

ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗНЯТТЯ ПРИПУСКУ І ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ ТОРЦІВ ЗІ СХРЕЩИННИМИ ОСЯМИ КРУГІВ ТА ДЕТАЛЕЙ

Кальченко В.В., канд. техн. наук,
Чернігівський державний технологічний університет

Разработана универсальная трёхмерная (3D) геометрическая модель взаимосвязанных процессов съёма припуска, формообразования и профилирования абразивных кругов, с учетом его износа.

Розроблена універсальна тривимірна (3D) геометрична модель взаємозв'язаних процесів зняття припуску, формоутворення і профілювання абразивних кругів, з урахуванням його зносу.

The geometrical model of the interconnected processes of removal of the admission of formation of the form and formation of a structure of grinding circles is developed universal three-dimensional (3D), in view of his deterioration.

При оцінці точності формоутворення торців циліндричних деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах використовують тривимірні геометричні моделі деталі й абразивного круга [1], що представлені добутками матриць узагальнених переміщень M_i [2]. Координати точок прошліфованої поверхні торця деталі визначають з умови рівності, для точок торкання, радіусів-векторів інструмента і деталі ($\bar{r}_i = \bar{r}_{iq}$) в його системі координат [1].

Зазначені моделі не описують процес зняття припуску по координаті обробки і не враховують знос профілю круга та його вплив на продуктивність і точність обробки.

Для аналізу процесу шліфування торців, з урахуванням методики [3], запропонована узагальнена тривимірна геометрична модель деталей і заготовок, яка у матрицях узагальнених переміщень M_i [2] має вигляд

$$r_q = M_3(-Z_q + H/2 + P_1 \cdot \theta_q) \cdot M_6(\theta_q) \cdot M_1(r_{qi}(\theta_q, Z_q)) \times \\ \times M_5(\psi_2) \cdot M_4(\varphi_1) \cdot M_5(\psi_1) \cdot M_1(r_{II}(\psi_1)) \cdot e_4, \quad (1)$$

де M_1, M_2, M_3 - матриці лінійних переміщень вздовж осей X, Y, Z ; M_4, M_5, M_6 - матриці кутових поворотів відносно осей X, Y, Z ; ψ_1 - кутовий параметр точки твірної, з поточним радіусом $r_{II}(\psi_1)$ (рис. 1а, І) поперечного перерізу витка пружини щодо осі $O_{II}Y_{II}$ системи координат $O_{II}X_{II}Y_{II}Z_{II}$, осі $O_{II}X_{II}$, $O_{II}Z_{II}$ якої паралельні осям деталі O_qX_q і O_qZ_q , а початок координат розташовано на відстані середнього радіуса пружини $r_{qi}(\theta_q, Z_q)$ від осі O_qZ_q (для пружини з прямокутним профілем (рис. 1а) і голок з еліптичним профілем поперечного перерізу, радіус $r_{II}(\psi_1)$ є змінним в залежності від кута ψ_1 ; для сферичних поверхонь (рис. 1в) і циліндричних голок (рис. 1е) $r_{II}(\psi_1)$ – постійний); φ_1 - кут орієнтації поперечного перерізу витка відносно осі $O_{II}X_{II}$ ($\varphi_1 = \pi/2$ - для вигнутих круглих голок (рис. 1е) і $\varphi_1 = \arctg S/2\pi r_{qi}$ - кут підйому гвинтової лінії пружини (рис. 1а), де S - її шаг); ψ_2 - кут повороту навколо осі $O_{II}Y_{II}$ перетину витка пружини, який орієнтовано навколо осі $O_{II}X_{II}$ (ψ_2 - кут нахилу голок, рис. 1е); θ_q - кутовий параметр; P_1 - параметр гвинтового руху деталі; Z_q - координата вздовж осі деталі; H - висота деталі; $e_4 = (0,0,0,1)^T$.

Тривимірна геометрична модель деталей у системі координат інструмента

$$\bar{r}_{iq} = M_{iq} \cdot \bar{r}_q, \quad (2)$$

де M_{uq} - матриця переходу із системи координат деталі у систему координат інструмента, що визначається формоутворюючим кодом верстата.

Код формоутворюючої системи двостороннього торцешліфувального верстату (рис. 2), який є загальним для однобічного торцешліфувального верстату і верстату для шліфування торців голок периферією і торцем круга, у матрицях узагальнених переміщень має вигляд

$$M_{uq} = M_1(-X_2) \cdot M_4(-\varphi) \cdot M_5(\psi) \cdot M_2(Y_c) \cdot M_1(X_c) \cdot M_3(Z_c + P_2 \cdot \theta_\theta) \times \\ \times M_6(-\theta_\theta) \cdot M_1(R_\theta - \Delta R_\theta) \cdot M_6(\theta_v + \theta_{\theta q}) \cdot M_4(\varphi_2) \quad (3)$$

де φ і ψ - кути повороту осі $O_{II}Z_{II}$ обертання шліфувального круга 1 (рис. 2) у горизонтальній і вертикальній площинах; X_c, Y_c, Z_c - координати початку координат O_θ барабана 2 у системі координат $O_c X_{cm} Y_{cm} Z_{cm}$ станини 3; X_2 - вертикальна координата початку координат інструмента O_u відносно початку координат станини O_c , що співпадає з центром шарніра; R_θ - радіус барабана; θ_θ - кутовий параметр; P_2 - параметр гвинтового руху при подачі; θ_v - кут повороту деталі 4 відносно осі базової втулки 5 у площині $X_\theta O_\theta Y_\theta$ при шліфуванні круглих деталей; φ_2 - кут повороту осі $O_q Z_q$ деталі 4 відносно осі втулки 5 за рахунок наявності зазору Δ між деталлю 4 і втулкою 5 (рис. 2, Б-Б); $\theta_{\theta q}$ - кут орієнтації осі $O_q Y_q$ деталі відносно радіуса R_θ барабана (рис. 1d) і (рис. 2, А-А) при шліфуванні торців не круглих де-

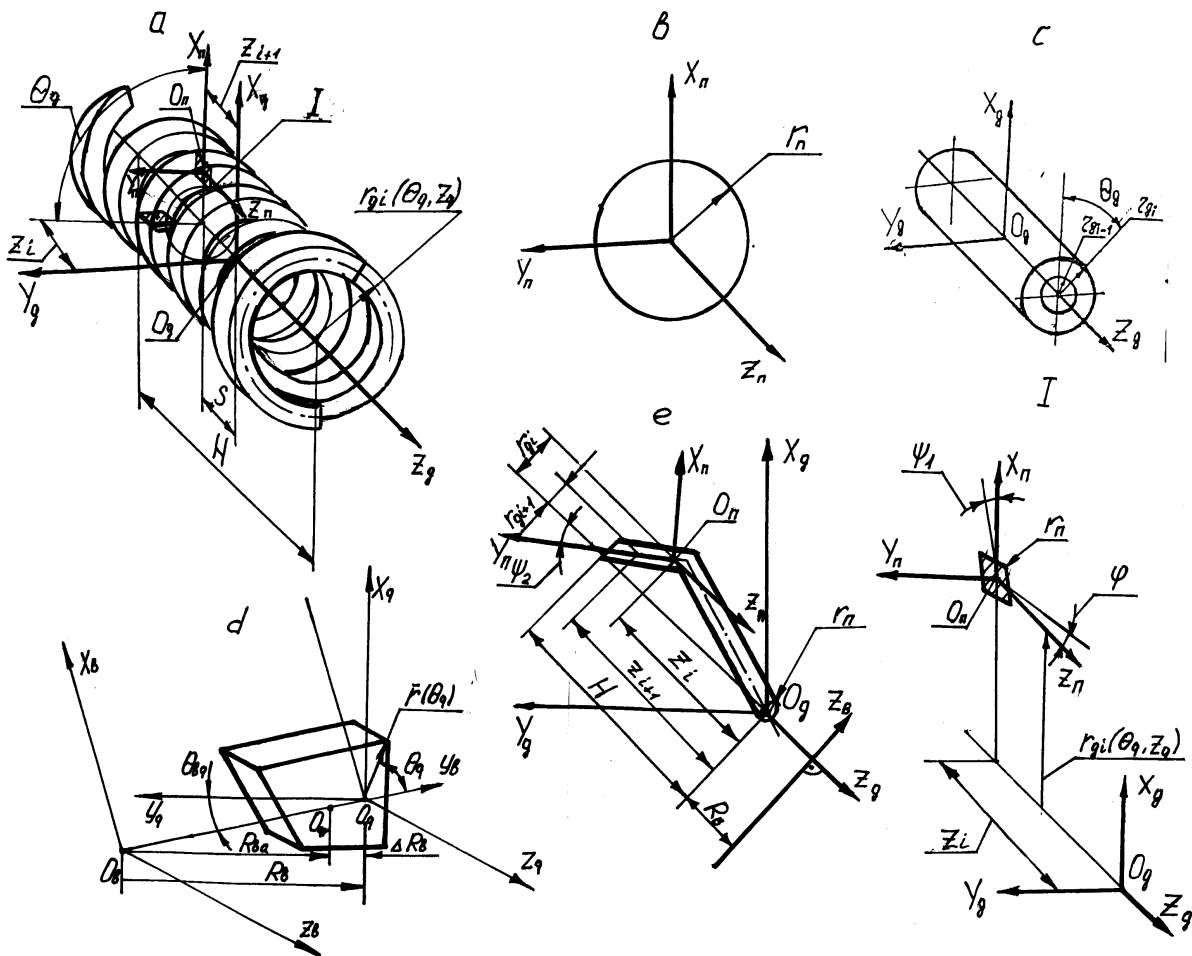


Рисунок 1 – Деталі з робочими торцевими поверхнями

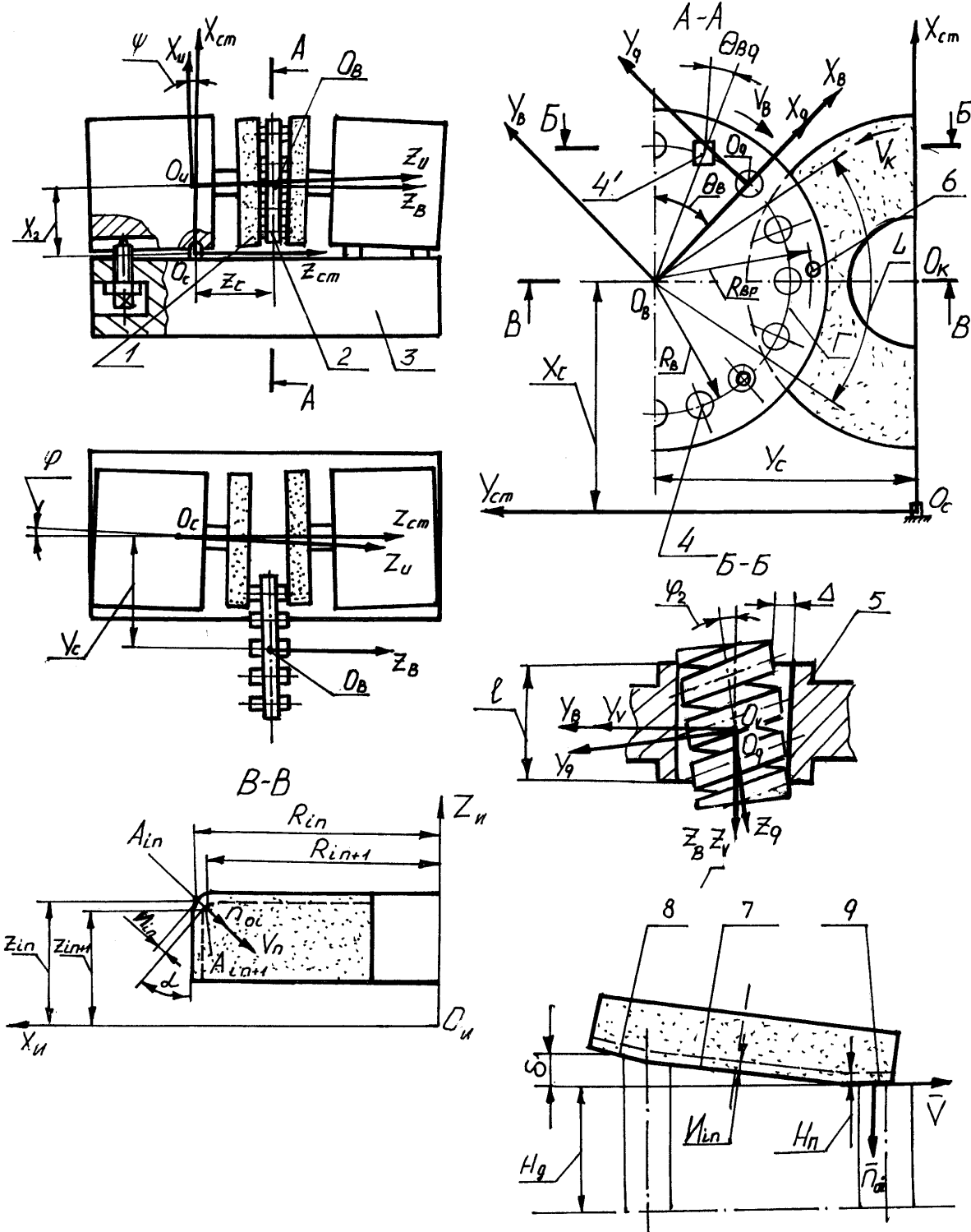


Рисунок 2 – Схема формуючої системи верстату для шліфування торців зі схрещеними осями кругів та деталей

талей, які не обертаються при обробці; ΔR_g - зміщення початку координат O_q деталі вздовж осі $O_g Y_g$ при сполученні осі симетрії O_{qr} мінімальної проекції контуру деталі, яка не обертається, на вісь $O_g Y_g$, що досягається кутом орієнтації θ_{gq} .

$$\varphi_2 = \operatorname{arctg} \frac{\Delta}{l}, \quad (4)$$

де l - довжина базової втулки 5 (рис. 1, Б-Б).

Підставивши вирази (1) і (3) у (2) одержимо радіус-вектор точки поверхні деталі у системі координат інструмента.

Тривимірна геометрична модель поверхні шліфувального круга 1 (рис. 2), у матрицях узагальнених переміщень, з урахуванням методики [4], має вигляд

$$\bar{r}_{in} = M_3(Z_{in}) \cdot M_6(\theta_k) \cdot M_2(R_{in}) \cdot e_4, \quad (5)$$

де R_{in} - радіус перетину круга в межах i -тої точки після обробки n -ої деталі, Z_{in} - її осьова координата; θ_k - кутовий параметр. R_{in} і Z_{in} залежать від початкового профілювання інструмента і кількості оброблених деталей n .

Торцева поверхня шліфувального круга – це слід руху правлячого інструмента 6 (рис. 2, А-А) у системі координат круга 1.

Радіус-вектор \bar{r}_{up} точок поверхні шліфувального круга дорівнює

$$\bar{r}_{up} = M_{up} \cdot \bar{r}_p, \quad (6)$$

де \bar{r}_p - радіус-вектор точок правлячого інструмента; M_{up} - матриця переходу з системи координат правлячого інструменту у систему координат круга.

Матриця M_{up} визначається формоутворюючим кодом верстату (рис. 2). Розв'язавши рівняння (6), визначають R_{in} і Z_{in} геометричної моделі (5).

При однопрохідному шліфуванні торців із круговою подачею заготовок 4 (рис. 2, А-А) у зону обробки процеси зняття припуску і формоутворення здійснюються послідовно.

Узагальнена тривимірна геометрична модель зняття припуску і формоутворення має вигляд

$$Q = \int_{i_1}^{i_2} \left(\int \left(\begin{matrix} \theta_{2ki} \\ V_n \cdot R_i \cdot d\theta_k \\ \theta_{1ki} \end{matrix} \right) \sqrt{\left(\frac{dR_i}{di} \right)^2 + \left(\frac{dz_i}{di} \right)^2} \cdot di \right) dT_n, \quad (7)$$

де Q - обсяг металу, що підводиться в зону обробки; T_n - час контакту n -ої деталі 4 (рис. 2) з кругом 1; $V_n = \bar{V} \cdot \bar{n}_{oi}$ - проекція вектора відносної швидкості \bar{V} (рис. 2, В-В) на нормаль \bar{n}_{oi} до поверхні контакту круга і деталі в i -тій точці A_{in} ; $\theta_{1ki}, \theta_{2ki}$ - кутові координати плями контакту на радіусі R_i круга.

$$T_n = \frac{L}{V_{Oq}}, \quad (8)$$

де $L = R_B \cdot \theta_B$ - довжина дуги контакту, на радіусі R_B (рис. 2, А-А) барабана 2, що подає деталі 4, з кругом 1 у межах кута $\theta_B = \theta_{Bn} - \theta_{Bn}$; θ_{Bn}, θ_{Bn} - кути положення деталі в точках n і початку обробки; $V_{Oq} = w_b \cdot R_b$; - лінійна швидкість осі O_q деталі; w_B - кутова швидкість барабана.

Для підвищення продуктивності шліфування запропонована комбінована правка абразивних кругів. Спочатку торцева поверхня 7 (рис. 2г – розгортка L (рис. 2, А-А) дуги контакту деталей 4 з кругом 1 на радіусі R_B барабана 2) круга 1 (рис. 2) правиться алмазним олівцем 6 (рис. 2, А-А) у площині, перпендикулярній осі обертання круга 1. При цьому в рівнянні (6) матриця $M_{up} = M_{uq}$ (3), при $M_4(-\varphi = 0)$, $M_5(\psi = 0)$, $M_1(R_B - \Delta R_B = R_{Bp})$, $M_6(\theta_v + \theta_{bq} = 0)$, $\bar{r}_p = (0,0,0,1)^T$.

Потім круги орієнтують у горизонтальній і вертикальній площинах і правлять алмазними олівцями 6 ділянки 8 (рис. 2, г), що прилягають до зовнішніх діаметрів кругів. При цьому величина радіуса R_{Bp} (рис. 2, А-А), по якому переміщується вершина алмаза 6 при правці, вибирається в залежності від форми оброблюваної деталі 4 і її орієнтації в процесі шліфування [1]. На розгортці дуги L (рис. 2, г) показана ділянка 8 для чорнового шліфування, яка знаходиться нижче лінії δ припуску, що знімається. Далі у робочому циклі бере участь плоский торець 7 круга в режимі чистового шліфування і замикаючою є формоутворююча ділянка 9, де скалярний добуток векторів $\bar{V} \cdot \bar{n}_{0i} = 0$.

У робочому циклі шліфування комбінована правка дає можливість розподілити припуск, що δ знімається, між чорною і чистою ділянками і збільшити робочу довжину L дуги контакту деталей з кругом, що підвищує продуктивність обробки.

Лінійний знос I_{in} (рис. 2, В-В) i -тої ділянки профілю круга після обробки n -ної деталі, визначають з виразу

$$I_{in} = \int_{T_0} \frac{C_{yin} \cdot Q_{yin}}{K_\alpha \cdot 2\pi R_{in}} \cdot dT_0, \quad (9)$$

де C_{yin} - коефіцієнт питомого зносу в R_i -тій точці n -ого профілю круга (методика його визначення дана [5]); K_α - коефіцієнт, що враховує перекриття ріжучих кромки; Q_{yin} - питомий об'єм металу, що зрізається i -тою ділянкою n -ого профілю круга, визначається внутрішнім інтегралом у моделі (7); T_0 - час обробки однієї деталі в межах i -тої точки профілю круга.

При подачі барабаном 2 (рис. 2) у зону обробки n деталей в одиницю часу сумарний знос дорівнює

$$I_{i\Sigma} = \sum I_{in}. \quad (10)$$

Радіус перетину круга в межах i -тої точки після обробки наступної, $n+1$ деталі (R_{in+1} , рис. 2, В-В) і її осьову координату (Z_{in+1}) визначають з виразів

$$\begin{aligned} R_{in+1} &= R_{in} + I_{in} \cdot \sin \alpha \\ Z_{in+1} &= Z_{in} - I_{in} \cdot \cos \alpha \end{aligned} \quad (11)$$

де R_{in}, Z_{in} - проекції радіуса-вектора, у площині $X_u O_u Z_u$ системи координат інструмента, текучої A_{in} -тої точки профілю круга до моменту обробки партії, що складається з n деталей (при $n=0$, R_i і Z_i - точки профілю після правки, що визначаються з виразу (6)); α - кут нахилу дотичної до профілю круга в точці A_{in} (рис 2, В-В).

Вирази (9), (10), (11) дозволяють оцінювати поточний знос шліфувальних кругів і визначати їх реальний профіль після обробки партії деталей. Це дає можливість прогнозувати геометричну точність торців, використовуючи методику розрахунку [1].

Дослідження на ЕОМ узагальненої геометричної моделі зняття припуску і формоутворення (7) здійснювалося для оптимізації процесу шліфування торців поршневих пальців (рис. 1с), гвинтових пружин стиску (рис. 1а) і не круглих твердосплавних пластин (рис. 1d) на двосторонньому торцешліфувальному верстаті моделі 3342АДО. Воно показало, що найбільша продуктивність і точність обробки отримана при комбінованій правці шліфувальних кругів (рис. 2г), з обертанням поршневих пальців і циліндричних пружин стиску в процесі формоутворення. Правка зовнішньої формотворної ділянки 9 (рис. 2г) круга 1 здійснювалася алмазним олівцем 6, який був встановлений на радіусі $R_{gp} = R_g + r_{qcp}$ (рис. 2, А-А) барабана, що подає, (r_{qcp} - середній радіус пружини чи втулки). При шліфуванні не круглих твердосплавних пластин, які не обертаються в процесі формоутворення, $R_{gp} = R_g$. Новий спосіб комбінованої правки кругів впроваджений на Чернігівському заводі «Агрореммаш» при шліфуванні поршневих пальців і пружин демпфера диска зчеплення автомобіля ГАЗ 53М.

Розроблена тривимірна (3D) геометрична модель взаємозалежних процесів зняття припуску, формоутворення і профілювання абразивних кругів при шліфуванні торців. Вперше, при обробці кожної наступної деталі, профіль круга корегується на величину зносу, з-за шліфування попередньої деталі. Дослідження моделі на ЕОМ підтвердило її універсальність.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кальченко В.В. Определение геометрической погрешности шлифования торцов профилированным и ориентированным инструментом // Вестник НТУУ «Киевский политехнический институт». Машиностроение, №37, 1999.- с. 138-142.
2. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение; 1986, - 336 с.
3. Кальченко В.В. 3D моделирование обрабатываемых поверхностей при шлифовании со скрещивающимися осями кругов и деталей // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць НТУ «ХПІ», – Харків, 2001 – Вип.1 (4) – с. 149 – 153.
4. Кальченко В.В. Общая трехмерная (3D) модель поверхностей кругов при шлифовании со скрещивающимися осями инструмента и деталей // Вісник національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”: Збірка наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. - 2001. - №6. – с. 114 – 118.
5. Кальченко В.В., Пасов Г.В., Лясота В.Ю. Активный контроль зняття припуску при шліфуванні торців циліндричних деталей, які не обертаються. / Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах – Хмельницький, 1999, №3, с. 165-167.