

УДК 621.923

Теоретичні дослідження лінійних параметрів зони контакту різальної поверхні круга із деталлю та увігнутості при плоскому торцевому шліфуванні з нахилом осі шпинделя

І. М. Пижов¹⁾, В. Г. Клименко²⁾

¹⁾ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002;

²⁾ Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, Україна, 36011

Article info:

Paper received:

12 January 2015

The final version of the paper received:

25 February 2016

Paper accepted online:

05 March 2015

Correspondent Author's Address:

¹⁾ diamet@inbox.ru²⁾ klim_poltava@mail.ru

Виконано теоретичні дослідження, що дозволили одержати аналітичні залежності, які пов'язують такі параметри зони контакту різальної поверхні круга з деталлю, як довжина, ширина, довжини дуги та відхилення форми плоскої поверхні в умовах плоского торцевого шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя. Установлено роль у цьому процесі таких факторів, як кут попереднього нахилу осі шпинделя, глибину шліфування та діаметр круга. Це дає можливість коректного визначення величини поперечної подачі (при багатопрохідній схемі обробки) яка, як відомо, повинна узгоджуватися зі значенням ширини контакту різальної поверхні круга з деталлю. Це гарантовано забезпечує відсутність на обробленій поверхні ділянок, які не зачепить круг. При шліфуванні «на прохід» одержані теоретичні залежності дають можливість визначати умови обробки з урахуванням допустимого значення відхилення форми плоскої поверхні. Все це дозволяє удосконалити процес плоского торцевого шліфування і тим самим розширити його технологічні можливості.

Ключові слова: зона контакту, параметри зони контакту, кут нахилу осі шпинделя, глибина шліфування, діаметр круга, увігнутість.

ВСТУП

Перспективність плоскої схеми шліфування підтверджується тим, що значна кількість деталей у машинобудуванні мають плоскі поверхні [1] і підлягають різним видам обробки (обдирне, попереднє, чистове і прецизійне) на плоскошліфувальних верстатах. Значне місце у цьому процесі займає плоске торцеве шліфування, яке має низку переваг порівняно зі схемою, яка базується на застосуванні периферійних шліфувальних кругів [2-5]. Процес плоского торцевого шліфування, що виконується як на верстатах із вертикальним, так і з горизонтальним розміщенням шпинделя, може бути реалізований як на «прохід», так і за багатопрохідною схемою обробки. Ці схеми мають особливості, які необхідно враховувати при розробленні технологічних операцій плоского шліфування.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Одним із підходів, що забезпечує зменшення ступеня нагрівання, а отже, і деформації оброблюваної заготовки при шліфуванні (особливо зі збільшеними глибинами обробки) за рахунок зменшення площі контакту різальної поверхні круга (РПК) із деталлю, є попередній нахил осі шпинделя на кут α [2-5]. Залежно від напрямку поздовжньої подачі процес може

бути здійснений як за звичайною ($S_{\text{под.зв.}}$), так і глибинною ($S_{\text{под.гл.}}$) схемами.

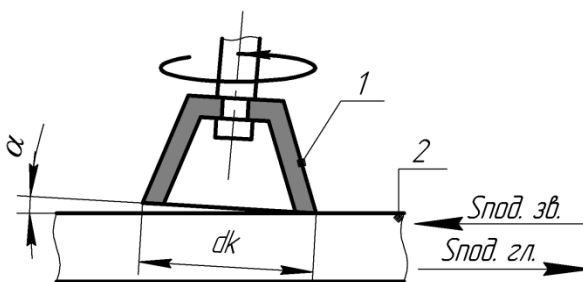


Рисунок 1 – Схема плоского торцевого шліфування з нахилом осі шпинделя: 1 – торцевий круг; 2 – деталь

У цій роботі розглядається глибинна схема хоча багато зроблених висновків стосується і звичайної схеми. Нахил осі шпинделя на кут α (рис. 1) призводить до зміни низки параметрів зони контакту РПК із деталлю, а також впливає на формоутворення оброблюваної поверхні виробу. До параметрів зони контакту при застосуванні глибинної схеми можна віднести (рис. 2) довжину W' , довжину дуги L та ширину B' контакту РПК із деталлю, а також висоту залишкових гребінців (у даній статті це питання не

розглядається) та увігнутість Δ (як окремий випадок відхилення від площинності).

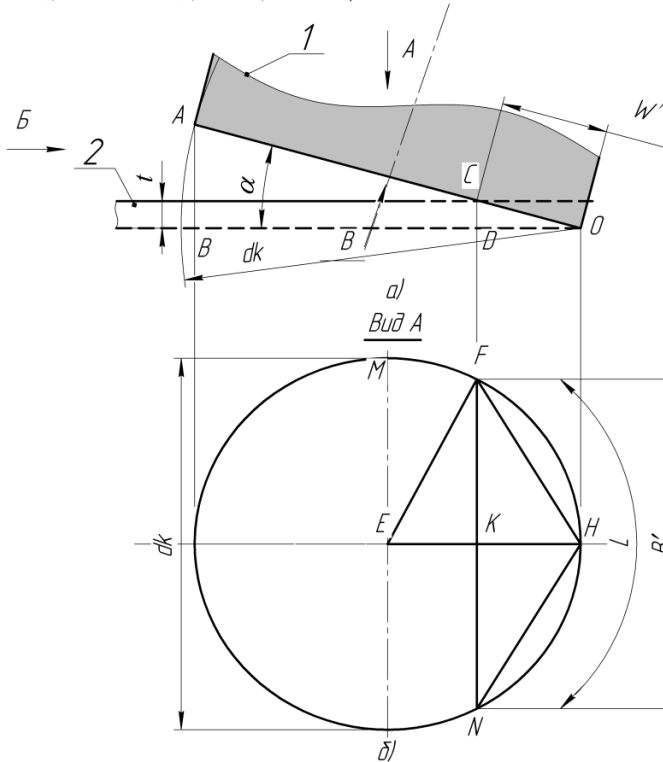


Рисунок 2 – Схема для розрахунку параметрів зони контакту РПК із деталлю

Для визначення площі контакту круга з деталлю потрібно знати як ширину, так і довжину контакту РПК з оброблювальною поверхнею. Для витримування технічних вимог креслення щодо відхилення від площинності (увігнутість) треба знати, як вона залежить від умов обробки. Аналіз літературних джерел інформації в цьому напрямку стосовно процесу плоского торцевого шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя показав, що вони практично відсутні. Тому результати досліджень, наведені у цій роботі, можна вважати вперше зробленими і актуальними.

МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою досліджень є встановлення теоретичних залежностей для розрахунку лінійних параметрів зони контакту РПК із деталлю та увігнутості при плоскому торцевому шліфуванні з попереднім нахилом осі шпинделя.

ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Поставлене завдання вирішене нами шляхом теоретичних досліджень. Правильність одержаних аналітичних залежностей перевіряли шляхом комп'ютерного геометричного моделювання [6].

Дослідження довжини контакту РПК із деталлю

Аналіз показує, що параметри зони контакту круга з деталлю визначається в основному трьома факторами: кутом нахилу круга α , глибиною шліфування t і діаметром круга d_k (рис. 2). На ньому показана схема контакту торцевого круга 1 з деталлю 2 у

разі, коли вісь шпинделя має нахил на кут α . Як видно з рисунку 2, довжина W' залежить від глибини шліфування t та кута α . У міру збільшення значення кута α при незмінній глибині різання t частина РПК, яка буде контактувати з деталлю, зменшується за законом

$$W' = \frac{t}{\sin \alpha}. \quad (1)$$

Дослідження ширини контакту РПК з деталлю

Ширина B' , по суті, є технологічним параметром зони контакту РПК з деталлю. Вона, як було показано у праці [6], є визначальним фактором для встановлення потрібної величини поперечної подачі при багатопрхідному торцевому шліфуванні з попереднім нахилом осі шпинделя та в інших випадках.

Для установлення аналітичних залежностей, які пов'язують B' та L з умовами обробки, скористаємося рисунком 2. Розрахунки проводили, припускаючи, що значення довжини контакту W' не перевищує половини діаметра круга.

На рисунку 2 б (вид А) показано еліпс як проекцію на горизонтальну площину окружності, що нахилена під кутом α (рис. 2 а) [7]. Відрізки FN та FK являють собою ширину (B') та половину ширини ($B'/2$) контакту РПК із деталлю відповідно.

Із прямокутного трикутника EFK маємо, що:

$$FK = \frac{B'}{2} = \sqrt{EF^2 - EK^2}. \quad (2)$$

Для визначення відрізка FK скористаємося канонічним рівнянням еліпса [7]:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (3)$$

де x та y координати точки F (рис. 2 б).

У нашому випадку $x = FK = \frac{B'}{2}$, а $y = EK$. Тоді рівняння (3) буде мати вигляд

$$\frac{FK^2}{EM^2} + \frac{EK^2}{EH^2} = 1. \quad (4)$$

Як бачимо з рисунка (рис. 2 б), більша піввісь еліпса (EM) має довжину, що дорівнює половині діаметру круга, тобто $EM = \frac{d_k}{2}$. У той самий час відрізок EH являє собою меншу піввісь еліпса і може бути визначений із прямокутного трикутника AOB (рис. 2 а) як

$$EH = \frac{OB}{2} = \frac{d_k}{2} \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

На основі рівняння (4) з урахуванням (5) маємо, що

$$\frac{B'^2}{d_k^2} + \frac{4 \cdot EK^2}{d_k^2 \cdot \cos^2 \alpha} = 1. \quad (6)$$

Відрізок EK можна визначити так

$$EK = EH - KH. \quad (7)$$

У свою чергу, відрізок KH може бути визначений з прямокутного трикутника COD :

$$KH = OD = W' \cdot \cos \alpha = \frac{t}{\sin \alpha} \cdot \cos \alpha = \frac{t}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (8)$$

Підставляючи вирази (5) та (8) у формули (7) знаходимо відрізок EK :

$$EK = \frac{d_k}{2} \cdot \cos \alpha - \frac{t}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (9)$$

Враховуючи вираз (9), рівняння (6) можна записати як

$$\frac{B'^2}{d_k^2} = 1 - \frac{4 \cdot \left(\frac{d_k}{2} \cdot \cos \alpha - \frac{t}{\operatorname{tg} \alpha}\right)^2}{d_k^2 \cdot \cos^2 \alpha}. \quad (10)$$

Розкриваючи це рівняння маємо:

$$B'^2 = \left[1 - \frac{4 \cdot \left(\frac{d_k}{2} \cdot \cos \alpha - \frac{t}{\operatorname{tg} \alpha}\right)^2}{d_k^2 \cdot \cos^2 \alpha} \right] \cdot d_k^2. \quad (11)$$

Кінцевий стан рівняння (11) має вигляд

$$B' = \sqrt{d_k^2 - \frac{4 \cdot \left(\frac{d_k}{2} \cdot \cos \alpha - \frac{t}{\operatorname{tg} \alpha}\right)^2}{\cos^2 \alpha}} = \sqrt{d_k^2 - 4 \cdot \left(\frac{d_k}{2} - \frac{t}{\sin \alpha}\right)^2}. \quad (12)$$

Розрахунки значень ширини контакту B' за формулою (12) показали, що вони збігаються з даними, одержаними шляхом геометричного комп'ютерного моделювання [6]. У таблиці наведено фрагмент порівняльних даних за різними способам визначення ширини зони контакту РПК із деталлю.

Таблиця 1 - Порівняльні дані за різними способами визначення факторів*

$\alpha, ^\circ$	0,05	0,25	1	1,5	2,75
$B'_{\text{км}}$, мм	280,25	133,45	67,46	55,15	40,78
$B'_{\text{сз}}$, мм	281,05	129,80	66,72	54,92	41,06
$B'_{\text{аз}}$, мм	280,25	133,45	67,46	55,15	40,78

* $B'_{\text{км}}$ – комп'ютерне моделювання; $B'_{\text{сз}}$ – ступенева залежність [6]; $B'_{\text{аз}}$ – аналітична залежність (12).
Загальні умови обробки: $d_k = 400$ мм; $t = 0,05$ мм

Наведені дані, по-перше, підтверджують правильність аналітичних формул (у цьому разі залежності (12)), а, по-друге, свідчать про достатньо високу точність ступеневих залежностей, одержаних шляхом математичної обробки даних комп'ютерного геометричного моделювання [6] (похибка не перевищує 3 %).

Дослідження довжини дуги контакту РПК із деталлю

Довжину L дуги контакту РПК із деталлю необхідно вважати фізичним параметром процесу. Параметри L та W' зони контакту РПК із деталлю визначають площу контакту різальної поверхні круга з оброблювальною деталлю [8]. Для установаження аналітичної залежності довжини L дуги $F\check{N}$ (рис. 2. б) контакту РПК із деталлю скористаємося наближеною формулою Гюйгенса [9].

Для нашого випадку вона має вигляд

$$L = F\check{N} = 2 \cdot FH + \frac{1}{3}(2 \cdot FH - FN). \quad (13)$$

Тут відрізок FN являє собою хорду, величина якої дорівнює ширині контакту РПК із деталлю, тобто

$$FN = B'. \quad (14)$$

Із прямокутного трикутника FKH можна записати, що

$$FH^2 = FK^2 + KH^2. \quad (15)$$

У свою чергу маємо, що $AC = \frac{FN}{2} = \frac{B'}{2}$, а

$$KH = OD = \frac{t}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Після підставлення цих виразів у формулу (15) маємо:

$$FH^2 = \left(\frac{B'}{2}\right)^2 + \left(\frac{t}{\operatorname{tg} \alpha}\right)^2.$$

Або:

$$FH = \sqrt{\frac{B'^2}{4} + \frac{t^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha}}. \quad (16)$$

Після підставлення виразів (14) та (16) у формулу (13) остаточно одержуємо

$$L = 2 \cdot \sqrt{\frac{B'^2}{4} + \frac{t^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha}} + \frac{2}{3} \cdot \left(\sqrt{\frac{B'^2}{4} + \frac{t^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha}} - \frac{B'}{3} \right). \quad (17)$$

У подальшому одержані теоретичні залежності для визначення лінійних параметрів зони контакту РПК із деталлю можна буде використовувати для аналітичного визначення площі контакту РПК із

деталлю в умовах шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя.

Аналітичне визначення відхилення форми плоскої поверхні

Одним з істотних недоліків схеми плоского торцевого шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя є те, що на плоскій поверхні деталі неминуче формуються відхилення форми [2, 3]. За цих умов через особливості кінематики має місце окремий випадок відхилення від площинності – увігнутість (Δ). Аналіз джерел інформації показав відсутність на цей час досліджень, пов'язаних з особливостями формування відхилень форми плоских поверхонь за такої схеми обробки. Не врахування цього факту може призвести до значного відсотка браку виробів.

При шліфуванні «на прохід» для технолога найбільш важливо знати значення увігнутості на тому етапі обробки, коли круг повністю контактує з поверхнею деталі (по ширині B). І чим більша ширина оброблювальної поверхні, тим більші значення відхилення від площинності будуть мати місце.

У своїх дослідженнях ми враховували той факт, що для забезпечення технічних вимог щодо відхилення від площинності потрібно мати чітко визначену величину кута нахилу α , причому з урахуванням того, що на відхилення форми плоскої поверхні, крім нього мають вплив й інші фактори. До них відносяться зовнішній діаметр торцевого круга d_k , а також ширина оброблювальної поверхні деталі B . Це можна вважати особливістю процесу, що розглядається, бо у разі обробки без нахилу осі шпинделя теоретично останні два параметри не впливають на відхилення форми.

На рисунку 3 (вид. Б, див. рис. 2 а) наведено схему утворення відхилення від площинності Δ у процесі плоского торцевого шліфування на прохід (симетрична схема обробки) [10].

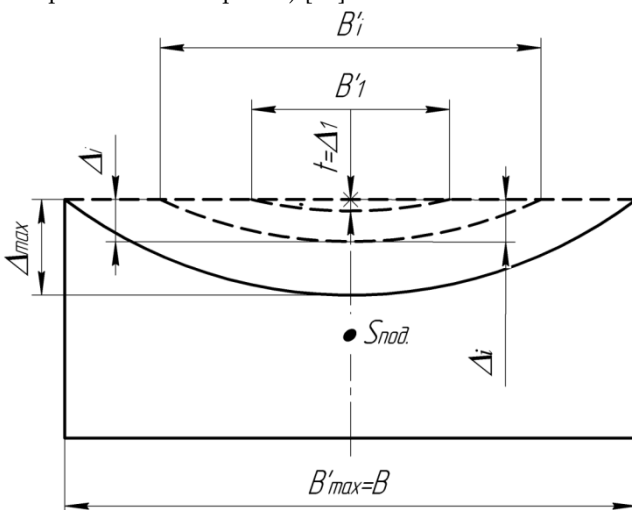


Рисунок 3 – Схема утворення відхилення від площинності Δ при плоскому торцевому шліфуванні

Як бачимо з рисунка, при першому проході Δ дорівнює глибині шліфування, тобто $\Delta_1 = t$. Надалі, у міру здійснення декількох проходів з глибиною шліфування t , величина Δ поступово зростає і до-

рівнює значенню Δ_i . При цьому довжина дуги контакту РПК з поверхнею деталі також поступово зростає (від L_1 до L_i). У разі, коли РПК почне контактувати з деталлю по всій ширині оброблювальної поверхні ($B'_{\max} = B$), маємо, що $\Delta = \Delta_{\max} = const$, а $L = L_{\max} = const$.

Тобто, чим більша ширина обробки B (при сталих значеннях інших параметрів), тим більше й відхилення Δ .

Аналіз схеми обробки показує, що увігнутість є функцією декількох параметрів:

$$\Delta = f(\alpha, d_k, B).$$

Для виведення аналітичної залежності, яка пов'язує Δ із зазначеними параметрами скористаємося рисунком 2. При цьому маємо на увазі, що відрізок CD являє собою не одиничну, а сумарну глибину Δ обробки (з моменту, коли РПК зачепить поверхню деталі по всій ширині), а, отже, $B' = B$. Тобто в нашому випадку $\Delta = CD$. Тоді можна записати, що

$$\Delta = OD \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (18)$$

У свою чергу, маємо, що

$$OD = KH = EH - EK. \quad (19)$$

З трикутника AOB випливає, що

$$EH = \frac{OB}{2} = \frac{d_k}{2} \cdot \cos \alpha. \quad (20)$$

Для визначення відрізка EK скористаємося канонічним рівнянням еліпса (3):

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

де x та y координати точки F .

У нашому випадку $x = FK = \frac{B}{2}$, а $y = EK$, а менша піввісь еліпса може бути виражена через більшу як $b = a \cdot \cos \alpha$ (рис. 2).

Тоді канонічне рівняння буде мати вигляд

$$\frac{B^2}{4 \cdot a^2} + \frac{EK^2}{a^2 \cdot \cos^2 \alpha} = 1,$$

або

$$EK = \sqrt{\left(1 - \frac{B^2}{4 \cdot a^2}\right) \cdot a^2 \cdot \cos^2 \alpha}.$$

Розкриваючи це рівняння з урахуванням того, що $a = \frac{d_k}{2}$, маємо

$$EK = \sqrt{\left(1 - \frac{B^2}{d_k^2}\right) \cdot \frac{d_k^2}{4} \cdot \cos^2 \alpha} . \quad (21)$$

На підставі рівняння (19) з урахуванням (20) та (21) маємо, що

$$OD = \frac{d_k}{2} \cdot \cos \alpha - \sqrt{\left(1 - \frac{B^2}{d_k^2}\right) \cdot \frac{d_k^2}{4} \cdot \cos^2 \alpha} . \quad (22)$$

З урахування (22) рівняння (18) буде мати вигляд

$$\Delta = \left[\frac{d_k}{2} \cdot \cos \alpha - \sqrt{\left(1 - \frac{B^2}{d_k^2}\right) \cdot \frac{d_k^2}{4} \cdot \cos^2 \alpha} \right] \cdot \operatorname{tg} \alpha .$$

Після спрощення маємо кінцевий стан рівняння для визначення увігнутості:

$$\Delta = \frac{d_k}{2} \cdot \sin \alpha - \sqrt{\left(1 - \frac{B^2}{d_k^2}\right) \cdot \frac{d_k^2}{4} \cdot \sin^2 \alpha} . \quad (23)$$

При цьому довжину дуги контакту РПК із деталлю можна визначити за формулою (17), взявши до уваги той факт, що $t = \Delta$, а $B' = B$

$$L_{\Delta} = 2 \cdot \sqrt{\frac{B^2}{4} + \frac{\Delta^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha}} + \frac{1}{3} \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{B^2}{4} + \frac{\Delta^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha}} - B \right) . \quad (24)$$

Необхідно зазначити, що знання такого параметра процесу обробки, як відхилення від площинності, має важливе практичне значення під час розроблення технологічних операцій плоского торцевого шліфування у складі конкретного технологічного проце-

су виготовлення виробу. Мається на увазі те, що цей факт потрібно враховувати при розрахунку припусків для чистової прецизійної стадії шліфування:

$$i = \frac{\Delta_{\max}}{t} . \quad (25)$$

Тобто вираз (25) дозволяє технологю визначити кількість проходів (i) із глибиною t на етапі чистової обробки для забезпечення технічних вимог креслення щодо відхилення від площинності [10].

На закінчення необхідно зазначити, що розбіжності між розрахунковими даними і результатами комп'ютерного моделювання не перевищують 1% навіть для тих параметрів, при визначенні яких використовували наближені формули.

ВИСНОВКИ

1. Одержані аналітичні залежності, підтверджені результатами комп'ютерного геометричного моделювання, можуть бути використані для розрахунків довжини, ширини та довжини дуги контакту РПК із деталлю, а також увігнутості плоскої поверхні деталі.

2. Дослідження підтвердили правомірність використання на практиці ступеневих залежностей, одержаних раніше, але порівняно з ними аналітичні залежності дають більш точні результати у зоні малих кутів попереднього нахилу осі шпинделя $\alpha \leq 0,5^\circ$.

3. Одержані залежності для визначення увігнутості мають важливе значення при розрахунку припусків для чистової та прецизійної стадій шліфування.

4. У подальшому одержані залежності можуть бути використані для аналітичного визначення площі контакту РПК із деталлю.

Theoretical research of some parameters of contact area of wheel cutting surface and workpiece at flat face grinding with preliminary inclination of spindle axis

Ivan N. Pyzhov¹), Vitally G. Klimenko²)

¹) National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 21, Frunze Str., Kharkiv, Ukraine, 61002;

²) Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, 24, Pershotravnevyi avenue, Poltava, Ukraine, 36011.

Theoretical researches that have made it possible to obtain the analytical dependences connecting the parameters of contact area of wheel cutting surface such as length, width, arc length, form deviation of flat surface and workpiece under conditions of flat face grinding with preliminary inclination of spindle axis have been carried out. The paper shows the role of the angle of preliminary inclination of spindle axis, grinding depth and the wheel diameter in the grinding process. It allows correctly determining the value of the transverse feed (in multiple-pass processing) which, as it is known, should be conformed to the value of the contact width of the wheel cutting surface and workpiece. It guarantees that on the machined surface there will be no areas unaffected by the wheel. In case of through grinding the obtained theoretical dependences help to determine the processing conditions, taking into account the allowable values of form deviation of flat surface. All this makes it possible to improve the process of flat face grinding and thereby expand its technological capabilities.

Keywords: contact zone, the parameters of the contact zone, the angle of the spindle axis, grinding depth, diameter of a circle, concavity.

Теоретические исследования некоторых параметров зоны контакта режущей поверхности круга с деталью при плоском торцевом шлифовании с наклоном оси шпинделя

И. Н. Пыжов¹⁾, В. Г. Клименко²⁾

¹⁾ *Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002;*

²⁾ *Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, г. Полтава, Украина, 36011*

Выполнены теоретические исследования, позволившие получить аналитические зависимости, связывающие такие параметры зоны контакта режущей поверхности круга (РПК) с деталью как длина, ширина, длина дуги и отклонение формы плоской поверхности в условиях плоского торцевого шлифования с предварительным наклоном оси шпинделя. Установлена роль в этом процессе таких факторов, как угол предварительного наклона оси шпинделя, глубина шлифования и диаметр круга. Это дает возможность корректного определения величины поперечной подачи (при многопроходной схеме обработки), которая, как известно, должна согласовываться со значением ширины контакта режущей поверхности круга с деталью. Это гарантированно обеспечивает отсутствие на обработанной поверхности участков, которые будут оставаться незатронутыми кругом. При шлифовании «на проход» полученные теоретические зависимости дают возможность определять условия обработки с учетом допустимого значения отклонения формы плоской поверхности. Все это позволяет усовершенствовать процесс плоского торцевого шлифования и тем самым расширить его технологические возможности.

Ключевые слова: зона контакта, параметры зоны контакта, угол наклона оси шпинделя, глубина шлифования, диаметр круга, вогнутость.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Маталин А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. - Л.: Машиностроение, 1985. - 496 с.
2. Лурье Г. Б. Шлифовальные станки и их наладка / Г. Б. Лурье, В. Н. Комиссаржевская. - М.: Высшая школа, 1972. - 416 с.
3. Наерман М. С. Справочник молодого шлифовщика. / М. С. Наерман. - М.: Высшая школа, 1985. - 207 с.
4. Лоскутов В. В. Шлифовальные станки / В. В. Лоскутов. - М.: Машиностроение. - 1976. - 191 с.
5. Справочник технолога машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. - 5-е изд., исправл. - М.: Машиностроение-1, 2003. - 944 с.
6. Пижов И. М. Дослідження ширини контакту різальної поверхні круга з деталлю при плоскому торцевому шліфуванні з нахилом осі шпинделя / І. М. Пижов, В. Г. Клименко // Журнал інженерних наук : наук. журн. / Сум. держ. ун-т. - Суми : Вид-во СумДУ, 2015. - Т. 2, № 1. - С. А10 - А15.
7. Александров П. С. Лекции по аналитической геометрии / П. С. Александров. - М.: Главная редакция физматлитературы, 1968. - 911 с.
8. Пижов И. М. Дослідження площі контакту різальної поверхні круга з деталлю при плоскому торцевому шліфуванні з попереднім нахилом осі шпинделя / І. М. Пижов, В. Г. Клименко // Журнал інженерних наук : наук. журн. / Сум. держ. ун-т. - Суми : Вид-во СумДУ. 2015. - Т. 2, № 2. - С. А1 - А6.
9. Выгодский М. Я. Справочник по элементарной математике / М. Я. Выгодский. - М.: АСТ: Астрель, 2006. - 509 с.
10. Пижов И. Н. Дослідження особливостей формування відхилень від площинності при плоскому торцевому шліфуванні / І. М. Пижов, В. Г. Клименко // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. - Севастополь, 2014. Вип. 151/2014. - С. 134 - 139.

REFERENCES

1. Matalin, A. A. (1985). *Tehnologiya mashinostroeniya* [Mechanical Engineering Technology]. Moskva. Mashinostroenie (in Russian).
2. Lur'e, G. B., & Komissarzhevskaya V.N. (1972). *Shlifoval'nye stanki i ih naladka* [Grinding machines and their adjustment]. Moskva. Vysshaya shkola (in Russian).
3. Naerman, M. S. (1985). *Spravochnik molodogo shlifovshchika* [Handbook for beginners in grinding]. Moskva. Vysshaya shkola (in Russian).
4. Loskutov, V. V. (1976). *Shlifoval'nye stanki* [Grinding machines]. Moskva. Mashinostroenie (in Russian).
5. Dal'skij, A. M., Suslova, A. G., Kosilova, A. G., & Mesheryakov, R. K. (2003). *Spravochnik tehnologa mashinostroitel'ya* [Manual Machinist technologist]. Moskva. Mashinostroenie-1 (in Russian).
6. Pizhov, I. M. & Klimenko, V. G., (2015). *Doslidzhennya shirini kontaktu rizal'noyi poverhni krugu z detallyu pri ploskomu tortsevomu shlifuvanni z nahilom osi shpindelyu* [Research width of the contact surface of the cutting circle of detail in the flat face of the grinding spindle axis tilt]. Zhurnal inzhenernyh nauk.- Journal of Engineering: Scientific Journal. Sumi. Tom 2. № 1. A10-A15(in Ukrainian).
7. Aleksandrov P. S. (1968). *Lektsii po analiticheskoy geometrii* [Lectures on analytical geometry]. Moskva. Glavnaya redaktsiya fizmatliteratury (in Russian).
8. Pizhov, I. M. & Klimenko, V. G., (2015). *Doslidzhennya ploshi kontaktu rizal'noyi poverhni krugu z detallyu pri ploskomu tortsevomu shlifuvanni z poperednim nahilom osi shpindelya* [Research contact area of the cutting surface of circle detail flat at the previous face grinding spindle axis tilt]. Zhurnal inzhenernyh nauk.- Journal of Engineering: Scientific Journal. Sumi. Tom 2. № 2. A1-A6 (in Ukrainian).
9. Vygodskij, M. Ya. (2006). *Spravochnik po elementarnej matematike* [Handbook of elementary mathematics]. Moskva. AST: Astell (in Russian).
10. Pizhov, I. N., & Klimenko, V. G. (2014). *Doslidzhennya osoblivostey formuvannya vidhilen' vid ploschinnosti pri ploskomu tortsevomu shlifuvanni* [Investigation of the features of formation of flatness for flat face grinding]. Visnik SevNTU. Seriya: Mashinopriladobuduvannya ta transport: sbornik nauchnyh trudov. - Bulletin of the SevNTU. Series: mechanical engineering and transport: collection of scientific papers. Sevastopol'. 151/2014. 134-139 (in Ukrainian).