

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА І РЕМОНТУ ПОРШНЕВИХ ПАЛЬЦІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Вступ

В процесі виробництва і ремонту поршневих пальців використовують безцентрове шліфування. До геометричної точності поршневих пальців пред'являють високі вимоги, так, непрямолінійність твірної поршневих пальців двигуна автомобіля “Камаз” не повинна перевищувати 0,8 мкм [1, 2].

При повздовжньому безцентровому шліфуванні циліндричних поверхонь поршневих пальців відомими способами в процесі зняття припуску вісь обертання деталі постійно змінює своє розташування, що знижує точність шліфування [2, 3, 4]. Не відомі 3D геометричні моделі, які описують траєкторію переміщення осі обертання поршневих пальців в залежності від форми ведучого і шліфувального кругів і опорного ножа. Аналіз таких моделей дає можливість розробити нові способи та технології шліфування зі стабілізацією положення осі обертання деталі в процесі зняття припуску і формоутворення, що підвищить точність і продуктивність обробки.

Методи та результати

Завдяки високій продуктивності безцентрові круглошліфувальні верстати використовують в автомобільній та автотракторній промисловостях. При безцентровому шліфуванні поршневих пальців базування виконується по оброблюваній поверхні деталі. В існуючих верстатах, у процесі зняття припуску, при повздовжньому шліфуванні циліндричних поверхонь деталь, що переміщується в осьовому напрямку, обертається в робочому просторі. Її обробка ведеться зі схрещеними осями ведучого і шліфувального кругів. Точність безцентрового поздовжнього шліфування залежить від форм опорного ножа, ведучого і шліфувального кругів та їхнього взаємного розташування.

Метою досліджень є розробка нових технологій виробництва і ремонту поршневих пальців автомобільних двигунів, які підвищують точність безцентрового поздовжнього шліфування циліндричних поверхонь за рахунок виключення геометричної похибки схеми формоутворення. Для досягнення цієї мети потрібно розробити такий спосіб безцентрового поздовжнього шліфування, який би забезпечив збіг початку координат $O_{q\phi}$ фактичної системи координат деталі і її осей $X_{q\phi}$, $Y_{q\phi}$, $Z_{q\phi}$ з положенням початку координат O_q (рис. 1) номінальної системи

координат деталі 2 і її осями X_q, Y_q, Z_q в процесі шліфування. Тоді малі зміщення початку координат O_q деталі уздовж осей $X_{q\phi}, Y_{q\phi}, Z_{q\phi}$: $\delta_x = \delta_y = \delta_z = 0$, малі кути повороту системи координат $O_q X_q Y_q Z_q$ щодо осей $X_{q\phi}, Y_{q\phi}, Z_{q\phi}$: $\alpha = \beta = \gamma = 0$, і вектор Δ [3] узагальненої геометричної похибки деталі 2 під час обробки дорівнює

$$\Delta = (\delta_x, \delta_y, \delta_z, \alpha, \beta, \gamma)^T = 0 \quad (1)$$

Це положення (1) виконується за умови переміщення початку O_q (рис. 1) координат деталі 2 і її осі $O_q Z_q$ уздовж прямої, що перпендикулярна торцю деталі, в процесі зняття припуску і формоутворення. При повороті деталі 2 відносно осі $O_q Z_q$ під час обробки, також похибка $\Delta = 0$ (1), при $m_{ZA} = 0$, тому що

$$\begin{aligned} m_{ZA} = & -R_q(Z_q) \cdot \sin(\theta_{bc} + \theta_{IA}) \cdot \cos(\theta_{bc} + \theta_{IA}) - \\ & - R_q(Z_q) \cdot \cos(\theta_{bc} + \theta_{IA}) \cdot (-\sin(\theta_{bc} + \theta_{IA})) = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де $R_q(Z_q)$ – поточний радіус оброблюваної деталі в залежності від осьової координати Z_q ;

m_{ZA} – координата моменту m [3, с. 91] одиничного вектора n_A (рис. 1) відносно осі $O_q Z_q$, у точці A контакту шліфувального круга 3 і деталі 2;

θ_{bc} – кутовий параметр, що визначає положення точки C (рис. 1) контакту ведучого круга 1 і деталі 2 щодо осі $O_b Y_b$;

θ_{IA} – параметр, що визначає кутове положення точки A контакту шліфувального круга 3 і деталі 2 відносно осі $O_H Y_H$.

Для забезпечення переміщення початку O_q координат деталі і осі $O_q Z_q$ уздовж прямої, перпендикулярної її торцю, необхідно розробити 3D геометричні моделі профілювання ведучого 1 (рис. 1) [6] і шліфувального 3 кругів і опорного ножа 4. Необхідно також розробити методику розрахунку осьового відносного положення профілюємих ділянок ведучого і шліфувальних кругів і опорного ножа, що забезпечує стабілізацію положення осі O_q обертання деталі під час гвинтового переміщення її в процесі зняття припуску і формоутворення [7].

Для розробки 3D моделі профілювання ведучого круга 1 (рис. 1), при безцентровому повздовжньому шліфуванні циліндричних поверхонь зі стабілізацією положення осі обертання деталей, необхідно мати тривимірні геометричні моделі заготовки та деталі в її системі координат. Конічна зовнішня поверхня з твірною NEK_1 (рис. 1), що являє собою потік заготовок, і циліндрична поверхня з твірною $K_1 K_2$, що представляє оброблювані деталі, можуть бути описані радіусом-вектором r_q комбінованої поверхні обертання 2 (рис. 1), яка охоплює параметри заготовок і деталей

$$\bar{r}_q(Z_q, \theta_q) = M_3(Z_q) \cdot M_6(\theta_q) \cdot M_1(-R_q(Z_q)) \cdot e_4, \quad (3)$$

$R_3 = 6,25 \text{ мм}; \quad Z_q = 50 \text{ мм}; \quad t_1 = 0,22 \text{ мм}; \quad t_2 = 0,03 \text{ мм}; \quad Z_E - Z_N = 21 \text{ мм};$
 $Z_{K1} - Z_E = -4 \text{ мм}; \quad H = 40 \text{ мм}.$

Для профілювання ведучого круга 1 (рис. 1) необхідно скласти рівняння, що визначає лінію контакту,:

$$\bar{V}_{bq} \cdot \bar{n}_q = 0, \quad (6)$$

де \bar{V}_{bq} – вектор швидкості відносного руху поверхні деталі 2 у системі координат ведучого круга 1;

\bar{n}_q – одиничний вектор нормалі до поверхні деталі.

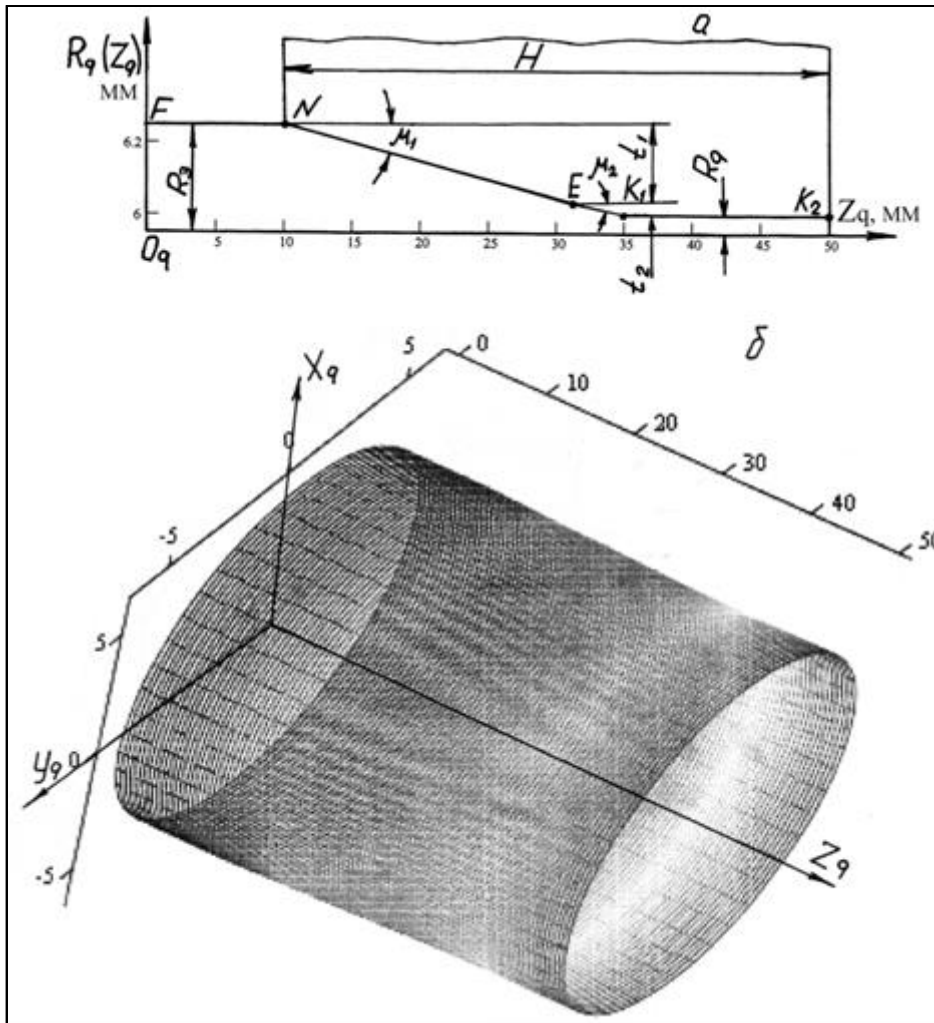


Рисунок 2 – Комбінована поверхня обертання, яка охоплює параметри заготовок і деталей

Вектор нормалі дорівнює векторному добутку векторів дотичних до поверхні деталі. Для їхнього визначення необхідно диференціювати радіус-вектор (3) поверхні деталі по обох параметрах Z_q і θ_q . Для знаходження вектора V_{bq} відносної швидкості необхідно перенести радіус-вектор $\bar{r}_q(Z_q, \theta_q)$ (3) поверхні деталі в систему координат ведучого круга і диференціювати його за часом.

$$\begin{aligned} \bar{r}_{bq}(\theta_b, \psi_b, y_c, X_c, Z_q, \theta_q) = & M_6(\theta_b) \cdot M_5(\psi_b) \cdot M_2(y_c) \times \\ & \times M_1(X_c) \cdot M_3(Z_c) \cdot \bar{r}_q(Z_q, \theta_q), \end{aligned} \quad (7)$$

де \bar{r}_{bq} – радіус-вектор точок поверхні ведучого круга 1 (рис. 1);
 θ_b – кутовий параметр, що визначає кутове положення деталі 2 у системі координат ведучого круга 1;
 ψ_b – кут перехрещування осей обертання ведучого круга 1 і деталі 2;
 X_c, Y_c, Z_c – координати початку координат O_q (рис. 1) деталі 2 у системі координат ведучого круга 1.

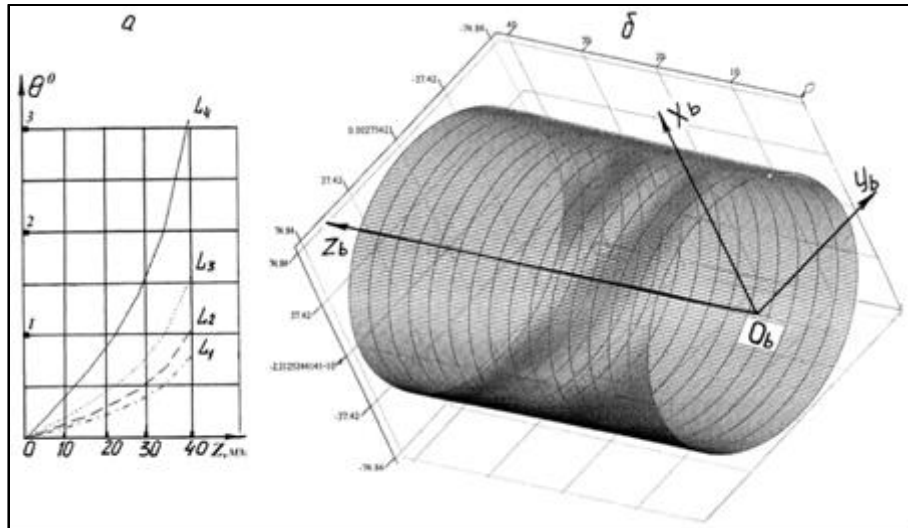


Рисунок 3 – Лінії контакту і поверхня ведучого круга, що розраховані по 3D моделі (6, 7)

У рівнянні (7) кутовий параметр θ_b єдиний, що змінюється за часом обробки, тому, при визначенні вектора відносної швидкості, вектор необхідно диференціювати по параметру θ_b .

Розроблена програма в пакеті MathCAD [5] дозволила розраховувати положення лінії контакту L (рис. 3, а) на поверхні деталі 2 в залежності від кута ψ_b (рис. 1) перехрещування осей її і ведучого круга 1. На рис. 3, а наведені лінії контакту L_1, L_2, L_3, L_4 , розраховані для кутів $\psi_b = 1^\circ, 2, 3, 4^\circ$. При обертанні лінії контакту навколо осі $O_b Z_b$ ведучого круга утвориться його поверхня. На рис. 3, б показана поверхня ведучого круга, що розрахована на базі його 3D моделі (6) (7) для наступних параметрів: $\psi_b = 4^\circ$; $Y_c = 80,75 \text{ мм}$, при найбільшому радіусі 75 мм ведучого круга 1 (рис. 1); $X_c = 6,36 \text{ мм}$; $Z_c = 10 \text{ мм}$. Параметри радіуса-вектора комбінованої поверхні обертання (3) наведені вище.

Для профілювання шліфувального круга 3 (рис. 1) необхідно розробити рівняння, що визначає лінію контакту,:

$$\bar{V}_{uq} \cdot \bar{n}_q = 0, \quad (8)$$

де \bar{V}_{uq} – вектор швидкості відносного руху поверхні деталі 2 у системі координат шліфувального круга 3.

Методика розрахунку одиничного вектора нормалі до поверхні деталі, наведена вище (6) (7). Для знаходження вектора відносної швидкості необхідно перенести радіус-вектор (3) поверхні деталі в систему координат шліфувального круга 3 і диференціювати його за часом (по параметру θ_u).

$$\begin{aligned} \bar{r}_{uq}(\theta_H, \psi_H, Y_{CH}, X_C, Z_q, \theta_q) = & M_6(\theta_H) \cdot M_5(\psi_H) \times \\ & \times M_2(-Y_{CH}) \cdot M_1(X_{CH}) \cdot M_3(Z_{CH}) \cdot \bar{r}_q(Z_q, \theta_q), \end{aligned} \quad (9)$$

де \bar{r}_{uq} – радіус-вектор точок поверхні шліфувального круга 3 (рис. 1);
 θ_u – параметр, що визначає кутове розташування деталі 2 у системі координат шліфувального круга 3;
 X_{CH}, Y_{CH}, Z_{CH} – координати початку координат O_q деталі в системі координат шліфувального круга;
 ψ_H – кут перехрещування осей обертання шліфувального круга 3 і деталі 2.

Розроблена програма в пакеті MathCAD дозволила розраховувати положення лінії контакту на поверхні деталі 2 в залежності від параметрів комбінованої поверхні обертання (3), що враховує параметри заготовки і деталі, кута ψ_H перехрещування осей її і шліфувального круга, і координат розташування деталі в системі координат круга 3.

При обертанні лінії контакту навколо осі $O_u Z_u$ шліфувального круга утвориться його поверхня. Поточний радіус R_i (рис. 4) поверхні шліфувального кола, у точці i , дорівнює

$$R_i = \sqrt{X_{iL}^2 + Y_{iL}^2}, \quad (10)$$

де X_{iL}, Y_{iL} – координати лінії контакту в системі координат шліфувального круга.

Поточна осьова координата Z_i (рис. 4) перетину поверхні шліфувального круга з радіусом R_i , дорівнює

$$Z_i = Z_{iL}, \quad (11)$$

де Z_{iL} – осьова координата лінії контакту в системі координат круга.

На рисунку 4 показана поверхня шліфувального круга, що розрахована для наступних параметрів: $Y_{cu} = 105,79$ мм, при найбільшому радіусі 100 мм шліфувального кола 3 (рис. 1); $X_{cu} = 6,36$ мм; $\psi_u = 0$, $Z_{cu} = 10$ мм.

Тривимірна геометрична модель шліфувального круга, з врахуванням отриманих розрахункових i -тих точок профілю, має вигляд

$$\bar{r}_H(\theta_H, i) = M_3(Z_i) \cdot M_6(\theta_H) \cdot M_2(R_i) \cdot e_4, \quad (12)$$

де \bar{r}_H – радіус-вектор точок поверхні шліфувального круга;
 θ_H – кутовий параметр точки i профілю круга.

3D геометричної моделі точок робочої поверхні опорного ножа 4 (рис. 1) описується радіус-вектором

$$\bar{r}_H = M_3(Z_H) \cdot M_1(X_H(Z_H)) \cdot M_2(Y_H(Z_H)) \cdot e_4, \quad (13)$$

де Z_H – поздовжня координата твірної робочої поверхні ножа;

$X_H(Z_H)$ – поперечна координата в напрямку, перпендикулярному осі

O_qZ_q обертання деталі, в залежності від поточної координати Z_H

(рис. 1);

$Y_H(Z_H)$ – координата, що визначає поточну ширину робочої поверхні

опорного ножа в залежності від координат Z_H і бічних площин 5

(рис. 1).

В рівнянні (13) поточна координата дорівнює

$$X_H(Z_H) = [tg\mu_2 \cdot (Z_H - Z_{K1}) \cdot (\Phi(Z_H - Z_{K1}) + \Phi(Z_H - Z_E))] + t_2 \cdot \Phi(Z_H - Z_E) + t_1 \cdot \Phi(Z_H - Z_N) + [tg\mu_1 \cdot (Z_H - Z_E) \cdot (\Phi(Z_H - Z_E) + \Phi(Z_H - Z_N))], \quad (14)$$

де значення параметрів у рівнянні (14) аналогічні значенням у рівняннях (4) і (13).

Початок O_u (рис. 1) координат $O_H X_H Y_H Z_H$ опорного ножа 4 збігається з точкою K_I (рис. 1 – координати Z_{CH}) твірної деталі. Тому в рівнянні (14) при позитивному значенні координати Z_H , $X_H = 0$. При негативних значеннях Z_H , X_H описується рівнянням (14) і має негативні значення.

Щоб базування деталі 2 на опорному ножі і ведучому крузі виконувалося по поверхні, обробленої шліфувальним кругом, необхідно їх елементи базування змістити в осьовому напрямку щодо шліфувального круга. При цьому однойменні точки твірних шліфувального круга 3, опорного ножа 4 і ведучого круга 1 повинні розташовуватися на гвинтовій лінії з параметром

$$P = \frac{S_0}{2\pi}, \quad (15)$$

де S_0 – величина осьової подачі деталі 2 на один оберт.

Для виконання цих умов осьовий зсув Z_{OH} ножа дорівнює

$$Z_{OH} = \theta_{3H} \cdot P, \quad (16)$$

де $\theta_{3H} = 90^\circ - (\theta_H + \theta_{II})$ – кут між точками A і B (рис. 1) контакту деталі 2 зі шліфувальним кругом 3 і опорним ножем 4;

θ_H – кут нахилу площини ножа.

Осьовий зсув Z_{ob} ведучого круга 1 дорівнює

$$Z_{ob} = \theta_{3b} \cdot P, \quad (17)$$

де $\theta_{3b} = 180^\circ - (\theta_H + \theta_b)$ – кут між точками A і C (рис. 1) контакту деталі 2 зі шліфувальним 3 і ведучим 1 кругом.

Для опису 3D моделі процесу зняття припуску формоутворення необхідно отримати рівняння, що визначає лінію контакту шліфувального круга 3 (рис. 1) і деталі 2,:

$$\bar{V}_H \cdot \bar{n}_H = 0, \quad (18)$$

де \vec{V}_H – вектор швидкості відносного руху круга в системі координат деталі;

\vec{n}_H – одиничний вектор нормалі до поверхні круга.

Для визначення векторів, дотичних до поверхні шліфувального круга, при визначенні вектора нормалі до неї необхідно диференціювати радіус-вектор $\vec{r}_H(\theta_H, i)$ (12) поверхні круга по обох параметрах θ_H та i . Для визначення вектора швидкості \vec{V}_H необхідно перенести радіус-вектор $\vec{r}_H(\theta_H, i)$ у систему координат деталі і диференціювати за часом.

$$\vec{r}_{qH}(Z_{CH}, \theta_q, \psi_H, Y_{CH}, X_{CH}, \theta_H, i) = M_3(Z_{CH}) \cdot M_6(\theta_q) \times \\ \times M_5(-\psi_{CH}) \cdot M_2(Y_{CH}) \cdot M_1(-Z_{CH}) \cdot \vec{r}_H(\theta_H, i), \quad (19)$$

де \vec{r}_{qH} – радіус-вектор точок оброблюваної поверхні. Значення інших параметрів у рівнянні (19) аналогічні наведеним у рівняннях (9) і (12).

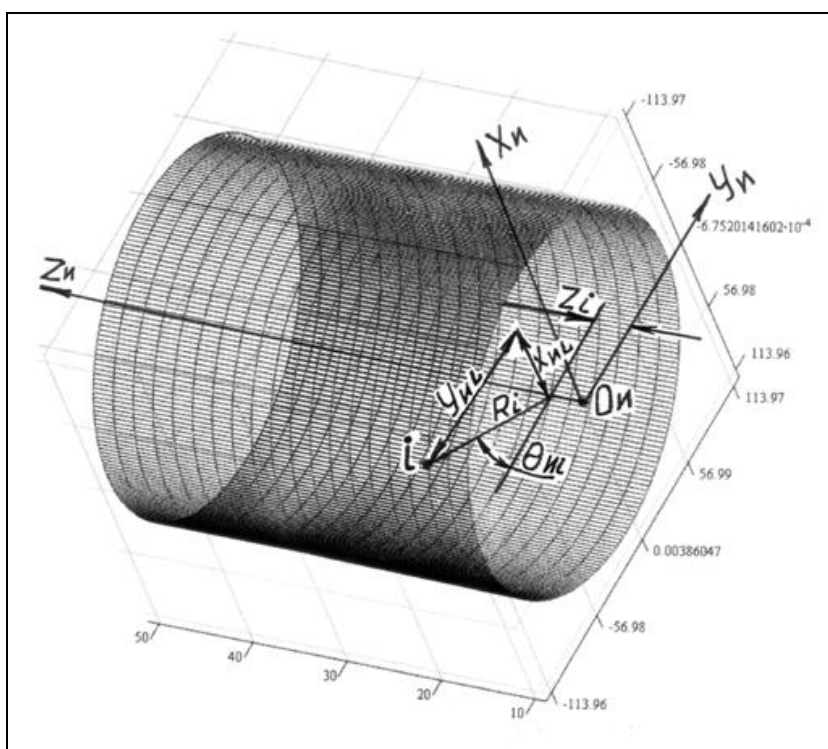


Рисунок 4 – Робоча поверхня шліфувального круга, що розрахована по 3D моделі (8, 9)

Координата Z_{CH} початку координат шліфувального круга 3 у системі координат деталі 2, у процесі зняття припуску і формоутворення, дорівнює

$$Z_{CH} = Z_0 - r \cdot \theta_q, \quad (20)$$

де Z_0 – осьова координата, що відповідає початку обробки деталі.

У рівняннях (19), (20) кутовий параметр θ_q єдиний, який змінюється за часом обробки, і при визначенні вектора відносної швидкості, \vec{r}_{qH} (19) диференціюють по параметру θ_q .

Розроблено програму в пакеті MathCAD, що дає можливість розраховувати положення лінії контакту на поверхні шліфувального круга в залежності від поточного значення осьової координати Z_{CH} (20) і

встановленого кута ψ_i перехрещування осей. При обертанні лінії контакту навколо осі деталі по гвинтовій лінії з параметром p (15) утворюється поточна поверхня заготовки.

Рівняння (17-20) представляють собою 3D моделі зняття припуску і формоутворення циліндричних поверхонь при безцентровому шліфуванні. При $Z_{CH} = Z_o$ – заготовка 2 (рис. 1) торкається шліфувального круга 3 в точці А (рис. 1), потім внаслідок її повороту на кут θ_{3H} (16) – ножа 4 в точці В, а через кут θ_{3b} (17) – ведучого круга 1 в точці С. Коли $Z_{CH} = Z_E - Z_N$, а координата Z_{K2} заготовки 2 співпадає з торцем шліфувального круга 3 висотою Н (рис. 1) (рис. 2, а), отримуємо поверхню заготовки, наведену на рисунку 2, б. При $Z_{CH} \geq Z_{K2}$ одержимо оброблену циліндричну поверхню з радіусом R_q (рис. 2, а) деталі 2, що торкається кругів у точках A_1, B_1, C_1 .

Висновки

Розроблено новий спосіб безцентрового поздовжнього шліфування циліндричних поверхонь та на його базі нові технології виробництва і ремонту поршневих пальців, тривимірні геометричні моделі процесів профілювання кругів, опорного ножа, зняття припуску і формоутворення. Підвищення точності шліфування здійснюється за рахунок виключення геометричної похибки схеми формоутворення. Це забезпечується профілюванням опорного ножа, ведучого і шліфувального кругів і їх осьовим відносним розташуванням.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Конарчук В.С.* Виробничі системи на транспорті: Підручник. – К.: Вища школа, 2007. – 256 с.
2. *Прохоров А.Ф., Константинов К.Н., Волков Л.П.* Наладка и эксплуатация бесцентровых шлифовальных станков.– М.: Машиностроение, 1976. – 192 с.
3. *Решетов Д.Н., Портман В.Т.* Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
4. *Филькин В.П., Колтунов И.Б.* Прогрессивные методы бесцентрового шлифования. – М.: Машиностроение, 1971. – 204 с.
5. *Дьяконов В.* MathCAD: Учебный курс - СПб: Питер, 2000. – 592 с.
6. *Кальченко В.В.* Безцентрове поздовжнє шліфування циліндричних поверхонь зі стабілізацією положення осі обертання деталей. // Вісник Тернопільського держ. технічн. ун-ту. Науковий журнал. Тернопіль – 2003, Том 8, №3, С. 83–90.
7. *Кальченко В.В.* Повышение точности бесцентрового продольного шлифования цилиндрических деталей // Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповіді міжнар. науково-практичної конференції 20-21 травня 2004р. Харків: НТУ “ХПИ”, С. 124 – 125.