

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-9-18

Володимир Кальченко, Володимир Венжега, Дмитро Кальченко, Володимир Морочко

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ У РЕЖИМІ ЗАТУПЛЕННЯ ОРІЄНТОВАНОГО КРУГА, ЗАПРАВЛЕНОГО З РІЗНИМИ ПОДАЧАМИ НА РОБОЧІЙ І КАЛІБРУВАЛЬНІЙ ДІЛЯНКАХ

Актуальність теми дослідження. Дослідження та розробка просторових моделей правки периферійної інструментальної поверхні при круглому шліфуванні в режимі затуплення зі схрещеними осями круга і циліндричної деталі є актуальним завданням, оскільки сприятиме підвищенню продуктивності обробки, точності виробів і стійкості інструментів та забезпечуватиме вищу конкурентоспроможність у різних галузях машинобудування.

Постановка проблеми. У шліфування зі схрещеними осями інструмента й заготовки задіяна вся периферія інструменту. Розвиненість робочої поверхні інструмента на різних ділянках повинна бути різною. Максимальною під час чорнового шліфування, для забезпечення високої продуктивності обробки, меншою – при напівчистовій та чистовій обробках для отримання низької шорсткості поверхонь. Тому виникає необхідність розробки такої правки круга, яка б забезпечувала можливість управління рельєфом його робочої поверхні відповідно до особливостей розподілу припуску.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковою школою доктора технічних наук, професора В. І. Кальченка досліджено спосіб круглого шліфування в режимі самозаточування зі схрещеними осями деталі і заготовки та запропоновано спосіб правки периферійної поверхні круга з постійною подачею.

Виділення не досліджених раніше частин загальної проблеми. Наявні способи правки шліфувальних кругів не розглядають питання забезпечення різної розвиненості рельєфу робочої поверхні інструмента.

Постановка завдання. Забезпечити високі показники точності розмірів, низькі шорсткість та хвилястість оброблених поверхонь при шліфуванні в режимі затуплення. Розробити модульну тривимірну модель правки периферійної ділянки шліфувального круга із врахуванням її різної розвиненості на базі уніфікованих модулів: інструментального, орієнтації та формоутворення.

Виклад основного матеріалу. Розрізняють шліфування в режимі самозаточування і переважного затуплення інструмента. У режимі самозаточування зношування шліфувального круга призводить до зміни його вихідної (правильної) геометричної форми, що, у свою чергу, інтенсифікує вібрації технологічної системи, призводить до збільшення похибок розмірів і утворення на оброблюваних поверхнях деталей хвилястості, тому режим самозаточування використовується переважно на операціях попереднього шліфування. На операціях остаточного шліфування бажано створювати умови й режим, що забезпечують роботу круга в режимі переважного затуплення або часткового самозаточування, коли забезпечується його незначний розмірний знос.

Висновки відповідно до статті. У роботі досліджено та запропоновано новий спосіб правки периферійної ділянки абразивного круга із різною подачею правлячого інструменту для шліфування в режимі затуплення зі схрещеними осями круга та деталі, що враховує її різну розвиненість на чорновій, чистовій та калібрувальній ділянках. Його застосування збільшує інтервали між правками та стійкість шліфувального круга, забезпечує більш високі точність та якість оброблених поверхонь, а також підвищує ефективність процесу обробки.

Ключові слова: кругле шліфування; шліфування периферією орієнтованого круга; шліфування в режимі затуплення; правка шліфувальних кругів; розвиненість поверхні шліфувального круга.

Рис: 3. Бібл.: 11.

Актуальність теми дослідження. У виробках машинобудування поширена велика кількість деталей типу валів та осей із циліндричними поверхнями, остаточна точність яких формується на фінішних операціях круглого шліфування. Використання способу шліфування зі схрещеними осями круга та деталі має переваги над способом шліфування при паралельних осях інструменту та деталі, що полягають у фіксації формоутворюючої ділянки абразивного інструменту, рівномірному розподіленні припуску вздовж профілю круга та його більш рівномірному зносі. Дослідження процесу шліфування в режимі затуплення круга з розробкою просторових моделей правки інструментальної поверхні є актуальним завданням, оскільки сприятиме підвищенню стійкості інструменту, точності виробів та продуктивності обробки.

Постановка проблеми. Оскільки під час шліфування зі схрещеними осями інструменту та деталі припуск розподіляється вздовж чоргової, напівчистової, чистової та калібрувальної ділянок шліфувального круга, то відповідно й розвиненість робочої поверхні інструмента на різних ділянках повинна бути різною.

Це можна здійснити за рахунок різної величини подачіправлячого інструменту. На чорновій ділянці круга знімається основний припуск, тому більші канавки забезпечують більший простір для відведення стружки, запобігаючи їй прилипанню і виникненню вібрацій. Чистова та калібрувальна ділянки, на які припадають менші значення припуску, забезпечують низьку геометричну шорсткість поверхні деталей ($Ra = 0,32 - 1,25$ мкм) та формують точність обробки по 6-7 квалітету точності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При шліфуванні циліндричних поверхонь деталей із паралельними осями деталі та інструмента задіяна не вся висота шліфувального круга, а лише частина, яка дорівнює подачі деталі на оберт круга. Висота зношеної ділянки інструмента в кожній точці його робочої поверхні залежить від подачі та висоти припуску. Нерівномірний знос інструмента по висоті відбувається з однієї або обох сторін залежно від способу обробки [1; 2]. У вказаному способі знижується продуктивність обробки внаслідок роботи у процесі шліфування не всієї висоти круга, а лише її невеликих частин при невідомому розташуванні формоутворюючої точки.

У [3] запропоновано спосіб круглого шліфування з поздовжньою подачею орієнтованим кругом. Фіксація формоутворюючої точки круга здійснюється за рахунок повороту інструменту на кут відносно осі обертання деталі.

Німецька фірма Junker впровадила спосіб високошвидкісного шліфування зі схрещеними осями інструменту й деталі на верстатах марки Quickpoint 1000, Quickpoint 3000, Quickpoint 5000 [4; 5]. Використовуються шліфувальні круги з алмазу чи ельбору висотою 4–6 мм та товщиною покриття кілька міліметрів при швидкостях шліфувального круга до 140 м/с і обертанні деталі до 12 000 хв⁻¹.

Отримати більш високі показники точності розмірів, низькі шорсткість та хвилястість оброблених поверхонь можна у процесі роботи шліфувальних кругів у режимі затуплення [6; 7]. Різальні та деформуючі зерна міцно утримуються зв'язкою в інструменті, що дає можливість зберегти профіль інструмента, який формується при правці.

У роботі [8] проведені дослідження правки шліфувальних кругів з метою підвищення точності. Встановлено, що сила правки є ключовим параметром у визначенні кількості проходів, необхідних для досягнення високої ефективності процесу. Тому можна забезпечити зменшення тривалості правки та витратуправлячого інструменту.

Безконтактний метод вимірювання зносу шліфувального круга для забезпечення точності обробки представлено в роботі [9].

Проведені експериментальні дослідження процесу правки шліфувальних кругів [10] показали, що на шорсткість шліфувального круга впливають відношення швидкостей, поперечні подачі та профілі роликів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Кругле шліфування периферією круга зі схрещеними осями інструмента та деталі дає можливість фіксації формоутворюючої ділянки абразивного інструменту й забезпечує рівномірний розподіл припуску вздовж профілю круга. Завдяки цьому знос його стає більш рівномірним та підвищується продуктивність обробки.

Для забезпечення високих техніко-економічних показників обробки необхідно при правці круга враховувати особливості його подальшої роботи. Однак відомі способи правки шліфувальних кругів не розглядають питання забезпечення різної розвиненості рельєфу робочої поверхні інструмента.

Мета статті. Метою цього дослідження є розробка просторової моделі правки інструментальної поверхні при круглому шліфуванні периферією круга в режимі затуплення зі схрещеними осями круга і циліндричної деталі, що дасть можливість підвищити точність та продуктивність обробки.

Виклад основного матеріалу. Існує два способи круглого шліфування циліндричних поверхонь деталей: у режимі самозаточування і в режимі затуплення круга. Дослідимо режим затуплення.

Абразивні інструменти при шліфуванні піддаються періодичному й перманентному силовому, тепловому і фізико-хімічному впливу, у результаті якого їхні робочі поверхні зношуються, затупляються та засолюються [6].

Під зношуванням розуміють поступове відділення часток робочого шару інструменту, що призводить до зменшення його розмірів і маси.

При затупленні змінюються геометричні параметри його робочої поверхні внаслідок зношування абразивних зерен, що призводить до зниження різальної здатності інструменту.

Зношування шліфувальних кругів відбувається переважно за рахунок: механічного стирання вершин різальних крайок зерен і появи на них майданчиків зносу; викришування (сколювання) часток абразивного зерна під дією силових навантажень або (і) циклічного чергування їх; швидкого нагрівання і охолодження, що створює термоудари; адгезійного зносу зерен, пов'язаного з періодичним відривом налиплого на них металу заготовки разом із частинками абразиву й утворенням на зернах дрібних кратерів; дифузійного зношування, що полягає в розчиненні абразивних зерен у матеріалі оброблюваної заготовки або (і) утворення їх хімічних з'єднань; окислення зерен киснем повітря при високій температурі; виривання зі зв'язки цілих зерен.

Під засоленням розуміють процес перенесення на робочу поверхню абразивного інструменту частинок шламу (частинки абразиву, зв'язки і шліфувальної стружки) в процесі обробки. Однак частинки шламу здатні проникнути й утриматися в просторі між абразивним зерном і в порах круга, а на абразивних зернах налипає матеріал заготовки, що обробляється.

Затуплення і засолювання є основною причиною втрати різальної здатності абразивного інструменту. Залежно від переважання того чи іншого виду зносу розрізняють режим самозаточування і переважного затуплення інструмента. У режимі самозаточування переважає процес сколювання абразивних зерен і виривання їх із зв'язки. При цьому різальна здатність шліфувального круга і теплосилова напруженість процесу шліфування з часом практично не змінюються, проте зношування шліфувального круга призводить до зміни його вихідної (правильної) геометричної форми, що, у свою чергу, інтенсифікує вібрації технологічної системи, призводить до збільшення похибок розмірів і утворення на оброблюваних поверхнях деталей хвилястості, тому режим самозаточування використовується переважно на операціях попереднього шліфування.

На операціях остаточного шліфування бажано створювати умови й режим, що забезпечують роботу круга в режимі переважного затуплення або часткового самозаточування, коли забезпечується його незначний розмірний знос. Цей режим характеризується утворенням майданчиків зносу на різальних крайках зерен із налипанням на ці майданчики частинок металу заготовки. Різальна здатність шліфувального круга зі збільшенням його напрацювання зменшується, внаслідок чого зростають теплосилова напруженість процесу й інтенсивність вібрацій, погіршується якість деталей. Для відновлення різальної здатності абразивних зерен круги піддають періодичній правці. З метою забезпечення сталості різальної здатності абразивного інструмента застосовують безперервну правку.

Баланс між сколюванням і вириванням зерен та їх затупленням визначається теплосиловою напруженістю процесу шліфування і міцнісними властивостями самих зерен і зв'язки.

Зі збільшенням робочої швидкості круга і його твердості зростають середні значення сил, що припадають на одне зерно, при яких можливе руйнування зерен або виривання їх із зв'язки (критичне навантаження). Із підвищенням твердості круга процес шліфування з переважаючим самозаточуванням переходить у «змішаний» режим, потім – у режим із переважаючим затупленням, а при обробці заготовок із пластичних і в'язких матеріалів спостерігається інтенсивне засолювання робочої поверхні шліфувального круга.

Чим менша зернистість шліфувального круга, тим вужчим стає діапазон твердості круга, за якого можливий «змішаний» режим його роботи. При збільшенні інтенсивності знімання металу кругами малої твердості режим переважного затуплення круга змінюється змішаним режимом, а потім переходить у режим самозаточування. При шліфуванні заготовок із пластичних і в'язких матеріалів кругами високої твердості, змішаний режим змінюється режимом засолювання.

При шліфуванні заготовок кругами з електрокорунду й карбїду кремнію мають місце всі види зношування, а їхня питома вага може змінюватися залежно від умов обробки; шліфувальні круги з ельбору працюють переважно в режимі самозаточування.

Інтенсивність механічного стирання зерен значною мірою визначається міцністю і твердістю матеріалу оброблюваної заготовки.

При шліфуванні заготовок із корозійностійких і жароміцних сталей і сплавів інтенсивність затуплення абразивних зерен у кілька разів вище, ніж при шліфуванні заготовок із конструкційних вуглецевих і низьколегованих сталей, що пояснюється більш високою міцністю і твердістю цих матеріалів при високих температурах.

У зоні шліфування, яка характеризується наявністю високотемпературної силової взаємодії між шліфувальним кругом і заготовкою, активним рідким і газовим середовищем, створюються передумови для протікання хімічних реакцій, що призводять до утворення продуктів, які блокують або активізують безпосередню взаємодію абразивного зерна й матеріалу заготовки. Дифузійне зношування абразивних зерен домінує при шліфуванні заготовок із хімічно активних матеріалів, до яких належать, зокрема, алюмінієві й титанові сплави.

Л. Худобін і М. Белов [11], проаналізувавши кінетику стану робочих поверхонь кругів із традиційних абразивних матеріалів (електротрокорундів і карбїдів кремнію) при шліфуванні заготовок із корозійно стійких сталей, виділили три періоди роботи кругів: 1) сколювання вершин абразивних зерен, руйнування зерен з утворенням дрібних осколків і виривання неміцно закріплених зерен із зв'язки в початковий період шліфування після правки круга; 2) затуплення зерен із подальшим налипанням на їх вершини частинок металу заготовки, руйнування зерен з утворенням осколків і виривання затуплених і засмальцьованих зерен зі зв'язки під дією сили шліфування, при цьому пори круга частково заповнюються шламом; 3) подальше засолювання робочої поверхні шліфувального круга, що полягає в заповненні шламом простору між зернами, та призводить до повної втрати кругом різальної здатності.

Дослідження проводились для традиційного способу шліфування при паралельних осях інструмента й деталі периферією циліндричного круга, коли відбувається нерівномірний знос інструментальної поверхні. У процесі обробки деталі задіяна не вся висота шліфувального круга, а лише частина, яка дорівнює подачі деталі на оберт круга. Тому висота зношеної ділянки інструменту в кожній точці його робочої поверхні залежить від подачі та висоти припуску. Знос інструмента відбувається з однієї або обох сторін залежно від способу обробки.

Науковою школою доктора технічних наук, професора В. Кальченка досліджено спосіб шліфування в режимі самозаточування зі схрещеними осями деталі і заготовки. Це забезпечує фіксацію формоутворюючої точки круга за рахунок повороту інструменту на кут відносно осі обертання деталі та рівномірний розподіл припуску вздовж профілю інструмента. Значна частина припуску припадає на торець круга. Об'єм матеріалу, що знімається за один прохід, розбивається на декілька частин. Це дозволяє розвантажити периферію круга та виділити деяку калібрувальну ділянку, що й забезпечить кінцеву точність обробки. Запропоновано спосіб правки з однаковою подачею залежно від висоти круга й кута його нахилу.

Насправді на кожну ділянку круга припадає різна глибина різання і об’єм матеріалу, що знімається. Оскільки при шліфуванні зі схрещеними осями задіяна вся периферія інструменту, припуск розподіляється вздовж чорнової, напівчистої, чистої та калібрувальної ділянок шліфувального круга. Відповідно, розвиненість робочої поверхні інструмента на вказаних ділянках повинна змінюватись від максимальної під час чорнового шліфування, для забезпечення високої продуктивності обробки, до мінімальної на калібрувальній для отримання низької шорсткості поверхонь.

Тому виникає необхідність розробки правки круга, яка б забезпечувала управління рельєфом його робочої поверхні у відповідності до розподілу припуску при шліфуванні зі схрещеними осями круга та деталі.

Для забезпечення відповідної до процесу обробки розвиненості чорнової, напівчистої, чистої та калібрувальної ділянок периферії круга необхідно змоделювати процес правки інструментальної поверхні.

Правку абразивного круга *1* (рис. 1) здійснюють алмазним однокристальним олівцем *2* із різальним зерном у формі октаедра.

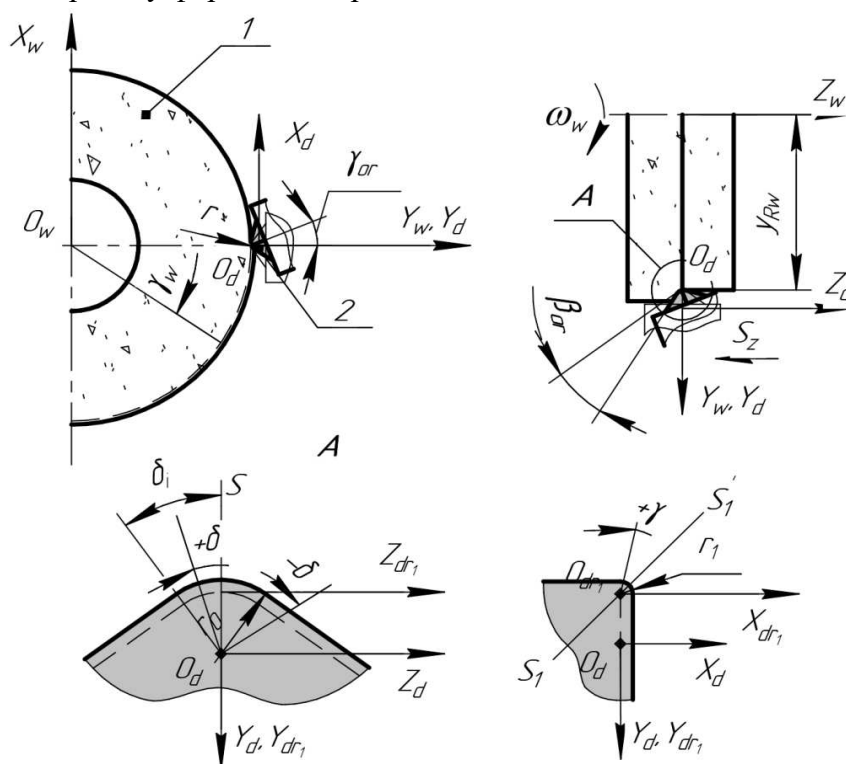


Рис. 1. Схема правки абразивного круга алмазним олівцем

Алмазний олівець подається під кутом γ_{or} до оброблюваної поверхні шліфувального круга для забезпечення роботи граней алмазного зерна, які ще не затупилися в процесі обробки.

Розробимо загальні тривимірні моделі зняття припуску та точності формоутворення периферійної ділянки абразивного круга при його правці. Радіус-вектор \vec{r}_d точок різальної поверхні алмазного олівця задається сферичним модулем формоутворення $MS_{\delta, \gamma, r_1}^d$:

$$\begin{aligned} \overline{RD} &= MS_{\delta, \gamma, r_1}^d \cdot \vec{e}_4 = \\ &= M_4(\delta) \cdot M_2(r_0 - r_1) \cdot M_6(\gamma) \cdot M_2(r_1), \end{aligned}$$

де r_1 – радіус, що визначає положення вершини алмазного олівця (рис. 1); δ – кут повороту навколо осі $O_d X_d$ (рис. 1), який задає радіус r_0 заокруглення різальної крайки олівця; γ – кутова координата, яка задає радіус r_1 заокруглення різальної крайки.

Радіус-вектор $\overline{RD}(\delta, \gamma)$ різальної поверхні інструмента задається у вигляді двох прямолінійних ділянок та сферичної частини (рис. 1):

$$\begin{aligned} \overline{RD}(\delta, \gamma) = & MS_{\delta, \gamma, r_1}^d \cdot \bar{e}4 \cdot \Phi(|\delta|) - \\ & - MS_{\delta, \gamma, r_1}^d \cdot \bar{e}4 \cdot \Phi(|\delta| - \delta_i) + \\ & + M2(h|\delta|) \cdot MS_{\delta, \gamma, r_1}^d \cdot \bar{e}4 \cdot \Phi(\delta - \delta_i) + \\ & + M2(-h|\delta|) \cdot MS_{\delta, \gamma, r_1}^d \cdot \bar{e}4 \cdot \Phi(-\delta - \delta_i), \end{aligned}$$

де δ_i – кут, який визначає розташування радіусної кромки відносно лінії симетрії пластинки O_dS (див. рис. 1); $h(\delta) = (r_0 - r_1) \cdot \text{tg}(\delta - \delta_i)$ – функція, яка визначає координату розташування точки вздовж конусних ділянок різальної поверхні олівця; $\Phi(\delta)$ – функція Хевісайда, при додатному аргументі дорівнює одиниці, при від'ємному – нулю.

На рис. 2 представлена просторова модель різальної поверхні алмазного олівця з кутом при вершині $\delta_i = \pi/4$ та радіусами округлення $r_0 = 1,5$ мм, $r_1 = 0,2$ мм.

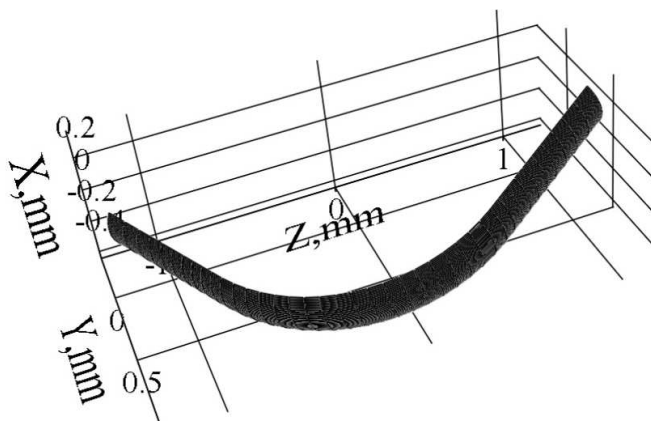


Рис. 2. Різальна грань поверхні алмазного олівця

Графік є математичним відображенням поверхні алмазного олівця, яку, завдяки розробленим рівнянням, можна змінювати залежно від параметрів робочого інструмента. Математична модель інструментальної поверхні дозволяє змоделювати геометричний профіль обробленої поверхні деталі.

Номинальна поверхня шліфувального круга I запишеться рівнянням:

$$\begin{aligned} \overline{R}_{GW}(\delta, \gamma, \gamma_w) = & MC_{p_z \cdot \gamma_w \cdot y_{Rw}}^{sh} \times \\ & \times MS_{\beta_{or} \cdot \gamma_{or} \cdot \chi_{or}}^{or} \cdot \overline{RD} = \\ = & M3(\gamma_w \cdot p_z) \cdot M2(-y_{Rw}) \times \\ & \times M6(\gamma_{or}) \cdot M4(\beta_{or}) \cdot M5(\chi_{or}) \cdot \overline{RD}, \end{aligned}$$

де $MS_{\beta_{or} \cdot \gamma_{or} \cdot \chi_{or}}^{or}$ – модуль орієнтації алмазного олівця у системі координат круга;

$MC_{p_z \cdot \gamma_w \cdot y_{Rw}}^{sh}$ – циліндричний модуль, що задає рух алмазного олівця відносно шліфувального круга; R_w – радіус круга після правки; t – припуск на правку круга; γ_{or} , β_{or} , χ_{or} – кути нахилу інструментальних поверхонь відносно осей O_dZ_d , O_dX_d , O_dY_d відповідно; y_{Rw} – переміщення системи координат інструмента в систему координат деталі, (радіус циліндричної поверхні шліфувального круга після правки); γ_w – кут повороту оброблюваної поверхні круга навколо власної осі; p_z – параметр гвинтового руху різального леза олівця вздовж поверхні круга, $p_z = \frac{S_z}{2 \cdot \pi}$; S_z – подача на оберт у

відповідному напрямку.

Остаточно рівняння обробленої поверхні шліфувального круга набуде вигляду:

$$\bar{R}_{GW}(\delta, \gamma, \gamma_w) = MC_{p_z \cdot \gamma_w \cdot \gamma_{Rw}}^{sh} \cdot MS_{\beta_{or} \cdot \gamma_{or} \cdot \lambda_{or}}^{or} \cdot MS_{\delta \cdot r_0 \cdot \gamma \cdot r_1}^d \cdot \bar{e}^4.$$

Лінія контакту круга та алмазного олівця визначається як:

$$\bar{n} \cdot \bar{v} = \left(\begin{array}{l} \frac{\partial \bar{R}_{GW}(\delta, \gamma, \gamma_w)}{\partial \delta} \times \\ \times \frac{\partial \bar{R}_{GW}(\delta, \gamma, \gamma_w)}{\partial \gamma} \end{array} \right) \cdot \frac{\partial \bar{R}_{GW}(\delta, \gamma, \gamma_w)}{\partial \gamma_w} = 0,$$

де \bar{n} – одиничний вектор нормалі до поверхні алмазного олівця; \bar{v} – вектор швидкості відносного руху олівця в системі координат круга.

Знайдемо кути γ_{min} , γ_{max} , які визначають розташування лінії контакту на формоутворювальній грані алмазного олівця:

$$Ang = \left\{ \begin{array}{l} \lambda \leftarrow 0, \\ \text{for } i \in 0..k \\ \delta \leftarrow \delta_{min} + \frac{\delta_{max}}{k} \cdot j, \\ \gamma \leftarrow \text{root}(n(\delta, \gamma, 0) \cdot v(\delta, \gamma, 0), \gamma), \\ M^{(j+1)} \leftarrow \begin{pmatrix} \gamma \\ \delta \end{pmatrix}, \\ M^T. \end{array} \right.$$

Отримані рівняння описують модульну тривимірну модель формоутворення периферійної ділянки шліфувального круга при правці. На її базі побудована периферійна поверхня шліфувального круга після його правки (рис. 3) при радіусі шліфувального круга $R_w = 600$ мм; висоті $h = 50$ мм, куті при вершині алмазного олівця $\gamma_i = \pi/4$, подачі $s_z = 0,1$ мм/об.

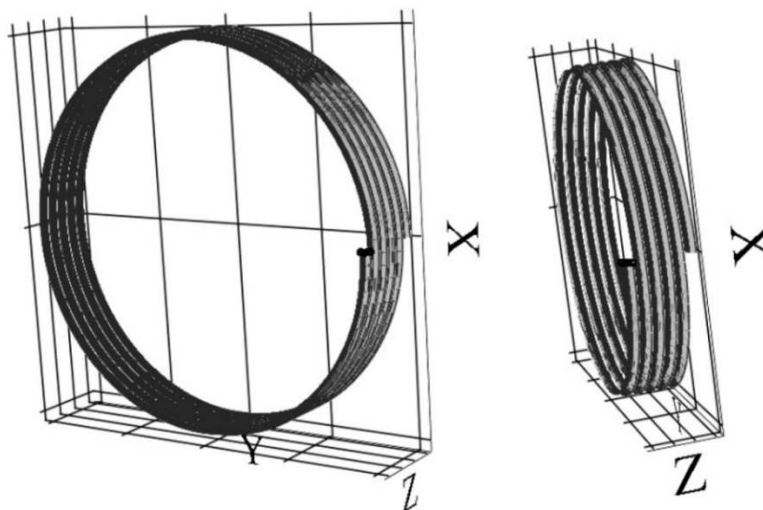


Рис. 3. Просторова модель поверхні периферії шліфувального круга після правки однокристальним алмазним олівцем

Як видно із рис. 3, у результаті правки однокристальним алмазним олівцем на периферії шліфувального круга утворюються геометрична шорсткість у формі гвинтових канавок, висота яких залежить від величини припуску та подачі правлячого інструменту. При постійній подачі s_z на оберт розміри канавок однакові, що забезпечує однакову розвиненість робочої поверхні шліфувального круга.

Висновки відповідно до статті. У роботі запропоновано новий спосіб правки периферійної ділянки абразивного круга із різною подачею правлячого інструмента у відповідності до особливостей процесу шліфування зі схрещеними осями круга та деталі. Завдяки різній розвиненості робочої поверхні інструменту на його чорновій, чистовій та калібрувальній ділянках представлена правка для кругів, які працюють в режимі затуплення. Це збільшує інтервали між правками та стійкість шліфувального круга. Впровадження запропонованого способу правки кругів при однопрохідному шліфуванні зі схрещеними осями інструмента та циліндричної деталі забезпечить більш високі точність та якість оброблених поверхонь, а також підвищить ефективність процесу обробки.

Список використаних джерел

1. Nadolny K., Słowiński B. The Effects of Wear upon the Axial Profile of a Grinding Wheel in the Construction of Innovative Grinding Wheels for Internal Cylindrical Grinding. *Advances in Tribology*. 2011. Pp. 1–11.
2. Кальченко В. І., Кальченко В. В., Єрошенко А. М., Сіра Н. М. Дослідження способу шліфування валків стрічкопрокатних станів зі схрещеними осями інструмента та деталі. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2016. № 4. С. 80–87.
3. Кальченко В. И. Способ круглого шлифования с продольной подачей. А.с. 1234163 СССР, МКИ В24В 5/04. Авт. Изобр. № 3813415/25-08. Заявлено 20.11.84. Опубл. 30.05.86. Бюл. № 20. 4 с.
4. Chang He Li, Ling Yun Qi, Hua Yang Zhao. Application and Development of High-Efficiency Abrasive Finishing. *Advanced Materials Research*. 2011. Pp. 189–193.
5. Yali Hou, Changhe Li, Yan Zhou. Applications of High-Efficiency Abrasive Process with CBN Grinding Wheel. *Engineering*. 2010. № 2(3). Pp. 184–189.
6. Шахбазов Я. О., Широков В. В., Широков О. В., Паламар О. О. Технологічне забезпечення процесу шліфування. *Поліграфія і видавнича справа*. 2018. № 1(75).С. 75–81.
7. Худобин Л. В., Унянин А. Н. Минимизация засаливания шлифовальных кругов. Ульяновск : УлГТУ. 2007. 298 с.
8. Hong-Tsu Young, Der-Jen Chen. Online dressing of profile grinding wheels. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2005. № 27(9). Pp. 883–888.
9. K.-C. Fan, M.-Z. Lee, J.-I. Mou. On-Line Non-Contact System for Grinding Wheel Wear Measurement. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2002. № 19(1). Pp. 14–22.
10. Kundrák J., Fedorovich V., Angelos P. Markopoulos, Pyzhov I., Kryukova N. Improvements of the Dressing Process of Super Abrasive Diamond Grinding Wheels. *Manufacturing Technology*. 2014. № 14(4). Pp. 545–554.
11. Худобин Л. В., Белов М. А. Шлифование заготовок из коррозионностойких сталей с применением СОЖ. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1989. 148 с.

References

1. Nadolny, K., Słowiński, B. (2011). The Effects of Wear upon the Axial Profile of a Grinding Wheel in the Construction of Innovative Grinding Wheels for Internal Cylindrical Grinding. *Advances in Tribology*, pp. 1–11.
2. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V., Yeroshenko A. M., Sira N. M. (2016). Doslidzhennia sposobu shlifuvannia valkiv strichkoprokatnykh staniv zi skhreshchenymy osyamy instrumenta ta detali [Investigation of the method of grinding rolls of belt rolling mills with crossed tool axes and parts]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu – Bulletin of Cherkasy State Technological University*, 4, pp. 80–87.
3. Kalchenko, V. Certificate of authorship 1234163 USSR, MКИ V24V 5/04. Cylindrical grinding method with longitudinal feed. Auth. fig. IN AND. No. 3813415 / 25-08.
4. Chang He Li, Ling Yun Qi, Hua Yang Zhao. (2011). Application and Development of High-Efficiency Abrasive Finishing. *Advanced Materials Research*, pp. 189–193.
5. Yali, Hou, Changhe, Li, Yan, Zhou. (2010). Applications of High-Efficiency Abrasive Process with CBN Grinding Wheel. *Engineering*, 2(3), pp. 184–189.

6. Shakhbazov, Ya. O., Shyrokov, V. V., Shyrokov, O. V., Palamar, O. O. (2018). Tekhnologichne zabezpechennya protsesu shlifuvannya. *Polihrafiia i vydavnycha sprava*, 1(75), pp. 75–81.
7. Khudobyn, L. V., Unyanyn, A. N. (2007). Minimizatsiia zasalivaniia shlifovalnykh kruhov [Minimization of grease in grinding circles]. UIHTU.
8. Hong-Tsu Young, Der-Jen Chen. (2005). Online dressing of profile grinding wheels. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27(9), pp. 883–888.
9. Fan, K.-C., Lee, M.-Z., Mou, J.-I. (2002). On-Line Non-Contact System for Grinding Wheel Wear Measurement. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 19(1), pp. 14–22.
10. Kundrač, J., Fedorovich, V., Angelos P. Markopoulos, Pyzhov, I., Kryukova, N. (2014). Improvements of the Dressing Process of Super Abrasive Diamond Grinding Wheels. *Manufacturing Technology*, 14(4), pp. 545–554.
11. Khudobyn, L. V., Belov, M. A. (1989). *Shlifovanie zahotovok iz korrozionnostoikikh stalei s primeneniem SOZH [Grinding of workpieces made of corrosion-resistant steels using coolant]*. Izd-vo Sarat. un-ta.

UDC 621.923.42

Volodymyr Kalchenko, Volodymyr Venzhega, Dmytro Kalchenko, Volodymyr Morochko

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF GRINDING CYLINDRICAL SURFACES IN THE MODE OF BLUNTING BY THE ORIENTED CIRCUIT, FILLED WITH A DIFFERENT STEP ON WORKING AND CALIBRATION SITES

Urgency of the research. Development and research of spatial models of tool surface editing in circular grinding by the periphery of the circle in the mode of blunting with crossed axes of the circle and cylindrical part is an urgent task, as it will increase machining productivity, product accuracy and tool stability and provide higher competitiveness in various industries.

Target setting. When grinding with the crossed axes of the tool and the workpiece, the entire periphery of the tool is involved. The development of the working surface of the tool in different areas should be different. Maximum is used during rough grinding to ensure high processing productivity, lower - for semi-finished and finished treatments to obtain low surface roughness. Therefore, there is a need to develop such an adjustment of the circle, which would provide the ability to control the relief of its working surface in accordance with the characteristics of the allowance distribution.

Actual scientific researches and issues analysis. Scientific school of doctor of technical sciences, professor V.I. Kalchenko studied the method of circular grinding in the mode of self-sharpening with crossed axes of a detail and preparation and offered the method of editing of a peripheral surface of a circle with constant giving.

Uninvestigated parts of general matters defining. Existing methods of straightening grinding wheels do not consider the issue of providing different development of the relief of the working surface of the tool.

The purpose of the article. To provide high indicators of the accuracy of the sizes, low roughness and wavyness of the processed surfaces in the course of work of grinding wheels in the "blunting" mode. To develop a modular three-dimensional model of straightening the peripheral section of the grinding wheel, taking into account its different development on the basis of unified modules: tool, orientation and shaping.

The presentation of the main material. There are grinding in the mode of self-sharpening and the predominant blunting of the tool. The mode of self-sharpening wear of a grinding wheel leads to change of its initial (correct) geometrical form that, in turn, intensifies vibrations of technological system leads to increase in errors of the sizes and formation on the processed surfaces of details of corrugation, therefore the mode of self-sharpening is used mainly on forward grinding operations. In the final grinding operations, it is desirable to create conditions and mode that ensure the operation of the wheel in the mode of predominant blunting or partial self-sharpening, when it provides a slight dimensional wear.

Conclusions and suggestions. The paper investigates and proposes a new method of straightening the peripheral section of the abrasive wheel with different feed of the tool for grinding in the mode of blunting with crossed wheel axes and parts, taking into account its different development in roughing, finishing and calibration. Its application increases the intervals between edits and the stability of the grinding wheel, provides higher accuracy and quality of machined surfaces, as well as increases the efficiency of the machining process.

Keywords. circular grinding, grinding of the periphery of the oriented wheel, grinding in the mode of "blunting" of the tool, editing of grinding wheels, development of the surface of the grinding wheel.

Fig.: 5. References: 11.

Кальченко Володимир Віталійович – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kalchenko Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in scientific and pedagogical work, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vvkalchenko74@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9072-2976>

ResearcherID: G-6752-2014

Венжега Володимир Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Venzhega Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vivenzhega@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>

ResearcherID: H-3560-2014

Кальченко Дмитро Володимирович – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kalchenko Dmytro – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net

Морочко Володимир Вікторович – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Morochko Volodymyr – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net