

ГЛИБИННЕ КРУГЛЕ ШЛІФУВАННЯ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ ДЕТАЛІ І КРУГА

Вступ

У зв'язку з постійним ростом вимог до точності і якості деталей машин в металообробці все більше місце займають різні методи шліфування. Відбувається постійна модернізація верстатів у напрямі підвищення швидкості різання, подачі, точності, жорсткості, вібростійкості, а також використання верстатів з ЧПК з метою забезпечення високої точності обробки на підвищених режимах різання. Також ведуться роботи по удосконаленню абразивного інструменту: створення нових конструкцій, абразивних матеріалів, підвищення геометричної точності кругів, їх однорідності, міцності, що призводить до підвищення ріжучої здатності, збільшення колової швидкості шліфувального круга, підвищення продуктивності та точності обробки.

Використання верстатів з ЧПК, нових абразивних матеріалів і інструментів дає можливість впровадження нових високопродуктивних методів шліфування.

На даний час існує декілька основних методів круглого шліфування.

Найбільш розповсюдженим є метод поздовжнього (маятникового) шліфування [1]. При поздовжній подачі деталі, яка дорівнює висоті круга, даний метод є високопродуктивним, але малоточним, оскільки нерівномірність зносу круга спотворює його форму і, таким чином, твірну деталі. При подачі деталі $S = 0.1 \cdot B$ - точність обробки підвищується, але значно знижується продуктивність.

Для підвищення продуктивності, при збереженні точності, застосовується метод глибинного однопрохідного шліфування з заборним конусом [2]. При зміні припуску на обробку, заборний конус задіяний не повністю, що призводить до зниження продуктивності обробки. Тобто, цей метод не є універсальним.

При змінному припуску на обробку застосовується універсальний спосіб шліфування циліндричних деталей на верстаті з ЧПК [3], де обробка здійснюється широким кругом, повернутим на кут відносно осі обертання деталі. Даний спосіб дає змогу, при обробці різних деталей з різними припусками, використовувати всю периферію круга. Недоліком даного методу є складність обробки ступінчастих деталей.

Відомо [4], що німецька фірма Yunker при використанні методу шліфування зі схрещеними осями круга і деталі на верстатах Quickpoint 1001 і Quickpoint 1002 досягла підвищення продуктивності шліфування в 5-6 разів

у порівнянні з традиційним маятниковим шліфуванням. Але невідомі причини такого зростання продуктивності.

Як видно з вище викладеного, - методи шліфування зі схрещеними осями шліфувального круга і деталі мають невикористані резерви, а можливість підвищення продуктивності обробки в декілька разів підкреслює актуальність цього напрямку.

Методи та результати

Метою даної роботи є підвищення продуктивності і точності шліфування зі схрещеними осями круга і деталі. Для цього необхідно розробити математичну модель процесу Шліфування, при якому чорновий припуск зрізається торцем круга, а чистове шліфування і калібрування виконується периферією.

В даній роботі пропонується спосіб обробки деталей шліфувальним кругом, вісь якого розташована під кутом χ до осі обертання деталі. В даному випадку чорновий припуск знімається торцем круга, а периферія круга є калібруючою ділянкою.

Схема процесу шліфування (рисунок 1) включає:

- шліфувальний круг 2, який повернутий навколо осі ОХ на кут/;
- деталь 1;
- пляму контакту 3.

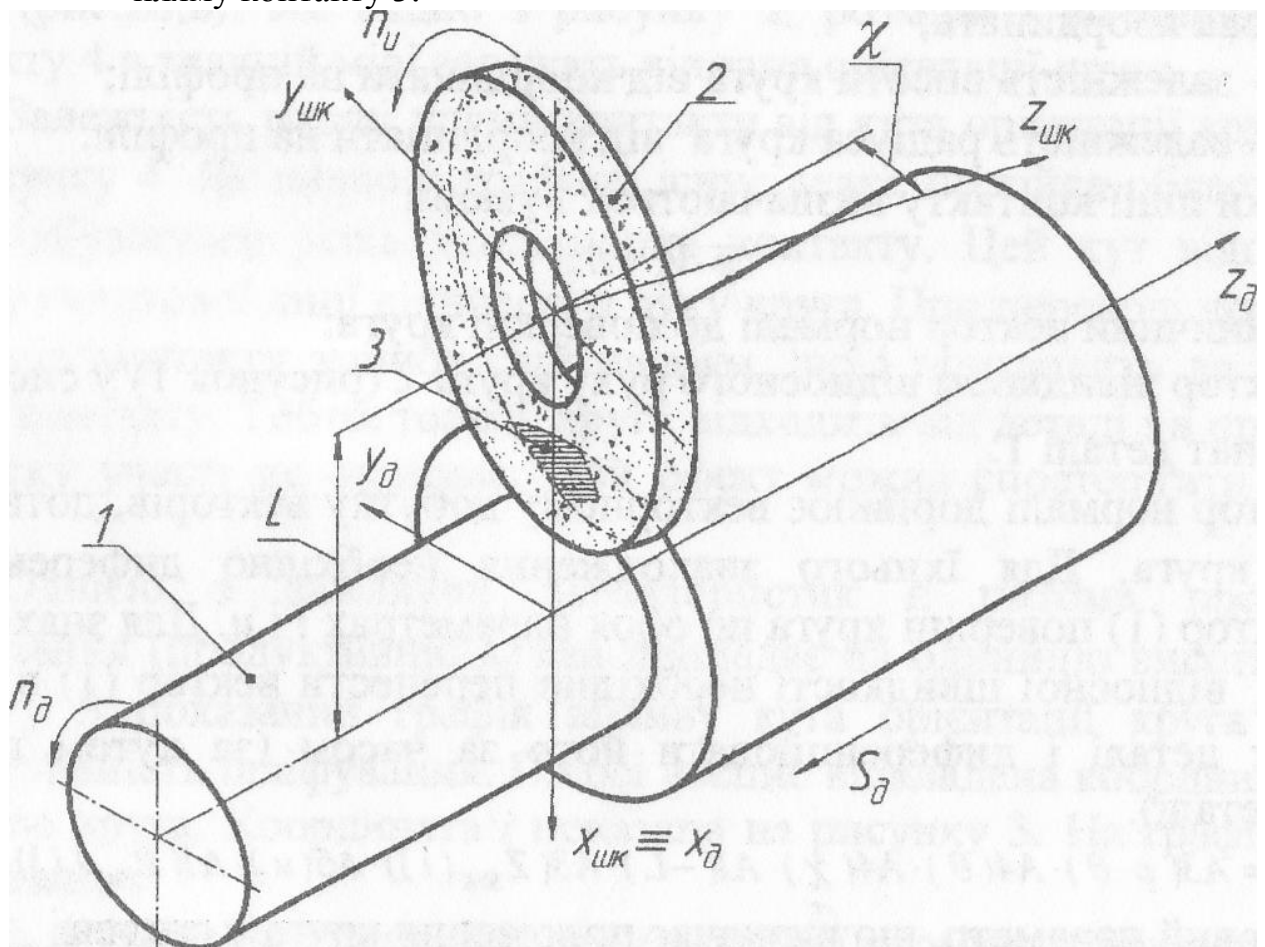


Рисунок 1 – Схема процесу глибокого круглого шліфування зі схрещеними осями деталі і круга

Математичне моделювання процесу глибинного круглого шліфування зі схрещеними осями Деталі і круга проводилося з використанням програмного пакету MathCAD 13.

В результаті виконання даної роботи було проведено математичне моделювання процесу глибинного круглого шліфування зі схрещеними осями деталі і круга, яке включало:

- визначення миттєвої лінії контакту круга і деталі;
- визначення плями контакту;
- визначення питомої продуктивності шліфування;
- визначення товщини зрізаємого шару металу однією різальною кромкою;
- оптимізація кута орієнтації круга.

Початкові дані:

$R = 100 \text{ мм}$ – радіус шліфувального круга;

$R_\delta = 15 \text{ мм}$ – радіус обробленої деталі;

$r = 0,5 \text{ мм}$ – радіус заокруглення кромки шліфувального круга;

$S_z = 0.1 \text{ мм/об}$ – поздовжня подача деталі;

$t = 2 \text{ мм}$ – глибина різання.

Для визначення миттєвої лінії контакту між кругом і деталлю необхідно записати радіус-вектор $ShK(u, i)$ поверхні круга

$$ShK(u, i) = A4(\chi) A1(L) A3(Z_{ShK}(i)) A6(u) A1(R_{ShK}(i)) e4, (1)$$

де $A1...A6$ – матриці перетворення систем координат, що моделюють зсуви та повороти вздовж та навколо осей [5];

i – координата вздовж профілю круга;

u – кутова координата;

$Z_{ShK}(i)$ – залежність висоти круга від координати на профілі;

$R_{ShK}(i)$ – залежність радіуса круга від координати на профілі.

Точки лінії контакту визначаються з умови

$$\bar{n} \cdot \bar{V}_k = 0, (2)$$

де \bar{n} – одиничний вектор нормалі до поверхні круга;

\bar{V}_k – вектор швидкості відносного руху круга 2 (рисунок 1) у системі координат деталі 1.

Вектор нормалі дорівнює векторному добутку векторів, дотичних до поверхні круга. Для їхнього знаходження необхідно диференціювати радіус-вектор (1) поверхні круга по обох параметрах i і u . Для знаходження вектора \bar{V}_k відносної швидкості необхідно перенести вектор (1) в систему координат деталі і диференціювати його за часом (за кутом повороту навколо деталі).

$$ShKv(u, i) = A3(p, \theta) A4(\theta) A4(\chi) A1(L) A3(Z_{ShK}(i)) A6(u) A1(R_{ShK}(i)) e4, (3)$$

де θ – кутовий параметр, що визначає положення круга у системі координат деталі;

p – параметр гвинтового руху;

χ – кут орієнтації круга;

L – міжосьова відстань.

Обертаючи лінію контакту навколо осі деталі отримаємо поверхню деталі.

Пляма контакту обмежена лінією контакту, а також лініями перетину шліфувального круга і заготовки, зміщеної на величину подачі на оберт. Питома продуктивність шліфування визначається з виразу

$$uu2(i)$$

$$Q(i) = \int_{uu1(i)} Vn(u,i) R_{ShK}(i) du, \quad (4)$$

де $uu1(i)$ – кути входу круга в деталь;

$uu2(i)$ – кути виходу круга з деталі;

$Vn(u,i)$ – добуток швидкості відносного руху на одиничну нормаль на поверхні круга в точці з координатами (u,i) .

При визначенні товщини зрізаємого шару металу однією різальною кромкою враховувалась різновисотність різальних кромок [6]. Рельєф поверхні шліфувального круга описується законом бета-розподілу:

x

$$Nz(x) = Nn A \int_0^x \gamma^{1-t} (1-t)^{\eta-1} dt, \quad (5)$$

де $Nz(x)$ – кількість різальних кромок на довжині 1мм на рівні x ;

x – приведений рівень шліфувального круга, на якому визначається Nz ;

n, γ, η – параметри бета-розподілу.

На рисунку 2а,б,в показана зона обробки при різних кутах орієнтації шліфувального круга 2: 1°, -1°, 3° відповідно. Зона обробки включає деталь 1, шліфувальний круг 2, лінію контакту 3 і пляму контакту 4. Лінія контакту 3 може займати різне положення в залежності від кута орієнтації круга (рис.2б,в). Як видно з рисунку 2, розміри і розташування плями контакту 4 в значній мірі залежать від кута орієнтації круга.

Залежність площі плями контакту від кута орієнтації круга наведена на рисунку 4. Як видно з графіка, існує деяка нестійка область ($=-0.1^\circ$), в якій

відбувається різка зміна площі контакту. Цей кут відповідає куту нахилу гвинтової лінії відносного руху круга. При переході через вказаний кут лінія контакту змінює свій напрям, що і призводить до різкої зміни площі контакту. Тобто, торець круга відходить від деталі і в процесі зняття припуску участі не приймає. Цей ефект можна спостерігати на рисунку 2а,в.

Однією з важливих характеристик є питома продуктивність шліфування (продуктивність, яка припадає на одиницю висоти круга). На рисунку 5 показаний графік впливу кута орієнтації круга на питому продуктивність шліфування. По осі абсцис відкладена координата i вздовж профілю круга. Координата i показана на рисунку 3. На графіку (рисунок 5) показано :

$i_{поч}$ – координата початку заокругленої кромки шліфувального круга;

$i_{кін}$ – координата кінця заокругленої кромки шліфувального круга;

1..4 – точки закінчення відповідних графіків.

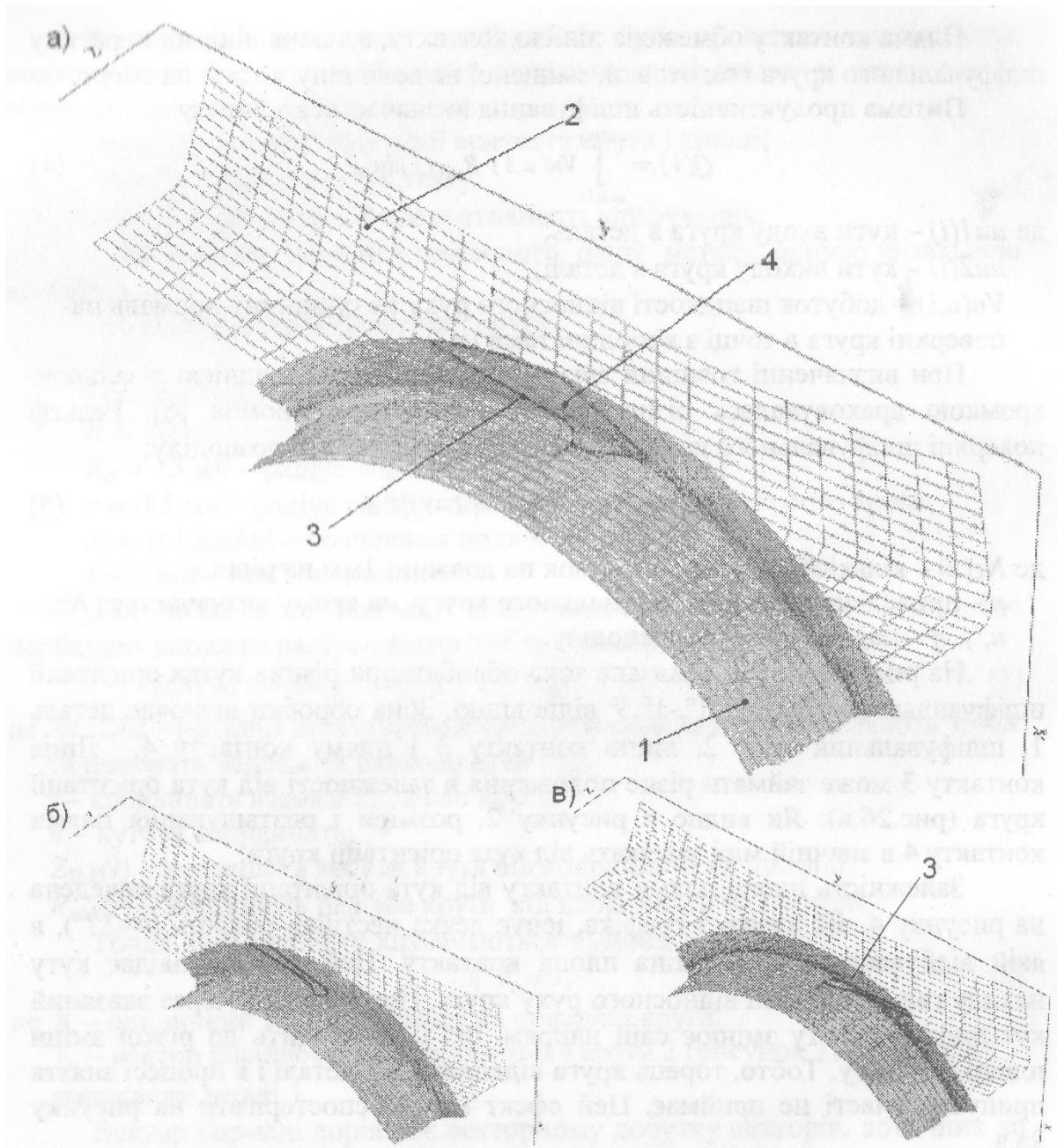


Рисунок 2– Вплив кута орієнтації круга на розміщення плями контакту

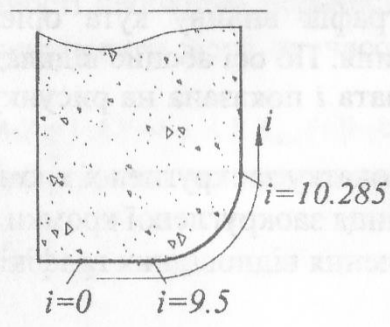


Рисунок 3– Координата вздовж профілю круга

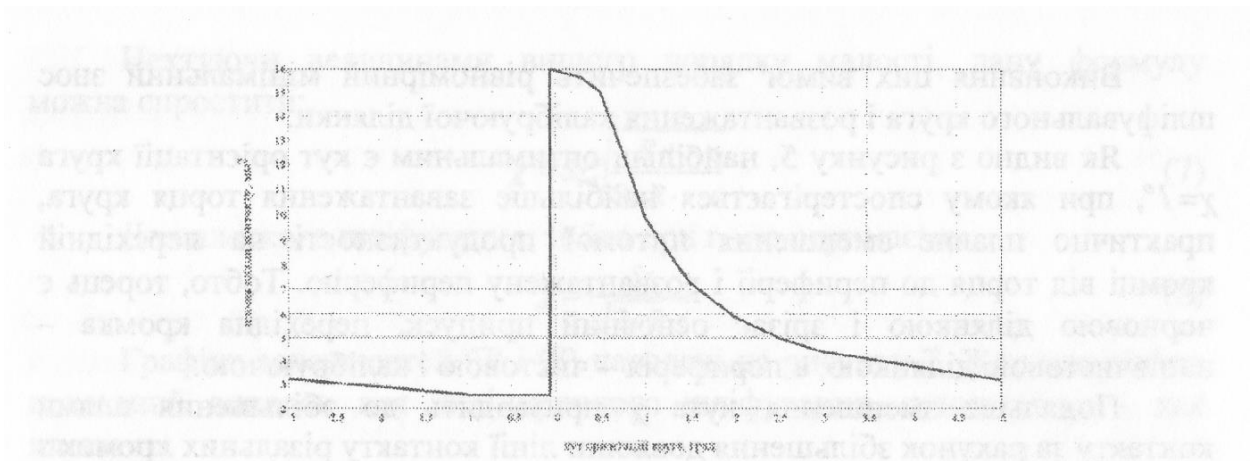


Рисунок 4 – Залежність площі плями контакту від кута орієнтації круга

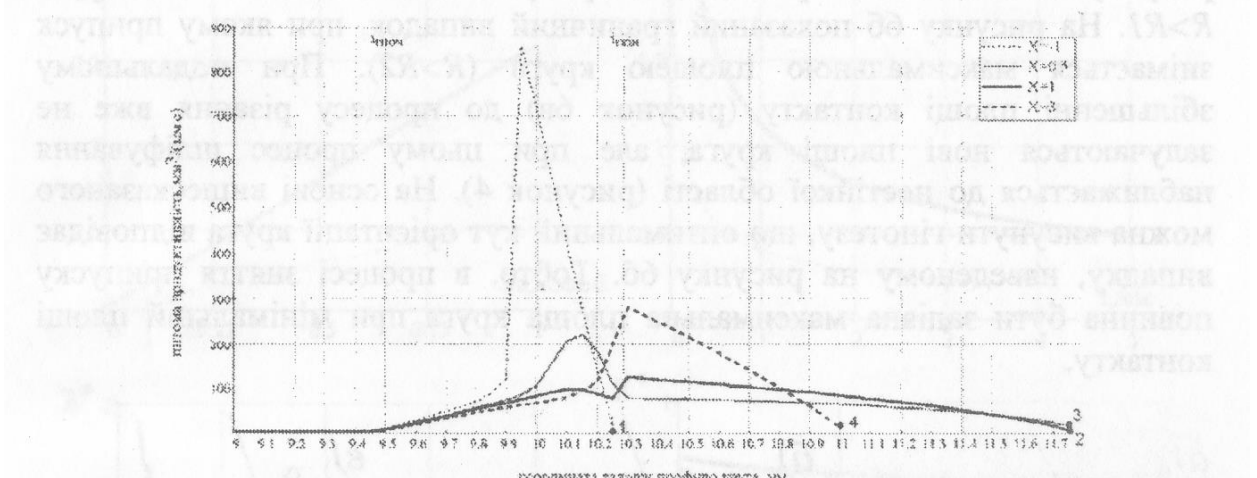


Рисунок 5 - Вплив кута орієнтації круга на питому продуктивність шліфування

Тобто, область до i_{noch} відповідає периферії круга, від ir_{noch} до $ir_{кін}$ – перехідній заокругленій кромці, після $i_{кін}$ – торцю круга. Графіки приведені для чотирьох різних значень кута орієнтації круга ($\chi = -1^\circ, 0,5^\circ, 1^\circ, 3^\circ$). Точки 1, 2, 3, 4 показують завантаженість профілю круга при шліфуванні. Тобто, при куті $\chi = -1^\circ$ торець круга зовсім не завантажений, а припуск зрізується виключно перехідною кромкою. При переході через критичне значення кута χ різко збільшується площа плями контакту (рисунок 4) і, як наслідок, завантаженість торця круга (точка 3 на рисунку 5). При подальшому збільшенні кута χ площа плями контакту зменшується, але завантаженість торця круга по висоті залишається незмінною до значення кута $\chi = 1^\circ$ (точки 2 і 3 мають однакову абсцису). Подальше збільшення кута орієнтації круга призводить до зменшення завантаженості торця круга (точка 4).

Оптимальний кут орієнтації круга необхідно обирати, виходячи з декількох умов:

- площа плями контакту повинна бути максимальною;
- питома продуктивність шліфування повинна бути рівномірною вздовж профілю круга на чорновій ділянці (торець круга) і мінімальною на чистовій ділянці (периферія круга).

Виконання цих вимог забезпечить рівномірний мінімальний знос шліфувального круга і розвантаження калібруючої ділянки.

Як видно з рисунку 5, найбільш оптимальним є кут орієнтації круга $\chi = 1^\circ$, при якому спостерігається найбільше завантаження торця круга, практично плавне зменшення питомої продуктивності на перехідній кромці від торця до периферії і розвантажену периферію. Тобто, торець є чорною ділянкою і зрізає основний припуск, перехідна кромка – напівчистою ділянкою, а периферія – чистою і калібруючою.

Подальше зменшення кута χ призводить до збільшення плями контакту за рахунок збільшення довжини лінії контакту різальних кромek з заготовкою, а не за рахунок залучення нових різальних кромek (зерен). На рисунку 6а показаний варіант, коли припуск знімається частиною круга $R > R_1$. На рисунку 6б показаний граничний випадок, при якому припуск знімається максимальною площею круга ($R > R_2$). При подальшому збільшенні площі контакту (рисунок 6в) до процесу різання вже не залучаються нові площі круга, але при цьому процес шліфування наближається до нестійкої області (рисунок 4). На основі вищесказаного можна висунути гіпотезу, що оптимальний кут орієнтації круга відповідає випадку, наведеному на рисунку 6б. Тобто, в процесі зняття припуску повинна бути задіяна максимальна площа круга при мінімальній площі контакту.

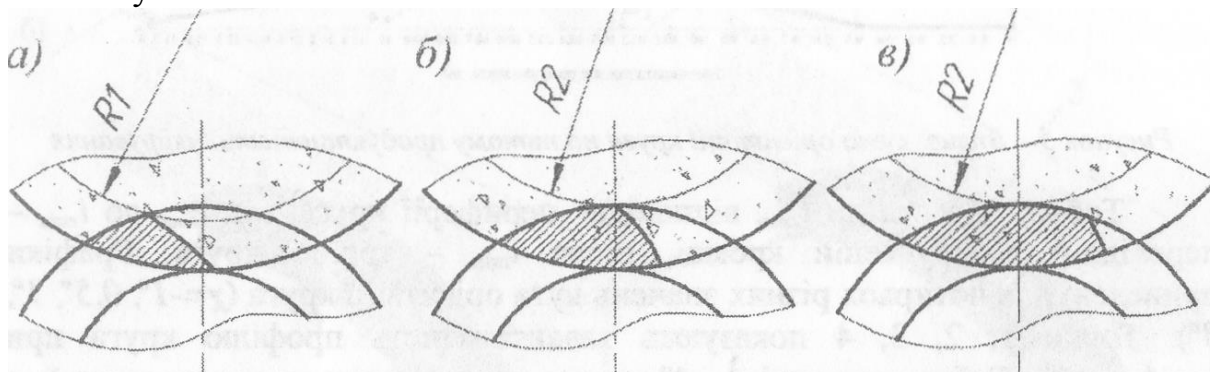


Рисунок 6 – Можливі варіанти розміщення плями контакту

На основі даної гіпотези, а також нехтуючи перехідною кромкою і приймаючи до уваги малість кута орієнтації круга, можна вивести аналітичну залежність для оптимального кута:

$$\chi = 2S_z \sqrt{\frac{(R+r)^2}{4(r+t)^2 R^2 - 2r(R-t)t^2}}, \quad (6)$$

де χ – кут орієнтації круга;

S_z – поздовжня подача деталі;

R – радіус круга;

r – радіус деталі;

t – глибина різання.

Нехтуючи величинами вищого порядку малості, дану формулу можна спростити:

$$\chi = Sz \sqrt{\frac{R+r}{2Rrt}}, \quad (7)$$

Для плоского шліфування, тобто при $r \rightarrow \infty$ отримаємо:

$$\chi = \frac{Sz}{\sqrt{2Rt}}, \quad (7)$$

Графіки залежностей (7) і (8) наведені на рисунку 7. Жирною лінією показаний випадок для циліндричного шліфування, пунктирною – для плоского.

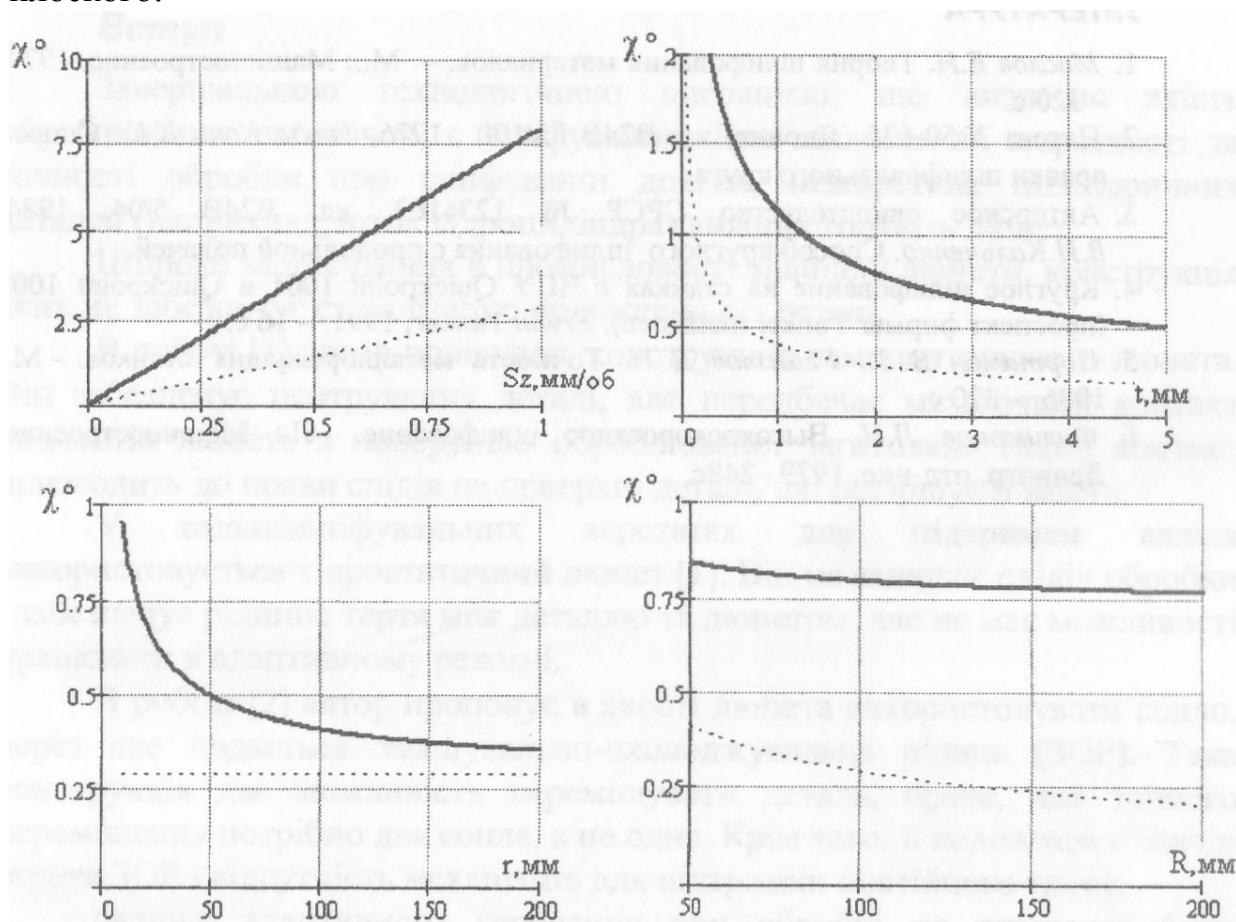


Рисунок 7 – Залежність кута орієнтації круга (χ) від поздовжньої подачі (Sz), глибини різання (t), радіуса деталі (r) і радіуса круга (R)

Висновки

Розроблено новий спосіб глибокого однопрохідного шліфування зі схрещеними осями деталі і шліфувального круга, а також математичну модель процесу, яка включає визначення миттєвої лінії контакту круга і деталі, плями контакту, питомої продуктивності шліфування, товщини зрізаного шару металу однією різальною кромкою. Визначено оптимальний кут орієнтації круга: $\chi = 7^\circ$.

При даному методі шліфування поверхня круга розділена на три області: чорнову (торець круга), напівчистову (перехідна кромка) і калібруючу (периферія круга), що дозволяє суміщувати чорнове і чистове

шліфування за один прохід. Особливістю даного методу шліфування є те, що основна частина припуску зрізається торцем круга, тому найбільша складова сили різання направлена вздовж осі деталі і не впливає на точність формоутворення.

При використанні алмазних і ельборових кругів з малою висотою (4-5мм) на верстатах з ЧПК запропонований метод шліфування є універсальним. Можлива практично повна обробка деталей типу вал за один установ. Тобто, одним кругом можна обробляти циліндричні ділянки, конуси, торці, канавки і навіть площини і багатогранники.

Література

1. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов. - М.: Машиностроение, 1974. - 320 с.
2. Патент №50-636 (Япония) кл. В24В 53/100 , 1976, *Тогда Коки К.К.*. Способ правки шлифовального круга.
3. Авторское свидетельство СРСР №1234163, кл. В24В5/04, 1984, *В.И.Кальченко*. Способ круглого шлифования с продольной подачей.
4. Круглое шлифование на станках с ЧПУ Quickpoint 1001 и Quickpoint 1002 (проспект фирмы Yunker mashinen), *Erwin Yunker*, 1991. - 16 с.
5. *Портаман В. Т., Решетое Д. Н.* Точность металлорежущих станков. - М., 1986.-320 с.
6. *Филимонов Л.Н.* Высокоскоростное шлифование. -Л.: Машиностроение, Лснингр. отделение, 1979.-248С.