалі до поверхні заготовки:

$$\left. \begin{aligned} n_x &= \cos \alpha \cdot \cos \vartheta \\ n_y &= \cos \alpha \cdot \sin \vartheta \\ n_z &= \sin \alpha \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

Допустимо  $\omega = 1$  рад/с. Тоді після перетворення вираз (6) прийме вигляд:

$$\begin{aligned} R \cdot \operatorname{ctg} \alpha \cdot \cos \alpha - u \cdot \sin \beta \cdot \cos \vartheta + (a \cdot \cos \beta + p \cdot \sin \beta) \cdot \\ \cdot \cos \alpha \cdot \sin \vartheta + (p \cdot \cos \beta - a \cdot \sin \beta) \cdot \sin \alpha = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Рівняння (12) відносно змінної  $\vartheta$  можна перетворити в квадратне рівняння, ввівши заміну змінної:

$$(A - B) \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2} + 2 \cdot \cos \alpha \cdot (a \cdot \cos \beta + p \cdot \sin \beta) \cdot \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2} + A + B = 0, \quad (13)$$

де  $A = (p \cdot \cos \beta - a \cdot \sin \beta)$ ;  $B = (R \cdot \operatorname{ctg} \alpha \cdot \cos \alpha - u) \cdot \sin \beta$ .

Рівняння (2) встановлює зв'язок між криволінійними координатами  $u$  і  $\vartheta$ . Дане квадратне рівняння має два розв'язки, які відповідають двом контактним лініям. При зовнішньому огинанні поверхонь слід вибирати корінь з додатнім знаком перед радикалом.

Рівняння (2) і (5) описують поверхню ведучого круга. Рівняння (13) дозволяє виділити контактні лінії на цій поверхні, тобто їх спільне вирішення визначає шукану поверхню ведучого круга.

Таким чином, поверхня ведучого безцентрового шліфувального верстата описана виразами (2), (5) і (13). Спільне вирішення цих рівнянь з січними площинами дає осьовий, торцевий або нормальний перерізи. На практиці зручніше використовувати осьовий переріз гвинтової поверхні, який отримаємо, прийнявши  $Y_2 = 0$ :

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= (u \cdot \sin \alpha \cdot \cos \vartheta + a) \cdot \cos \varphi + C \cdot \sin \varphi \\ Z_2 &= u \cdot \sin \alpha \cdot \sin \vartheta \cdot \sin \beta + (R \cdot \operatorname{ctg} \alpha - u \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \beta - \frac{b}{\operatorname{tg} \beta} - p \cdot \varphi \\ \operatorname{tg} \varphi &= \frac{C}{u \cdot \sin \alpha \cdot \cos \vartheta + a} \\ (A - B) \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2} + 2 \cdot \cos \alpha \cdot (a \cdot \cos \beta + p \cdot \sin \beta) \cdot \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2} + A + B &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

де  $C = u \cdot (\sin \vartheta \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta - \cos \alpha \cdot \sin \beta) - R \cdot \operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta$ .

Система рівнянь (14) описує в параметричній формі осьовий переріз ведучого круга. Хоча в формули входять три змінні  $u$ ,  $\vartheta$  і  $\varphi$ , але незалежних параметрів тільки два. Тому рівняння вирішують відносно змінних  $\vartheta$  і  $\varphi$  при фіксованих значеннях параметра  $u$ . Діапазон зміни параметра  $u$ , відповідний довжині заготовки  $l$ , визначають з останнього рівняння системи (2).

Допоміжна частина поверхні ведучого круга утворюється основами конуса заготовки. Кінематична умова для поверхні основи заготовки має вигляд:

$$\cos \vartheta = -\frac{\operatorname{arctg} \beta + p}{z_i}. \quad (15)$$

Аналіз рівняння (15) показав, що при  $\operatorname{arctg} \beta + p > z_i$  значення шуканого кута  $\vartheta$  ірраціональне, тобто геометричне вирішення задачі відсутнє. Описана ситуація характерна для реальних налагоджувальних параметрів безцентрового шліфувального верстата, тому контактна лінія розташовується за межами радіусів основ. Тоді допоміжну частину гвинтової поверхні ведучого круга сформулюють круги конічної поверхні і площин основи заготовки, у яких вектор нормалі не має чітко визначеного напрямку. Такі поверхні отримали назву перехідних [7].

Перехідні поверхні будуть отримані на ведучому кругу, якщо надати основі конуса в системі  $S_0$  гвинтовий рух.

Рівняння осьового перерізу перехідних поверхонь:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \frac{r_i \cdot \sin \vartheta \cdot \cos \beta - z_i \cdot \sin \beta}{r_i \cdot \cos \vartheta - a} \\ X_2 &= r_i \cdot (\cos \vartheta \cdot \cos \varphi + \sin \vartheta \cdot \cos \beta \cdot \sin \varphi) - z_i \cdot \sin \beta \cdot \sin \varphi + a \cdot \cos \varphi \\ Z_2 &= r_i \cdot \sin \vartheta \cdot \sin \beta + z_i \cdot \cos \beta - p \cdot \varphi - \frac{b}{\operatorname{tg} \beta} \end{aligned} \right\}. \quad (16)$$

Таким чином, поверхня ведучого круга для оброблення конічних деталей є нелінійною гвинтовою поверхнею, що складається з робочої ділянки, яка базує заготовку в процесі оброблення, і допоміжної, що забезпечує подовжню подачу. Робочу ділянку ведучого круга визначають за формулами (14) на основі кінематичної умови контакту поверхонь, а допоміжну ділянку – за формулами (16) як слід, залишений гвинтовими лініями кругів сполучення конічної поверхні і площин основи заготовки.

Розгляд робочої і допоміжної ділянок ведучого круга в загальній системі координат дозволив оцінити характер їх поєднання і побудувати гвинтову поверхню цілому. Чисельний аналіз показав, що для реальних налагоджень верстату робоча і допоміжна ділянки профілю мають плавну пару з однією точкою контакту.

При виборі налагоджувальних параметрів верстату слід мати на увазі, що кут  $\beta$  на відміну від параметрів  $a$  і  $b$  не встановлюються безпосередньо, а є розрахунковим (як правило, вважають  $\beta = \alpha$ ). Найкоротшу міжосьову відстань  $a$  призначають, виходячи з умов стабільної силової взаємодії під час шліфування. Параметр  $a$  може приймати як додатні, так і від'ємні значення. Так, при використанні металевого ведучого круга з коефіцієнтом тертя менше 0,2 доцільно розташовувати заготовку нижче лінії, що з'єднує осі шліфувального і ведучого кругів.

Приклади розрахунку осьового профілю ведучого круга для оброблення конічних роликів при різних варіантах параметрів налагодження верстата дані в таблицях 1 – 3.

Оскільки робоча поверхня осьового перерізу ведучого круга криволінійна, то для оцінки такого профілю доцільно використовувати параметри: кут профілю  $\eta$  і максимальну стрілу прогину  $f$  (рис. 4).

Таблиця 1

**Профіль ведучого круга для оброблення конічних поверхонь:** $d=10$  мм,  $\alpha=2^\circ$ ,  $l=20$  мм,  $a=15$  мм,  $b=150$  мм,  $\beta=2^\circ$ ,  $p=25$  мм

$Z_2$ , мм	$X_2$ , мм	$u$ , мм	$\varphi$ , градус	$\vartheta$ , градус
37,145	140,755	286,537	-84,336	96,362
41,140	141,033	282,535	-84,340	96,356
45,135	141,312	278,532	-84,345	96,350
49,129	141,590	274,530	-84,349	96,344
53,124	141,869	270,527	-84,354	96,339
57,119	142,147	266,525	-84,358	96,333

Таблиця 2

**Профіль ведучого круга для оброблення конічних поверхонь:** $d=20$  мм,  $\alpha=5^\circ$ ,  $l=20$  мм,  $a=20$  мм,  $b=170$  мм,  $\beta=5^\circ$ ,  $p=25$  мм

$Z_2$ , мм	$X_2$ , мм	$u$ , мм	$\varphi$ , градус	$\vartheta$ , градус
38,149	151,254	229,474	-83,476	98,092
42,108	151,949	225,459	-83,485	98,076
46,066	152,643	221,444	-83,495	98,059
50,025	153,338	217,428	-83,504	98,043
53,984	154,033	213,413	-83,513	98,027
57,942	154,728	209,398	-83,522	98,010

Таблиця 3

**Профіль ведучого круга для оброблення конічних поверхонь:** $d=30$  мм,  $\alpha=2^\circ$ ,  $l=20$  мм,  $a=-20$  мм,  $b=2000$  мм,  $\beta=2^\circ$ ,  $p=25$  мм

$Z_2$ , мм	$X_2$ , мм	$u$ , мм	$\varphi$ , градус	$\vartheta$ , градус
42,843	171,017	859,611	-95,799	84,795
46,833	171,295	855,609	-95,794	84,799
50,824	171,574	851,606	-95,790	84,802
54,815	171,852	847,604	-95,785	84,806
58,806	172,131	843,601	-95,780	84,810
62,796	172,409	839,599	-95,776	84,813

Кут  $\eta$  робочої поверхні профілю ведучого круга визначаємо за формулою:

$$\eta = \arctg \frac{|x_2| - |x_1|}{z_2 - z_1} \quad (17)$$

де  $x_1, x_2, z_1, z_2$  – координати крайніх точок осевого перерізу профілю.

Стрілу прогину профілю в довільній точці з координатами  $(x_i, z_i)$  знаходимо за формулою:

$$f_i = [|x_1| - |x_i| - (z_1 - z_i) \cdot \operatorname{tg} \eta] \cdot \cos \eta \quad (18)$$

Для реальних налагоджень верстату профіль близький до симетричного відносно прямої  $c-c$  (рис. 4). В цьому випадку максимальну стрілу прогину визначаємо в середній точці з координатами  $(x_3, z_3)$ :

$$f = [|x_1| - |x_3| \cdot \cos \eta + (z_1 - z_3) \cdot \operatorname{tg} \eta] \cdot \sin \eta \quad (19)$$

де  $x_3, z_3$  – координати середньої точки осевого перерізу профілю.

При додатному значенні величини – профіль ведучого круга опуклий, а при від'ємному значенні – увігнутий.

Практичне значення для виготовлення ведучого круга має ширина перехідних кривих  $h_1$  і  $h_2$  ( $h_1$  – ширина перехідної кривої, що утворена більшою основою зрізаного конуса,  $h_2$  – ширина перехідної кривої, що утворена меншою основою), які визначають додаткові ділянки профілю і крок гвинтової поверхні. Параметри  $h_1$  і  $h_2$  знаходять як різницю координат  $Z_2$ , відповідних крайніх точці перехідної кривої і точці її сполучення з основною ділянкою профілю.

Для прикладів, наведених у таблицях 1 – 3 розраховані параметри профілю, які подані в таблиці 4.

Параметри профілю ведучого круга для оброблення конічних поверхонь

Вихідні дані	Розрахункові параметри контролю			
	$\eta$ , градус	$f$ , мкм	$h_1$ , мм	$h_2$ , мм
Таблиця1	3,988	-0,005	2,15	1,21
Таблиця2	9,954	-0,03	4,31	1,41
Таблиця3	3,992	-0,002	4,84	2,95

Аналіз таблиці 4 показав, що типовий осьовий профіль ведучого круга має криволінійну увігнуту форму із стрілою прогину в межах 0,001 мм. Профіль залежить як від розмірів оброблюваних деталей, так і від вибору значень налагоджувальних параметрів безцентрово-шліфувального верстату. Кут профілю  $\eta$  завжди більший, ніж кут  $\alpha$  конічної деталі і зазвичай дорівнює співвідношенню  $\eta = (1,5...2) \cdot \alpha$ .

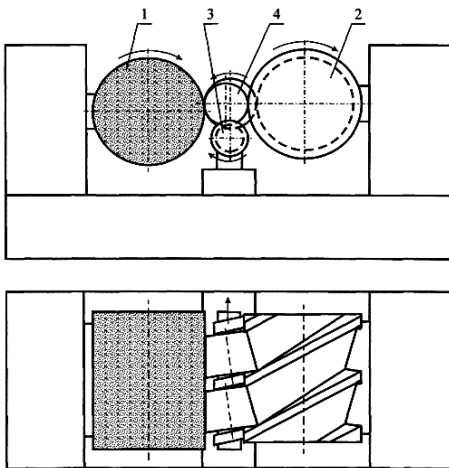


Рис. 5. Схема шліфувального верстату для оброблення конічних роликів

Розглянута схема шліфування конічних поверхонь роликів має похибку, що призводить до появи увігнутості на конічній поверхні виробу. Зазначений факт пояснюється тим, що конічна поверхня заготовки, здійснюючи гвинтовий рух, контактує з циліндричним шліфувальним кругом на різній висоті від його осі вздовж траєкторії руху. Мінімізувати дану похибку можна за рахунок оптимального вибору налагоджувальних параметрів – кута  $\beta$  і зміщення  $h$ . Однак зменшити значення увігнутості до величини менше 0,007 мм під час оброблення кругом  $\varnothing 500$  мм не вдасться, що підтверджується практичними результатами [1].

Тому, запропонована нова конструктивна схема безцентрово-шліфувального верстату для оброблення конічних поверхонь [2], що містить незалежні циліндричний шліфувальний круг 1, ведучий круг 2 і опорний ролик 3, між якими розташовується оброблюваний виріб 4 (рис. 5). Новим у запропонованому конструктивному вирішенні є те, що в якості опорного

елемента використаний обертовий ролик з гвинтовою канавкою, що має форму виробу.

Опорний ролик містить гвинтову канавку, що має форму оброблюваної деталі. Ролик обертається з частотою, рівною частоті обертання ведучого круга. Повздовжня подача роликів створюється за рахунок руху гвинтової канавки ведучого круга, а також гвинтової канавки опорного ролика. Опорний ролик має постійний контакт з оброблюваною конічною поверхнею, що забезпечує високу точність переміщення, і, як наслідок, високу точність оброблення.

**Висновки.** Виявлено закономірності утворення похибок форми поверхонь кочення роликів на операціях безцентрового шліфування внаслідок порушення траєкторій відносного руху інструмента і заготовок, що виникають в технологічній системі верстат – інструмент – деталь. На зміну форми поверхні оброблюваних роликів впливають основні функції ведучого барабана (притискання роликів до шліфувального круга для лінійного контакту та регулювання швидкості обертання роликів і швидкість їх подачі) та точності його правки. Запропонована методика профілювання дозволить підвищити точність форми роликів на 2 квалітети та зменшити вихід бракованих деталей на 5 %.

#### Список використаних джерел:

1. Горбунов Б.И. Уравновешивающие устройства шлифовальных станков / Б.И. Горбунов, В.Г. Гусев. – М.: Машиностроение, 1976. – 167с.
2. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / Д.Г. Евсеев. – Саратов: Саратовский университет, 1975. – 127 с.
3. Корсаков В.С. Точность механической обработки / В.С. Корсаков. – М.: Машиностроение, 1971. – 379 с.
4. Левина З.М. Контактная жесткость машин / З.М. Левина, Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
5. Лоповок Т.С. Волнистость поверхности и ее измерение / Т.С. Лоповок. – М.: Изд-во стандартов, 1973, – 184с.
6. Лурье Т.Б. Шлифование металлов / Т.Б. Лурье. – М.: Машиностроение, 1969. – 175с.
7. Михелькевич В.Н. Автоматическое управление шлифованием / В.Н. Михелькевич. – М.: Машиностроение, 1975. – 304 с.

Стаття надійшла до редакції 27.03.2016.