**УДК 621.7.015**

**І.О. Петряєва**, асп.
*Донецький національний технічний університет, Україна*
*Тел./Факс:* +38 (062) 3050104; *E-mail:* irina_petryaeva@mail.ru

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ПІД ЧАС ОБРОБКИ ФАСОННОЇ ПОВЕРХНІ

*В статті наведені данні щодо визначення впливу поголовних та допоміжних кутів в плані леза різального інструменту на шорсткість для заданих радіусів при вершині леза та подач під час обробки криволінійних поверхонь.*
***Ключові слова:*** *шорсткість поверхні, кути в плані, криволінійна поверхня, подача, радіус при вершині.*

## 1. Вступ

Деталі, що мають фасонні поверхні є досить поширеними у машинобудуванні, тому забезпечення заданого рівня їх якості – важлива задача, в зв'язку з чим виконані дослідження впливу геометричних параметрів інструменту на шорсткість оброблених поверхонь досить актуальні.

В теперішній час широко відомі загальні закономірності формування шорсткості оброблених поверхонь в залежності від умов механічної обробки [1, 2], які є основою прогнозування рівня шорсткості на стадії проектування технологічних процесів та керування параметрами шорсткості на етапі виготовлення деталей машин.

Процес обробки фасонних поверхонь істотно відрізняється від обробки циліндричних поверхонь, оскільки має місце складний нестаціонарний характер. Це зумовлено зміною ряду геометричних параметрів леза інструменту і параметрів зрізу поверхневого шару, пов'язаною з кривизною поверхні [3], що суттєво ускладнює аналіз впливу цих параметрів на рівень шорсткості. Дослідження в цьому напрямку досить обмежені. В роботі [4], присвяченій направленому формуванню показників якості деталей, розглянуті питання обробки фасонних поверхонь, однак характер та ступінь впливу змінних параметрів процесу різання на шорсткість не досліджувалися.

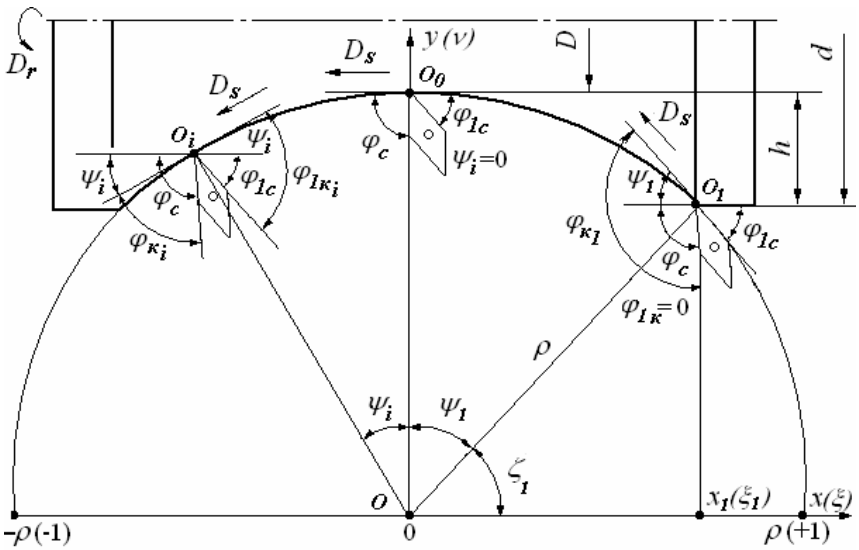


Рис. 1. Схема визначення кутів у плані леза інструменту під час токарної обробки симетричної увігнутої криволінійної поверхні

## 2. Основний зміст і результати роботи

Криволінійні поверхні реальних поверхонь зазвичай складаються з різноманітних сполучень основних типів опуклих та увігнутих поверхонь.

© Петряєва І.О., 2014

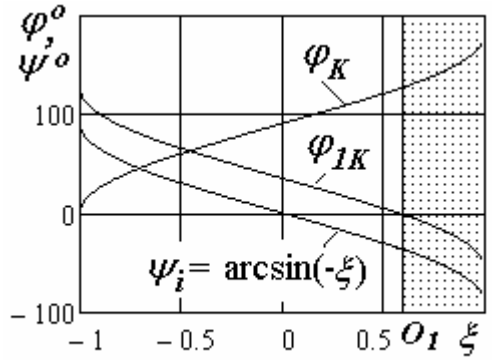


Рис. 2. Графіки зміни кінематичних кутів у плані під час обробки увігнутої поверхні

Приклад визначення кінематичних головних $\varphi_K$ та допоміжних $\varphi_{1K}$ кутів у плані для симетричної увігнутої поверхні, яка оброблюється інструментом з ромбічною пластиною із статичними кутами в плані: $\varphi_C$ = 90°; $\varphi_{1C}$ = 35° наведений на рис. 1.

Графіки зміни кінематичних кутів у плані для цієї поверхні наведені на рис. 2.

Особливістю симетричної увігнутої поверхні є можливість обробки одним інструментом поверхні, починаючи з точки $O_1$, для якої кут у плані $\varphi_{1K}$ = 0°; $\psi_1 = \varphi_{1C}$. Безрозмірні координати точки $O_1$: $\xi_1 = \sin(\varphi_{1C})$; $\nu_1 = \cos(\varphi_{1C})$.

Максимальна можлива для обробки безрозмірна глибина увігнутої поверхні: $h/\rho = 1\text{-}\cos(\varphi_{1C})$.

Область неможливої обробки на рис. 2 заштрихована.

Графіки зміни кінематичних кутів у плані для цієї поверхні наведені на рис. 2.

Особливістю симетричної увігнутої поверхні є можливість обробки одним інструментом поверхні, починаючи з точки $O_1$, для якої кут у плані $\varphi_{1K}$ = 0°; $\psi_1 = \varphi_{1C}$.

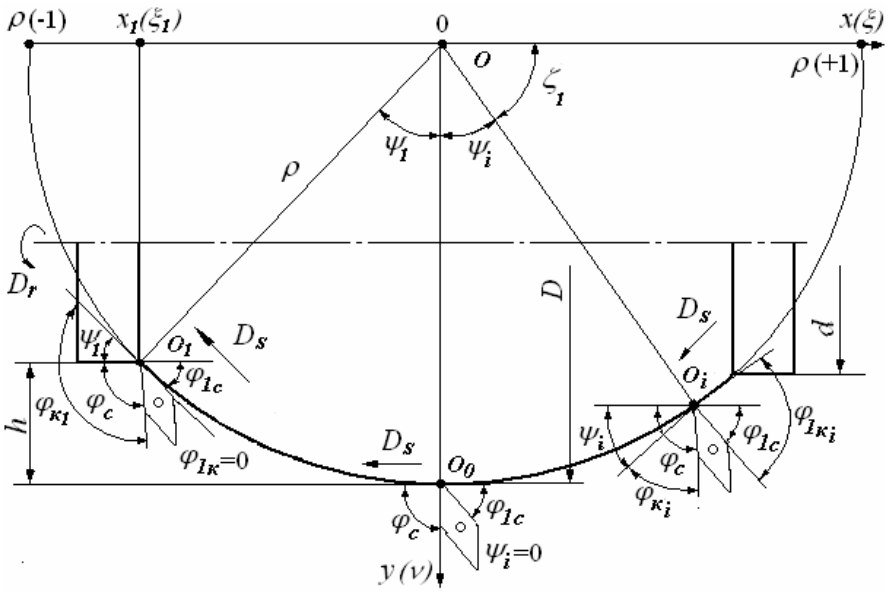


Рис. 3 Схема визначення кутів у плані леза інструменту під час токарної обробки симетричної опуклої криволінійної поверхні

Безрозмірні координати точки $O_1$:
$\xi_1 = \sin(\varphi_{1C})$;
$\nu_1 = \cos(\varphi_{1C})$.

Максимальна можлива для обробки безрозмірна глибина увігнутої поверхні:
$h/\rho = 1 - \cos(\varphi_{1C})$.
Область неможливої обробки на рис. 2 заштрихована.

Для кута у плані $\varphi_{1C}$ = 35° безрозмірні координати точки $O_1$(0,574; 0,819); безрозмірна глибина увігнутої поверхні $h/\rho$ = 0,181.

Приклад визначення кінематичних головних $\varphi_K$ та допоміжних $\varphi_{1K}$ кутів у плані для симетричної опуклої поверхні наведений на рис. 3.

Графіки зміни кінематичних кутів у плані для цієї поверхні наведені на рис. 4.

Особливістю симетричної опуклої поверхні є можливість обробки одним інструментом поверхні, закінчуючи в точці $O_1$, для якої кут у плані $\varphi_{1K}$ = 0°; $\psi_1 = \varphi_{1C}$. Безрозмірні координати точки $O_1$: $\xi_1 = \text{-}\sin(\varphi_{1C})$; $\nu_1 = \text{-}\cos(\varphi_{1C})$. Максимальна можли-

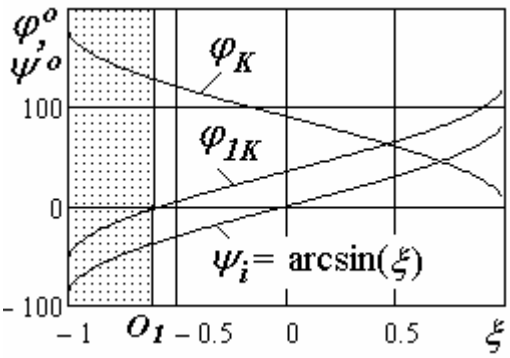


Рис. 4. Графіки зміни кінематичних кутів у плані під час обробки опуклої поверхні

ва для обробки безрозмірна глибина опуклої поверхні: $h/\rho$ = 1 - cos($\varphi_{1C}$). Для кута у плані $\varphi_{1C}$ = 35° в прийнятій системі координат безрозмірні координати точки $O_1$(-0,574; -0,819); безрозмірна глибина увігнутої поверхні $h/\rho$ = 0,181. Область неможливої обробки на рис.4 заштрихована.

Під час обробки різцями середнє арифметичне відхилення профілю визначається наступними загальними рівняннями [1]:

$$R_a = 200\begin{cases} R_{z1},\ \sin\varphi_1 \ge \dfrac{S}{2r} \le \sin\varphi;\ \ R_{z2},\ \sin\varphi_1 < \dfrac{S}{2r} \le \sin\varphi; \\ R_{z3},\ \sin\varphi_1 < \dfrac{S}{2r} \ge \sin\varphi;\ \ R_{z4},\ \sin\varphi_1 \ge \dfrac{S}{2r} \ge \sin\varphi, \end{cases} \quad (1)$$

де $r$ – радіус при вершині різця; $S$ – подача; $\varphi$ – головний кут в плані різця; $\varphi_1$ - допоміжний кут в плані різця; $R_{zi}$ - розрахункова висота нерівностей профілю:

$$R_{z1} = \frac{r}{\cos\gamma} - \frac{\sqrt{4r^2 - S^2}}{2\cos\gamma} + \frac{b_c(2S + b_c)}{32r} + R_u;$$

$$R_{z2} = \frac{r(1-\cos\varphi_1) + \sin\varphi_1\left[S\cos\varphi_1 - \sqrt{S\sin\varphi_1(2r - S\sin\varphi_1)}\right]}{\cos\gamma} +$$

$$+ b_c/(1/tg\varphi + 2r/S) + R_u;$$

$$R_{z3} = \frac{r(1-\cos\varphi)}{\cos\gamma} + \frac{tg\varphi\ tg\varphi_1(S - r(\sin\varphi + \sin\varphi_1)) - rtg\varphi(\cos\varphi_1 - \cos\varphi)}{\cos\gamma(tg\varphi_1 + tg\varphi)} +$$

$$+ b_c/(1/tg\varphi + 1/tg\varphi_1) + R_u;$$

$$R_{z4} = \frac{r(1-\cos\varphi) + \sin\varphi\left[S\cos\varphi - \sqrt{S\sin\varphi(2r - S\sin\varphi)}\right]}{\cos\gamma} +$$

$$+ b_c/(1/tg\varphi + 2r/S) + R_u,$$

де $\gamma$ – передній кут різця; $R_u$ – висота нерівностей профілю на вершині різця; $b_c$ - величина пластичного відтиснення:

$$b_c = 0.5\rho_u(1 - 2\tau_0/\sigma_T),$$

де $\rho_u$ - радіус округлення різальної кромки інструмента; $\sigma_T$, $\tau_0$– межа текучості та зсувна міцність оброблюваного матеріалу.

На рис. 5 наведені графіки залежностей параметра шорсткості поверхні $R_a$ від кутів в плані леза інструмента для наступних умов: радіус при вершині різця $r$ = 0,2*мм*; подача $S$ = 0,2мм/об; головний кут в плані $\varphi$ = 90°; допоміжний кут у плані $\varphi_1$ = 30°.

Графіки свідчать про те, що для заданих умов суттєвий вплив на шорсткість поверхні $R_a$ кути в плані мають лише в діапазоні їх зміни до 30°, коли зі збільшенням як головних, так і допоміжних кутів в плані шорсткість зростає. Подальша зміна кутів у плані не впливає на шорсткість, яка визначається шорсткістю $R_{a1}$ і від них не залежить. Вплив головного кута у плані $\varphi$ при постійному допоміжному куті $\varphi_1$ = 30° визначається відповідно $R_{a4}$, при цьому шорсткість $R_{a2}$, яка залежить від $\varphi_1$, залишається постійною. Вплив допоміжного кута у плані $\varphi_1$ при постійному головному куті $\varphi$ = 90° визначається відповідно $R_{a2}$, при цьому постійною залишається шорсткість $R_{a4}$, яка залежить від $\varphi$.

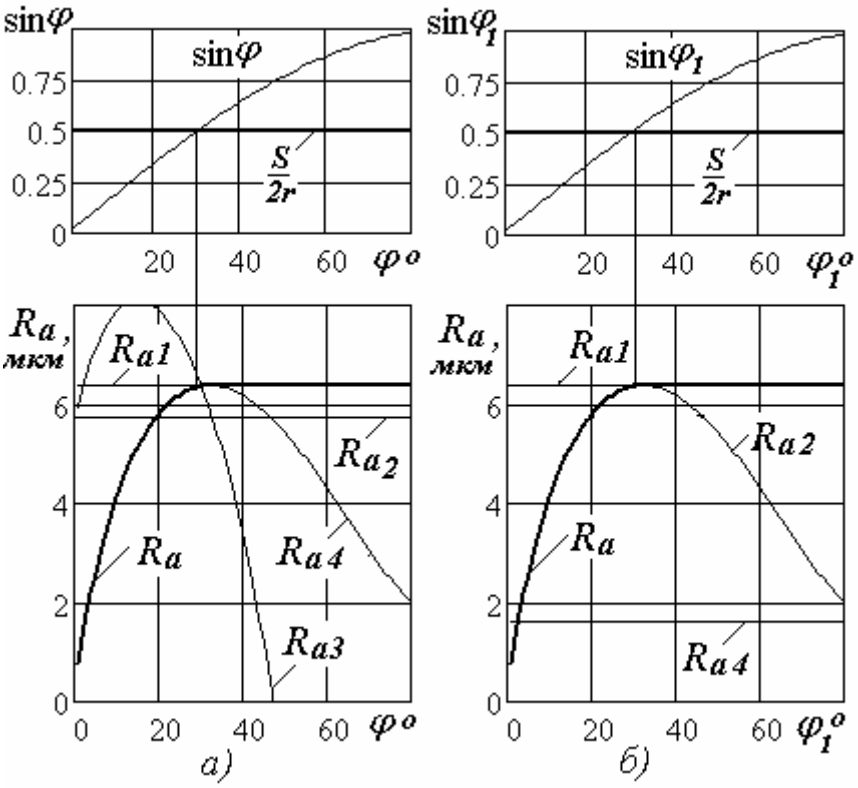


Рис. 5. Графіки залежностей параметрів шорсткості обробленої поверхні $R_{ai}$ від кутів в плані леза інструмента: головних $\varphi$- *а)* та допоміжних $\varphi_1$– *б)*

Особливості формування шорсткості криволінійної поверхні на відміну від раніш досліджених (рис. 5) полягають в одночасній зміні кінематичних головних і допоміжних кутів у плані в залежності від миттєвого кута повороту, або безрозмірної координати $\xi$.

Під час токарної обробки криволінійних поверхонь на станках з ЧПК з постійною контурною подачею $S_K$ = *const*, середнє арифметичне відхилення профілю $R_a(\xi)$ = 0,005$R_z(\xi)$ визначається лише в залежності від кінематичних головних і допоміжних кутів у плані (рис. 6).

Під час токарної обробки криволінійних поверхонь на станках з постійною подачею на оберт $S_o$ = *const*, середнє арифметичне відхилення профілю $R_a(\xi)$ визначається в залежності від кінематичних головних і допоміжних кутів у плані та додатково від змінної фактичної подачі $S_K(\xi) = S_o/\sin\xi$ (рис. 7).

Розрахунки виконані для обробки тригранною пластиною в наступних умовах: радіус при вершині різця $r$ = 1*мм*; подача $S$ = 0,4мм/об; ($S/2r$ = 0,2); головний кут в плані $\varphi_C$ = 90°; допоміжний кут у плані $\varphi_{1C}$ = 30°.

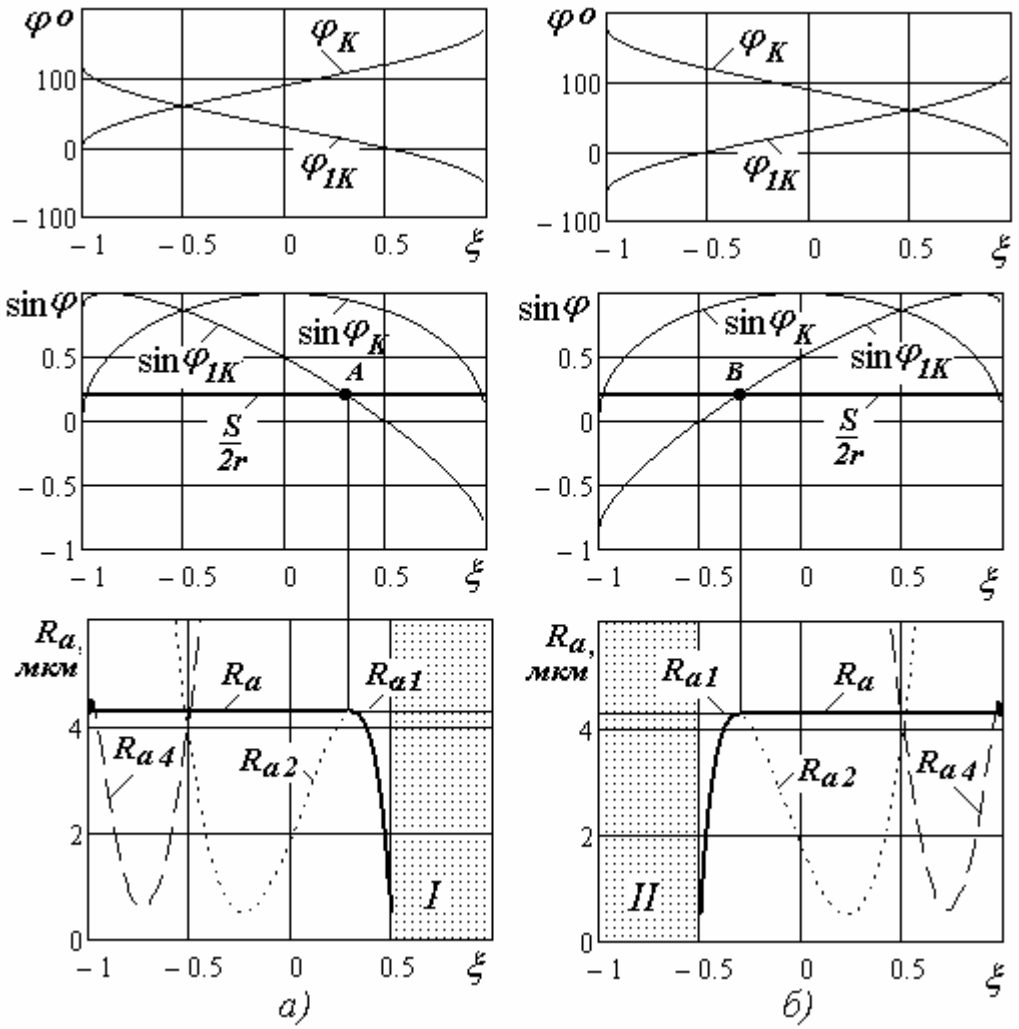


Рис. 6. Графіки зміни кінематичних кутів у плані $\varphi_K$ $\varphi_{1K}$ та параметрів шорсткості $R_a$ для увігнутих - *а)* та опуклих - *б)* криволінійних поверхонь в залежності від безрозмірної координати $\xi$

Закономірності зміни кінематичних кутів у плані, досліджені в розділі 2.1 (рис. 2, 4) для обробки з постійною контурною подачею $S_K$, дозволяють встановити, що для увігнутої поверхні до точки $A$, а також для опуклої поверхні після точки $B$, для яких $\sin\varphi_1 \geq S/2r \leq \sin\varphi$, шорсткість залишається постійною, так як визначається шорсткістю $R_{a1}$, яка від кутів у плані не залежить. Після точки $A$ для увігнутої поверхні та до точки $B$ для опуклої поверхні, для яких $\sin\varphi_1 \leq S/2r \leq \sin\varphi$ шорсткість різко зменшується відповідно шорсткості $R_{a2}$.

Заштрихована область $I$ відповідає зоні неможливої обробки інструментом з тригранною пластиною для увігнутої поверхні, область $II$ – для опуклої.

З використанням множинного регресійного аналізу встановлені залежності параметра шорсткості $R_a$ від подачі $S$, радіусу при вершині $r$ та безрозмірної координати $\xi$, яка визначає положення вершини леза на криволінійній поверхні вздовж образуючої:

$$R_{aP}(\xi) = 1{,}4K_R(\xi)S^{1{,}75}r^{-0{,}42}, \qquad (2)$$

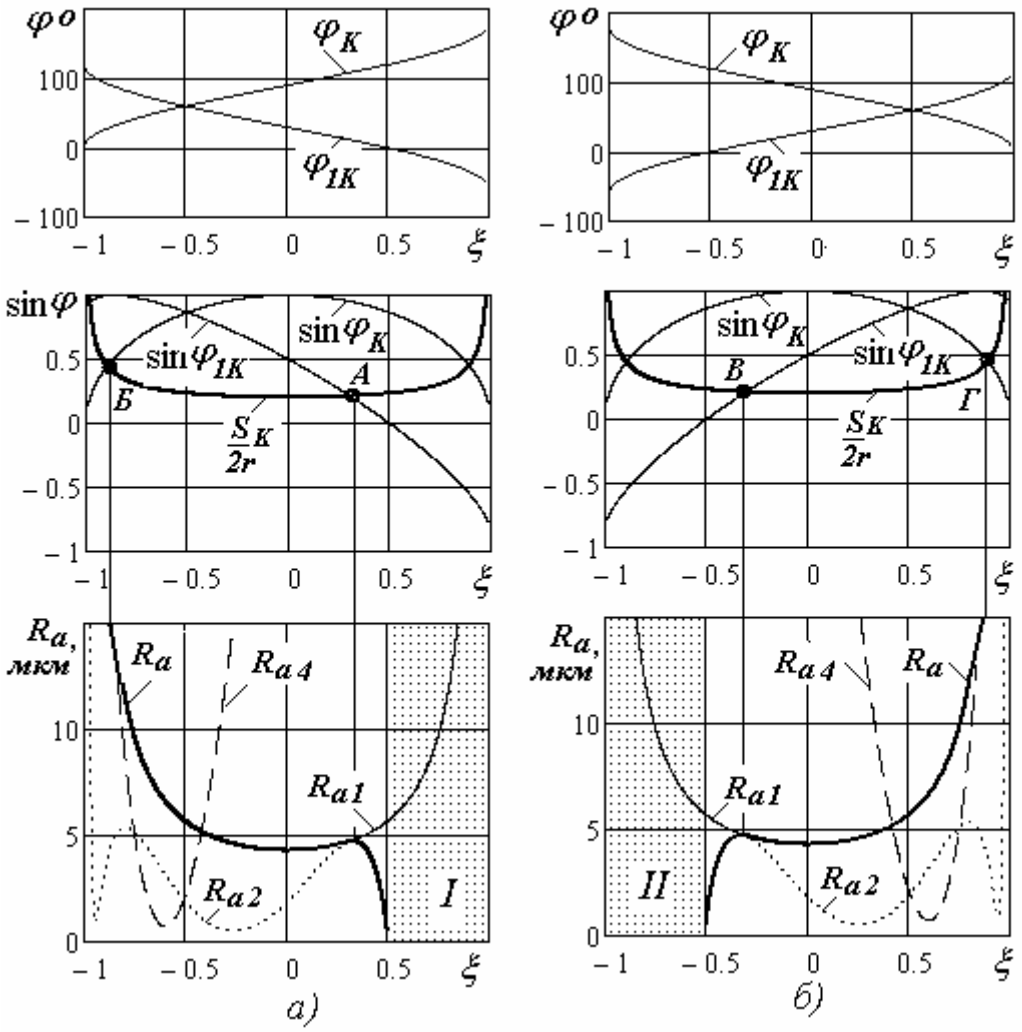


Рис. 7. Графіки зміни кінематичних кутів у плані $\varphi_K$ $\varphi_{1K}$ та параметрів шорсткості $R_a$ для увігнутих - *а)* та опуклих - *б)* криволінійних поверхонь в залежності від безрозмірної координати $\xi$

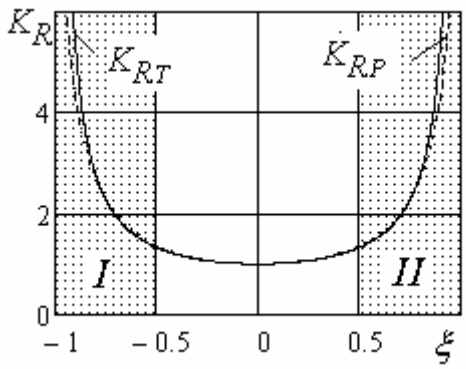


Рис. 8. Графіки зміни коефіцієнта відносного параметра шорсткості $K_R$ під час обробки криволінійних поверхонь

де $K_R(\xi)$ - коефіцієнт відносного параметра шорсткості в залежності від безрозмірної координати $\xi$, яка визначає положення вершини леза на криволінійній поверхні вздовж образуючої:

$$K_R(\xi) = 1/\cos(p\xi);\ p = \frac{1}{\xi_o}\arccos\left(\frac{R_a(0)}{R_a(\xi_o)}\right). \quad (3)$$

Коефіцієнт $p$ розраховується для фіксованого значення безрозмірної координати $\xi = \xi_o$. Для $\xi_o = 0{,}75$ значення параметра $p = 1{,}485$.

Коефіцієнт $K_{RT}(\xi) = R_a(\xi)/R_a(0)$ (рис. 8), розрахований за теоретичною залежністю сили різання (3) характеризує відносний параметра шорсткості $R_a$. Графіки, наведені на рис. 8, свідчать, що результати розрахунків

температури різання за теоретичними $K_{RT}(\xi)$ та регресійними $K_R(\xi)$ залежностями достатньо співпадають (з похибкою, що не перевищує 5%). Це підтверджує можливість використання отриманих регресійних залежностей шорсткості обробленої поверхні $R_{aP}(\xi)$ від подачі $S$, радіусу при вершині $r$ та безрозмірної координати $\xi$ для практичних розрахунків шорсткості в будь яких умовах обробки криволінійних поверхонь.

В загальному вигляді залежність параметра шорсткості $R_a$ від подачі, радіусу при вершині $r$ та безрозмірної координати $\xi$, з урахуванням коефіцієнта відносної зміни параметра шорсткості вздовж безрозмірної координати $K_R(\xi)$ може бути представлена:

$$R_a(\xi) = C_R K_R(\xi) S^{y_R} r^{z_R}. \quad (4)$$

**3. Висновки**

На підставі встановлених закономірностей зміни кінематичних кутів у плані леза інструменту під час токарної обробки криволінійних поверхонь визначений вплив головних та допоміжних кутів у плані леза інструменту на шорсткість обробленої поверхні.

В результаті виконаних досліджень встановлені кількісні зв'язки шорсткості з кутами у плані леза інструменту, які дають підставу для розробки методів керування шорсткістю під час обробки криволінійних поверхонь.

**Список літератури:**

1. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов. - М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.

2. Качество машин: справочник: в 2 т. / [А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др.]. – М.: Машиностроение, 1995. – –

Т.1. - 1995. – 256 с.

3. Грановский Г.И. Резание металлов: учебник для вузов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. - М.: Высш. шк., 1985. - 304 с.

4. Марецкая В.В. К вопросу автоматизации направленного формирования показателей качества деталей / В.В. Марецкая // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008. – №3. – С. 29-34.

Надійшла до редакції 24.02.2014

**И.А. Петряева**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ФАСОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*В статье приведены данные по определению влияния главных и вспомогательных улов в плане лезвия режущего инструмента на шероховатость для заданных радиусов при вершине лезвия и подач при обработке криволинейных поверхностей.*

***Ключевые слова:*** *шероховатость поверхности, углы в плане, криволинейная поверхность, подача, радиус при вершине.*

**I.A. Petryaeva**

**INVESTIGATION OF ROUGHNESS PARAMETERS IN THE PROCESSING OF THE CONTOURED SURFACE**

*The article presents the data to determine the influence of main and auxiliary angles in terms of cutting tool roughness for a given corner radius and blade innings while processing curved surfaces.*

***Key words:*** *surface roughness, angles in terms, the curved surface, inning, corner radius.*