

УДК 621.923.42

А.В. РУДИК, В.А. РУДИК
Чернігівський національний технологічний університет**ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ ТОРЦЕМ КРУГА
ЧАШКОВОЇ ФОРМИ**

Розглянуто запропоновані нові способи шліфування як впалих, так опуклих та ступеневих поверхонь обертання заправленим на конус торцем абразивного інструмента чашкової форми. Способи дозволяють підвищити як продуктивність, так і якість оброблених поверхонь при раціональному завантаженні робочої поверхні круга вздовж плями контакту. Зростання ефективності можна досягти за рахунок керування міжосьової відстані, вибором куту правки торця. Це дозволяє збільшити розміри контакту та можливої подачі на рядок. Покращення якості обумовлене виділенням захищеної базової формотворної точки та появою шорсткості у вигляді сітки. Нові способи мають кращу динаміку та дозволяють заощаджувати енергію через менший час машинної обробки та використання меншого за габаритами верстату.

Ключові слова: формоутворення, профіль деталі, лінія контакту, кривизна поверхні, моделювання обробки, точність, продуктивність, якість, ефективність.

А.В. РУДИК, В.А. РУДИК
Черниговский национальный технологический университет**ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ТОРЦЕМ КРУГА ЧАШКОВОЙ
ФОРМЫ**

Рассмотрены предложенные новые способы шлифования как впалых, так выпуклых и ступенчатых поверхностей вращения заправленным на конус торцом абразивного инструмента чашечной формы. Способы позволяют повысить как производительность, так и качество обработанных поверхностей при рациональной загрузке рабочей поверхности круга вдоль пятна контакта. Рост эффективности можно достигнуть за счет управления межосевым расстоянием, выбором угла правки торца. Это позволяет увеличить размеры контакта и возможной подачи на строку. Улучшение качества обусловлено выделением защищенной базовой формообразующей точки и появлением шероховатости в виде сетки. Новые способы имеют лучшую динамику и позволяют экономить энергию вследствие меньшего времени машинной обработки и использования менее габаритного станка.

Ключевые слова: формообразование, профиль детали, линия контакта, кривизна поверхности, моделирование обработки, точность, производительность, качество, эффективность.

A.V. RUDIK, V.A. RUDIK
Chernihiv National Technological University**SHAPE FORMATION OF ROTATION SURFACES WITH THE BUTT END OF THE CUP-SHAPED
WHEEL**

Having considered the proposals for new ways of grinding as a hollow, such as the convex surfaces of rotation and step refilled tapered butt end of the abrasive tool forms the cup. The method allows increasing both productivity and the quality of the treated surfaces at a rational loading of the working surface of the wheel along the contact patch. Efficiency gains can be achieved by controlling the center distance, choosing the angle changes end. This allows you to increase the size of the contact and the possibility of per line. Quality improvement is due to secure the release of the base forming the point of roughness and the appearance of a grid. New ways to have better dynamics and saves energy due to less time machining and use less of dimensional machine tools.

Keywords: shape formation, profile details, contact line, the curvature of the surface, the simulation of processing, accuracy, productivity, quality and efficiency.

Постановка проблеми

Інтенсифікація процесу шліфуванням поверхонь обертання при підвищенні продуктивності, покращенні, якості та енергозбереженні є проблемою актуальною для сучасного вітчизняного машинобудування. Дана проблема може бути вирішеною при використанні торцевого шліфування заправленим конічним чашковим кругом на верстатах з ЧПК. Це дає можливість з метою підвищення

ефективності процесу керувати геометрією контакту за рахунок зміни відстані між осями обертання деталі та інструмента.

Підвищення продуктивності шліфування пояснюється збільшенням розмірів контакту у напрямках як обертання деталі, так і осьової подачі, які визначаються змінними Ейлєревіми радіусами кривизни поверхні круга, та більш раціональним підведенням припуску. Покращення якості забезпечується розподіленням функцій вздовж профілю інструменту з виділенням чорнової та захищених чистової та фінішної ділянок у околі базової точки.

Крім того, за рахунок наближення радіусів кривизни у напрямку осьової подачі можливо або забезпечити її збільшення, або кількість проходів, що впливає на якість обробки. За рахунок кінематики різання, коли швидкість спрямована під кутом до осі виробу, отримують шорсткість обробленої поверхні у вигляді сітки. Покращується динаміка процесу за рахунок зменшення незбалансованої маси інструменту, що здійснює коливання, збільшенням демпфування через зростання розмірів контакту, а самі коливання спрямовані під кутом до поверхні, яку оброблюють. Енергозбереження може бути поясненом зменшенням витрат машинного часу, що викликане збільшенням осьової подачі, кількості проходів при скороченні холодного ходу, та можливим спрощенням приводу верстату для меншого за розмірами інструмента. Крім того, вплив здійснює раціональне завантаження робочої поверхні інструмента до рівня його різальної здатності, що викликане зміною характеру залежності V_n .

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемою шліфування криволінійних поверхонь займалися ряд вчених, серед них Родин П.Р., Равська Н.С., Кальченко В.І. та інші. В наукових роботах, присвячених подібній тематиці, вказувалося, що керування орієнтацією інструмента здатне значно підвищити продуктивність та якість обробки; інструментом простої геометричної форми можна виготовляти при простих відносних рухах складні поверхні. Однак на ефективність значною мірою впливають його форма та кінематика формоутворення. Ці питання у сучасній літературі мають лише часткове обґрунтування.

Авторами даної статті було запропоновано новий спосіб захищений патентом України [1].

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є створення та дослідження нового високоефективного способу шліфування поверхонь обертання торцем абразивного інструмента. Дослідження мети досягалося математичним моделюванням обробки, створенням програм розрахунку та порівнянням результатів, що отримані різними розрахунковими методиками.

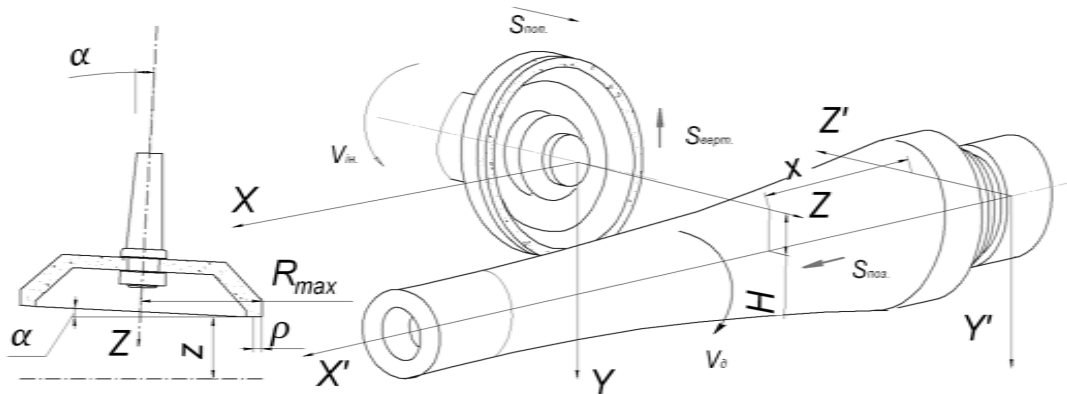


Рис. 1. Наладка верстату на обробку фасонної поверхні за рахунок зміни відстані H між осями

Викладення основного матеріалу дослідження

Складена модель обробки запровадним конічним торцем на заточувальному верстаті з ЧПК мод.В3208Ф3 (рис. 1), де необхідно забезпечити наступні відносні рухи: обертання деталі та інструмента, поздовжньої та поперечної подач.

Для точного формоутворення ділянки поверхні деталі необхідно у точці контакту витримати рівність нахилу дотичних, відповідність діаметральних розмірів та накласти умови на радіуси кривизни деталі у осьовій площині та інструмента. Для обробки впакої ділянки профілю деталі в напрямку осьової подачі такими умовами є менші значення радіусу кривизни інструменту, що наближається до необхідного значення.

Ці вимоги можна забезпечити раціональним вибором діаметральних розмірів інструмента, зміною значень кута α , що характеризує конус запровадненого його торця, відносних поздовжньої та поперечної подач. З використанням матриць перетворення систем координат побудовані математичні

трьох вимірні моделі поверхні круга, обробки та формоутворення на верстаті деталі з врахуванням значень поздовжньої та поперечної подач.

Векторне рівняння конічної робочої поверхні торця абразивного інструменту, що заправлений на кут α (рис. 1), може бути записано наступним способом:

$$\vec{r}(\theta, \rho) = A^6(\theta) \cdot A^1(R_{\max}) \cdot A^5(\alpha) \cdot A^1(-\rho) \cdot \vec{e}^4, \quad (1)$$

де $A^1(q), \dots, A^6(q)$ – матриці перетворення систем координат (СК) [2] вздовж та навколо координатних осей XYZ , кожна з яких залежать від деякого параметру q ;

\vec{e}^4 – вектор, який розташований у біжучій точки поверхні, яку створюють рухом цієї точки; θ, ρ – криволінійні координати торцевої конічної поверхні інструмента, які відповідають за зміну кутового положення навколо осі інструмента та радіального розміру відповідно, параметр ρ спрямований вздовж твірної конічної поверхні торця від найбільшого радіусу; α – кутова орієнтація інструмента, який встановлений на колоні верстату та, в такому положенні, проходить правку; R_{\max} – максимальний радіальний розмір круга.

Формоутворення фрагменту поверхні на верстаті можна записати матричним рівнянням, враховуючи послідовні переходи між його ланками до СК деталі. Отримане рівняння має вигляд:

$$\vec{r}_{\partial i}(\varphi, z, x, \theta, \rho) = A^4(\varphi) \cdot A^3(z) \cdot A^1(x) \cdot A^5(-\alpha) \cdot A^2(H) \cdot \vec{r}(\theta, \rho), \quad (2)$$

де z, x – координати, які відповідають за вертикальне та поздовжнє переміщення, φ – змінний за часом кутовий параметр, який враховує обертання деталі.

Вперше у явному функціональному вигляді отримано рівняння для знаходження швидкості підведення припуску по ділянках контакту у напрямку нормалі до поверхні інструмента [3,4]. Після перетворень це рівняння має вигляд:

$$V_n(\rho, \theta) = \omega \cdot \left\{ \left[R_{\max} \cdot \cos^2 \alpha - \rho \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha \right] \cdot \sin \theta + \right. \\ \left. + \left(H \cdot \sin^2 \alpha + \frac{p}{2} \cdot \sin 2\alpha \right) \cdot \cos \theta + H \cdot \cos^2 \alpha - \frac{p}{2} \cdot \sin 2\alpha \right\} \quad (3)$$

Аналіз даного рівняння (рис. 2), проведений для вказаного способу обробки доводить раціональний характер зміни навантажень вздовж контакту порівняно з відомими та перспективними методами. Крім того, методика дозволяє враховувати вплив подачі на значення цього добутку, чим в більшості випадків нехтують.

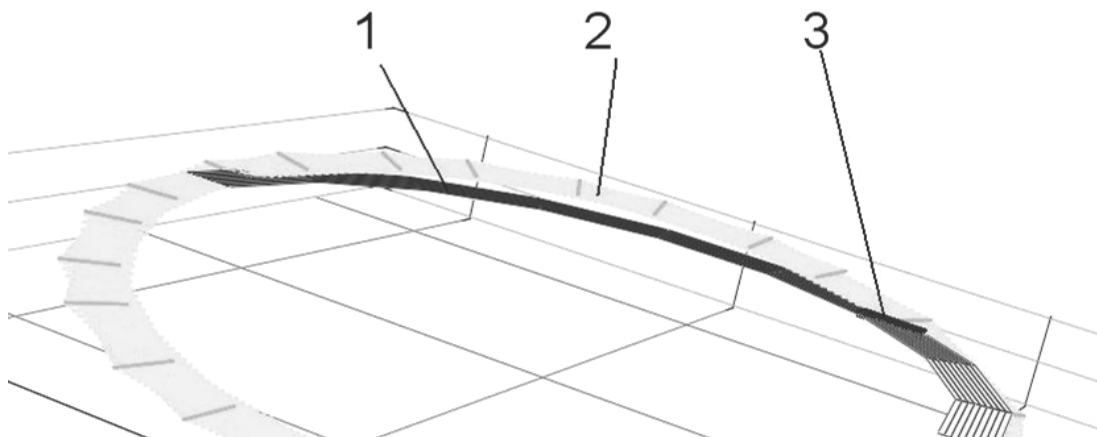


Рис. 2. Епора зміни навантажень, викликаних підведенням припуску V_n , підведеного до торця інструмента

На рис. 2 цифрами позначені 1 – поверхня відліку, 2 – еюра зміни навантажень по поверхні торця V_n , 3 – характеристика.

Графічне знаходження та аналіз рівняння характеристики $V_n=0$, отриманого з попередньої моделі у явному функціональному вигляді, довело можливість її лінеаризації, де коефіцієнти знаходять з використанням принципу Лежандра. Доведено, що їх значення залежить від кута правки α , при цьому змінюється можливий характер графіку (рис. 3).

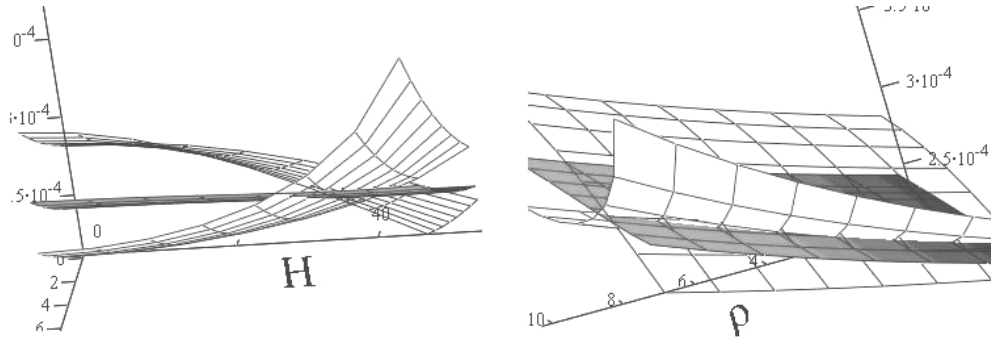


Рис. 3. Графік допоміжної функції $C(\rho, H)$, викликаний зміною кута правки круга α

Рівняння похідних по параметрах ρ, H з урахуванням прийнятих позначень та спрощень можна записати, використовуючи допоміжну функцію $C(\rho, H)$ (рис. 3):

$$\theta_\rho = \frac{\partial \theta}{\partial \rho} = -H \cdot \cos \alpha \cdot C(\rho, H); \quad \theta_H = \frac{\partial \theta}{\partial H} = -R(\rho) \cdot C(\rho, H); \quad \text{де} \quad (4)$$

$$C(\rho, H) = \frac{R(\rho) \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \cdot \sqrt{R(\rho)^2 - H^2 \cdot \cos 2\alpha}}{(R(\rho)^2 + H^2 \cdot \sin^4 \alpha) \cdot \sqrt{R(\rho)^2 - H^2 \cdot \cos 2\alpha}}$$

де θ_ρ, θ_H – похідні рівняння зв'язку, які залежить від відстані H , діаметральних розмірів інструмента та кута правки $R(\rho) = R_{\max} - \rho \cdot \cos \alpha$.

Таким чином, з достатньою для практики точністю можна спрощено визначити як характеристику, так і її похідні по криволінійних координатах запровленої на конус торцевої поверхні інструмента. Далі через коефіцієнти квадратичної форми визначають косинус кута між характеристикою та твірною конічної поверхні та його Ейлереву кривизну у площині контакту, нахил характеристики до осі деталі та, відповідно, кривизну отриманої ділянки профілю (рис.4).

$$R_\chi = \frac{R_\phi}{\sin \alpha} + \frac{1}{R_\phi \cdot \theta_\rho^2 \cdot \sin \alpha} \quad (5)$$

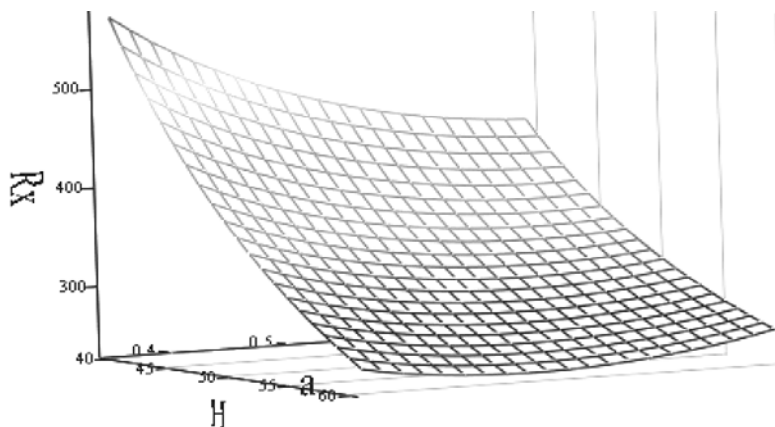


Рис. 4. Радіус кривизни у функції від відстані H між осями та кута правки α

Однак, нормальний плоский Ейлерів переріз поверхонь деталі та інструмента проходить через характеристику ϵ нахиленим до осьової площини деталі. Тому її кривизна буде відрізнятися від знайденої за рівнянням (5).

Характерним для даного методу формоутворення є взаємний зв'язок між кривизною ділянки профілю поверхні деталі, яка утворюється, кутом нахилу дотичної у базовій точці та радіальним розміром цієї ділянки (рис.5).

Далі інтегруванням значень зміни міжосьової відстані можна для заданих значень кута правки та міжосьової відстані визначати характер можливої зміни профілю обробленої поверхні, який можна коригувати додаванням поперечної подачі.

Після інтегрування за параметром H в межах $[H_1, H_2]$ отримують функціональну залежність зміни діаметральних розмірів профілю від міжосьового розміру H на ділянці профілю деталі, що розташована проти базової точки інструмента:

$$R_{об}(H, \alpha) = \int_{H_1}^{H_2} \frac{dR_{об}}{dH} dH \quad (6)$$

Опукла форма поверхонь обертання є широко розповсюджена серед деталей машинобудівної галузі. Це і шківні передачі з плоским пасом, і бомбовані поверхні роликів підшипників. Часто до таких деталей одночасно надають жорсткі вимоги як по шорсткості, так і по точності профілю поверхні.

Для виготовлення опуклих поверхонь тіл обертання слід використовувати правку під кутом α , що забезпечує утворення впалого конічної поверхні заправленого торця інструмента. Розрахунок профілю проводять за тим самим алгоритмом.

Обробку ступінчастих поверхонь також можна проводити згідно даного методу.

Під час обробки однієї ступені в міру наближення до неї при міжосьову відстань зменшують. Це забезпечує відповідне збільшення радіусу кривизни, а процес різання відбувається на ділянках, які ближче розташовані до периферії. Таким чином можна обробляти вали з однаковим напрямком ступенів.

Для обробки протилежно спрямованих ступенів вісь шліфувального круга слід дзеркально повернути відносно площини обертання деталі.

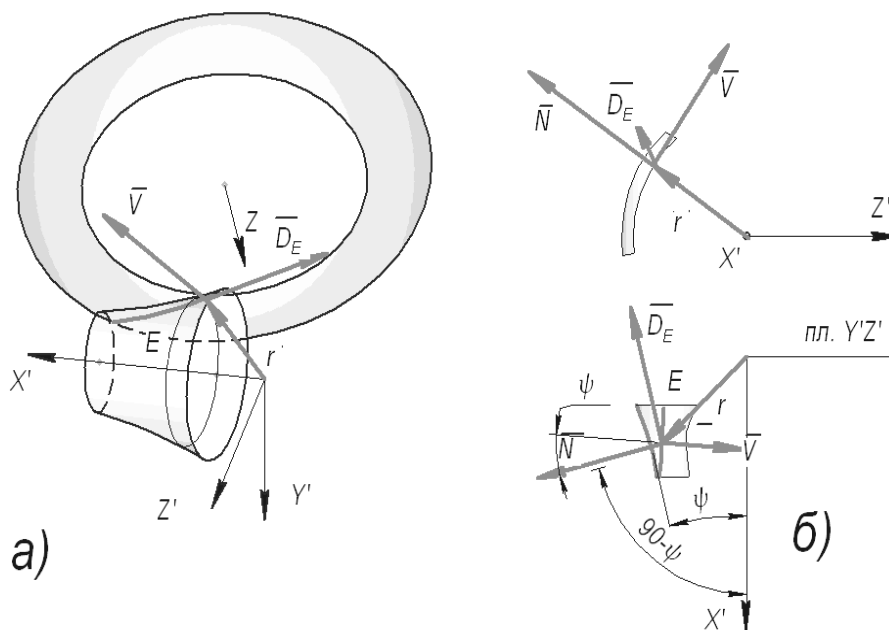


Рис. 5. Схема до знаходження кута ψ нахилу ділянки профілю деталі:

- а) відносне розташування векторів \bar{D}_E, \bar{V} дотичних до характеристики E та напрямної деталі;
б) визначення нормалі \bar{N} до поверхні обертання деталі та кута ψ нахилу ділянки профілю.

Висновки

Матеріали теоретичних досліджень, розрахунків та їх порівняння доводять можливість значного збільшення ефективності обробки шліфуванням поверхонь обертання заправленим на конус торцем круга. Отримана система рівнянь та робочих програм, складених у пакеті програм MathCAD, дозволяють визначати товщину зрізів з метою навантаження інструмента до граничного рівня, що визначається різальною здатністю.

Список використаної літератури

1. Пат. №92147 Україна МПК (2014) B24B 5/04 Спосіб шліфування впалих поверхонь обертання конічною поверхнею торця абразивного інструмента Авт. Рудик А.В., Рудик В.А. Заявка на патент України №u201310754 B24B 5/04, пріоритет від 06.09.2013 власники патенту Рудик А.В., Рудик В.А.
2. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков – М.: Машиностроение, 1986, 336 с.
3. Рудик А.В., Венжега В.І. Продуктивність високоефективного поздовжнього та глибинного шліфування поверхонь обертання периферією та торцем орієнтованим абразивним інструментом //Вісник Чернігівського національного технологічного університету: Збірник – Чернігів: ЧНТУ, 2014.– Вип.№72.– С.76-80.
4. Рудик А.В., Рудик В. А. Шліфування впалих поверхонь обертання конічною поверхнею абразивного інструмента // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: Збірник – Чернігів: ЧДТУ, 2013.– Вип.№ 1 (63).– С.54-59.