

## РОЗДІЛ III. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.923.42

**А.В. Рудик**, канд. техн. наук

**В.А. Рудик**, магістрант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ШЛІФУВАННЯ ВПАЛИХ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ КОНІЧНОЮ ПОВЕРХНЕЮ АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ

*Запропоновано новий ефективний спосіб шліфування запахих фасонних поверхонь обертання із захищеною формотворною точкою, який дозволяє керувати подачею на рядок. Робота по зрізанню припуску розподілена вздовж різних ділянок профілю інструменту з конічною фасонною поверхнею.*

**Ключові слова:** формоутворення, конічна поверхня інструменту, шліфування.

*Предложен новый эффективный способ шлифования впадных фасонных поверхностей вращения с защищенной формообразующей точкой, который позволяет управлять подачей на строку. Работа по срезанию припуска распределена вдоль различных участков профиля инструмента с конической фасонной поверхностью.*

**Ключевые слова:** формообразование, коническая поверхность инструмента, шлифование.

*A new effective method of grinding hollow profiled surfaces with protected formative point, which allows you to manage serving line. Work on the cutting of the allowance is distributed along different sections of the profile of the instrument with a conical shaped surface.*

**Key words:** forming, the instrumental tools conical surface, grinding.

**Постановка проблеми.** Проблема шліфування фасонних поверхонь обертання є актуальною для обробки багатьох деталей машинобудування. Якщо вони не жорсткі, через їх велику довжину, то режими шліфування обмежені, а наладка потребує використання люнетів. Сам верстат тому також може мати меншу жорсткість та відповідно меншу потужність. Тому на операціях зовнішнього шліфування можна ефективно використовувати менш жорсткий заточувальний верстат з ЧПК моделі В3208 Ф3. Кінематику з додаванням поздовжньої та слідкуючої вертикальної подач він також може забезпечити. Крім того, цей заточувальний верстат з ЧПК має меншу потужність, що забезпечить зменшення витрат на електричну енергію під час обробки. Також він дозволяє зменшити виробничі площі за рахунок малих габаритів та можливого використання його у нічний час.

До деталей, які мають впалу робочу фасонну поверхню, належать оправки станів холодної протяжки труб та інші. Такі деталі мають високі вимоги до точності форми та шорсткості оброблених поверхонь, яка може досягати Ra 0,4.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі такі способи оброблення подібних поверхонь.

Відомий спосіб шліфування фасонних поверхонь обертання на верстатах з ЧПК торцем чашкового круга, розроблений ученими університету В.І. Кальченко та В.В. Кальченко, що описує формоутворення на верстатах з ЧПУ зовнішньою ділянкою торової поверхні радіусом  $\rho_1$  [1; 2], увігнутих криволінійних поверхонь обертання.

Недоліками цієї схеми є невисока стійкість, у тому числі розмірна, різальної кромки круга, яка викликана відносно малим об'ємом абразиву, який прилягає до неї. Ті точки периферії, що беруть участь у формоутворенні, повинні, у першу чергу, зрізати чорновий припуск, тому є незахищеними.

Крім того, для цієї схеми характерними рисами є зміна розмірів контакту, що викликає зміну навантажень на ділянки абразивного інструменту; його відносно складна правка.

Як переваги, можна зазначити утворення слідів шорсткості у вигляді сітки, можливість керування контактом та формоутворенням на верстаті.

Однак за рахунок зміни геометрії деталі вздовж профілю її слід проводити по стрічках з комбінацією поздовжньої та слідкуючої подач під час переходу на наступний рядок.

Рекомендації по комбінуванню рухів у літературі полягають у заміні профілів ділянками кіл, інші майже відсутні.

Наступний спосіб обробки циліндричних, гвинтових або фасонних поверхонь описав П.Р. Родін у книзі [3] для випадку фрезерування кутовою фрезою. Цей спосіб може бути використаним для оброблення фасонних поверхонь конічною поверхнею заправленого чашкового круга. Описання схеми містить визначення характеристики та рекомендації щодо вибору поздовжньої подачі за умови забезпечення висоти хвилястості.

Автор вказує, що форма і розміри оброблених гвинтових поверхонь деталей значною мірою залежать від діаметральних розмірів та встановлення інструменту. Однак точні рекомендації щодо їх вибору не наведені. Крім того, не врахований вплив вертикальної подачі на процес формоутворення. Методика переходу на наступний рядок [3] передбачає заміну фрагментів профілів деталі та інструменту ділянками спряжених кіл та по їх значенням визначати подачу. Такий перехід містить декілька наближень, що деякою мірою знижує точність обчислень та знижує їх ефективність.

Цей спосіб формоутворення прийнятий за прототип.

Порівняно до круглого поздовжнього шліфування фасонних деталей, метод шліфування, направленим на конус торцем, забезпечує більший розмір контакту як у напрямку швидкості головного руху, так і вздовж профілю деталі на криволінійній ділянці, тому продуктивність його збільшується.

Важливим є те, що формотворна ділянка круга знаходиться на відстані від торців, тому краще захищена від зношення – головний припуск зрізується ділянкою, яка прилягає до периферійної. Завдяки такому розташуванню якість обробки також покращується, а сліди від зерен утворюють на поверхні деталі риси шорсткості у вигляді сітки.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Отже, в наведених літературних джерелах не розглянуте питання формоутворення фасонних поверхонь обертання за рахунок додавання двох рухів подач, також немає аналізу впливу розміру інструменту та кута правки на продуктивність формоутворення.

Для точного аналітичного знаходження співвідношення між подачами заданим повинен бути профіль, визначений координатами точок та дотичними в них [4]. Звичайно для оправок цей профіль увігнутий, під час зменшення значень радіусів кривизни в одну сторону. Саме в цьому напрямку для уникнення небезпеки підрізання профілю слід під час розрахунків подачі на наступний рядок здійснювати рух.

**Метою статті** є створення способу, який дозволить підвищити ефективність шліфування за рахунок описання та моделювання процесу формоутворення на цьому верстаті. Моделювання обробки передбачає знаходження для цього профілю деталі функціонального зв'язку між вертикальною та поздовжньою подачами.

Алгоритм розв'язку цієї задачі має такі етапи.

1. Знайти функції формоутворення абразивного інструменту, верстата та обробки.
2. Записати рівняння зв'язків між усіма змінними параметрами та знайти характеристику – лінію, яка визначає момент формоутворення. За цією характеристикою визначити в межах одного рядка ділянку профілю, яку інструмент відтворює на поверхні деталі.
3. Здійснити перехід на наступний рядок та визначити зміну вертикального положення круга, яке можна прийняти за слідкуючу подачу.
4. Встановити зв'язок між подачами та найбільше з можливих значень подачі на рядок для довільного моменту часу.

**Виклад основного матеріалу.** Для досягнення мети слід проаналізувати можливість формоутворення лише двома подачами поздовжньою, як такою, що задає рух, та вертикальною колони, як слідкуючою (рис. 1). Слід враховувати та покращувати точність формоутворення у базовій точці порівняно до інших за допомогою використання вагових матриць.

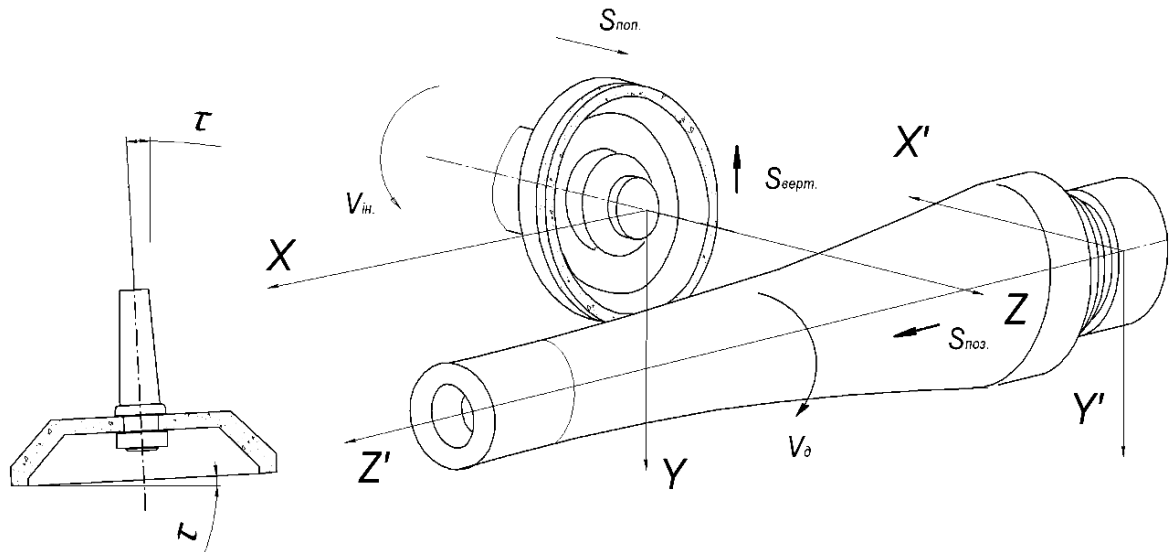


Рис. 1. Наладка верстата на оброблення фасонної поверхні з осями

Розглянемо окремо наведені етапи.

Векторне рівняння поверхні абразивного інструменту, який має заправлений на кут  $\tau$  торець (рис. 1), може бути записано у такий спосіб:

$$\vec{r}_i(\varphi, R) = A^4(\varphi) \cdot A^5(\tau) \cdot A^3(R) \cdot \vec{e}^4, \quad (1)$$

де  $A1(q), \dots, A6(q)$  – матриці перетворення систем координат [4] вздовж та навколо координатних осей XYZ, які залежать від деякого параметра  $q$ ;  $\vec{e}^4$  – вектор, що відповідає точці, яка знаходиться у початку системи координат  $\varphi, R$  – криволінійні координати поверхні інструменту, які відповідають за зміну кутового положення навколо осі інструмента, та радіальний розмір відповідно,  $\tau$  – кутова орієнтація інструменту, який встановлений на колоні верстата та в цьому положенні проходить правку.

Формоутворення поверхні деталі на верстаті можна записати матричним рівнянням, враховуючи послідовні переходи між його ланками та отримане рівняння поверхні інструменту:

$$\vec{r}_i(\theta, z, x, \varphi, R) = A^6(\theta) \cdot A^3(z) \cdot A^1(x) \cdot A^5(-\tau) \cdot A^2(h) \cdot \vec{r}_i(\varphi, R), \quad (2)$$

де  $z, x$  – координати, які відповідають за вертикальне та поздовжнє переміщення щодо умовного нуля,  $\theta$  – кутовий параметр, який враховує обертання деталі.

Однак воно відображає так зване «сімейство поверхонь», з якого ще потрібно виділити обвідну. Характеристика є граничною лінією, де відбувається формоутворення обробленої поверхні. Знайти її можна, склавши векторно-скалярний добуток з часткових похідних [5]

$$\vec{r}_R \times \vec{r}_\varphi \cdot \vec{r}_\theta = 0. \quad (3)$$

З цього рівняння отримують зв'язок між змінними  $\varphi(R, \theta)$ , який дозволяє визначити фрагмент утвореної поверхні деталі

$$\vec{r}_i(\theta, z, x, R) = \vec{r}_i(\theta, z, x, \varphi(R, \theta), R). \quad (4)$$

У рівнянні (4) для спрощення розміри  $x, z$  вважають фіксованими.

На рис. 2 показані робоча кінцева поверхня чашкового круга, характеристика та спряжений з нею фрагмент обробленої поверхні деталі у межах одного рядка, що отриманий обертанням характеристики навколо осі деталі. Для аналізу можливості ефективного формоутворення розраховані різні ділянки вздовж осі деталі.

Профіль однієї з них наведений на рис. 3. Попередній аналіз показав можливість у широких межах досягати його зміни при одночасному збільшенні діаметральних розмірів утвореного рядка. Зазначимо також значну довжину цієї ділянки та характеристики. Крім того, як видно з рис. 3, вона також, як і профіль деталі, має впалу форму. Все це дозволяє збільшувати продуктивність оброблення за рахунок можливого збільшення подачі на рядок.

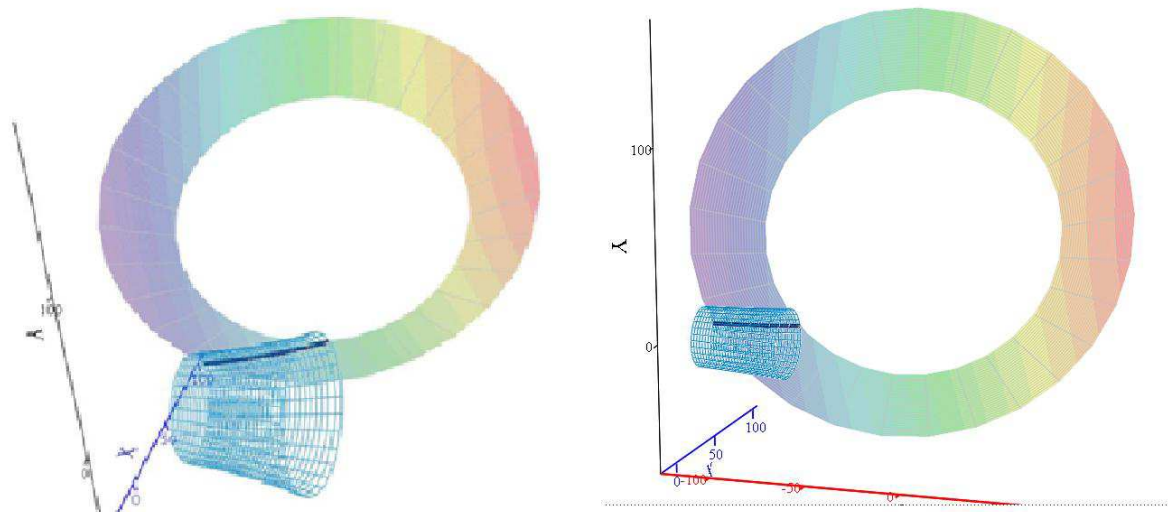


Рис. 2. Формоутворення заправленим торцем круга по рядках на поверхні деталі при різних значеннях відстані між осями

Розрахунок вертикальної слідкуючої подачі під час переходу на наступний рядок проводять у такому порядку.

Розрахунок починають з тієї сторони фасонної поверхні (на рис. 2 – лівого), де радіус кривизни профілю має найбільше значення. Звичайно тут ділянка профілю деталі наближується до прямолінійної. Потім переходять на наступний рядок, збільшуючи розмір  $x = h$ , який характеризує міжосьову відстань, та одночасно зміщуючись вздовж осі деталі на шукану величину  $z$ . Всі базові точки, які використовують для розрахунку наступних рядків, враховуючи монотонне зменшення радіусів кривизни, слід приймати по одну сторону від базової попереднього рядка.

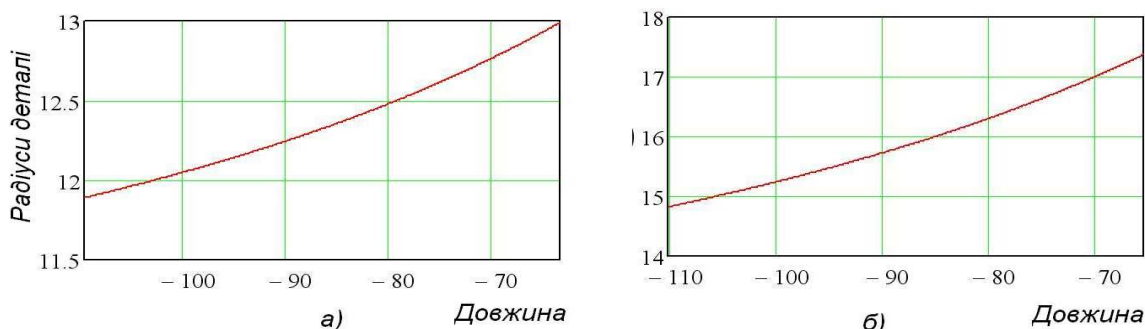


Рис. 3. Зміна профілю заготовки, утвореного по ширині рядка, по довжині при різних кутах правки круга:  $\tau=10^\circ$  (а) та для  $\tau=25^\circ$  (б)

Шуканий зсув профілю круга вздовж осі деталі зручніше виконувати в її осьовій площині під час згортання лінії контакту (рис. 3). Для знаходження величини зсуву слід по всіх радіусах рядка знайти мінімальну (або припустиму із врахуванням можливого підрізання) відстань, яку вимірюють між ділянками профілів вздовж осі  $z$ . На цю вели-

чину здійснюють зсув. Методом варіювання з використанням вагових матриць можна проводити уточнення поздовжнього зсуву.

Доцільно одночасно визначати гранично ширину рядка, яка обмежена припустимими за умовами точності розмірами відхилень, від номінального положення профілю деталі та визначає подачу  $S_{позд}$ .

Під час початку розрахунку слід перевірити можливість та доцільність формоутворення навколо цієї поверхні лише за рахунок однієї слідкуючої подачі, наприклад, вертикальної для верстата ВЗ208ФЗ.

Слід виконати оптимізацію діаметрального розміру інструменту та кута його правки  $\tau$  із врахуванням заданих розмірів деталі. Розрахунки показують, що під час збільшення цього кута одночасно зменшуються діаметральні розміри та їх перепад по довжині, який змінюється несуттєво (рис. 3). Під час збільшення діаметральних розмірів така зміна відбувається менш суттєво.

Різницю координат вздовж осі  $z$  або площу між профілями в межах контакту вважають функцією, яку оптимізують.

Таким чином, досягаються загальні дотичні та нормаль у точках контакту спряжених характеристики й профілю деталі і встановлюються залежності між рухами подач верстата.

Оброблення за вказаною методикою розрахунку можливо проводити на копіювальних верстатах під час використання для слідкуючої подачі шаблонів. Подібним алгоритмом можна користуватися для оброблення опуклих профілів, коли на поверхні круга пр. і правці утворюють впалу конічну поверхню.

**Висновки і пропозиції.** Запропонований новий ефективний спосіб шліфування впадлих фасонних поверхонь обертання чашковим або тарілчастим абразивним інструментом із захищеною формотворною точкою. Цей спосіб дозволяє керувати розмірами та формою контакту між кругом та деталлю. Робота по зрізанню припуску розподілена вздовж різних ділянок профілю інструменту з випуклою конічною фасонною поверхнею. При іншому нахилі твірної профілю інструменту цей спосіб може бути використаним для формоутворення випуклих поверхонь.

#### Список використаних джерел

1. Кальченко В. В. Шлифование вогнутых и выпуклых криволинейных поверхностей вращения на станках с ЧПУ одним инструментом со скрещивающимися осями его и детали / В. В. Кальченко // Резание и инструмент в технологических системах : Межд. научн.-техн. сб. Вып. 65. – Харьков : НТУ “ХПИ”, 2003. – С. 65-72.
2. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧДТУ, 2009. – 356 с.
3. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П. Р. Родин. – К. : Вища школа, 1997. – 192 с.
4. Родин П. Р. Обработка фасонных поверхностей на станках с числовым программным управлением / П. Р. Родин, Г. А. Линкин, В. Н. Татаренко. – К. : Техніка, 1976. – 200 с.
5. Решетов Д. Н. Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1986. – 336 с.