

І.В. Лещук, канд. техн. наук, Київ, Україна

ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ КРУГАМИ З НТМ ДОСЯГНЕННЯМ СПРЯМОВАНОЇ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧОГО ШАРУ

Визначені умови керованого впливу на поновлення ріжучої здатності круга з урахуванням формозміни ріжучої поверхні круга у коловому напрямку за рахунок введення в робочий шар круга вставних секторів визначених геометричних розмірів з відповідними характеристиками робочого шару.

Определены условия направленного воздействия по возобновлению режущей способности круга с учетом формоизменения режущей поверхности круга у окружном направлении за счет введения в рабочий слой круга вставных секторов определенных геометрических размеров с соответствующими характеристиками рабочего слоя.

I.V. LECHUK

PRECONDITIONS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF PROCESSING AROUND FROM SUPERFIRM HIGH-ALLOY MATERIALS ACHIEVEMENT OF THE DIRECTED CHANGE OF CHARACTERISTICS OF A WORKING LAYER

In this article the influence of controlled conditions for renewal of the cutting ability wheel, including forming the cutting surface wheel, in the circumferential direction by adding a layer in a working wheel sectors interpolating geometric dimensions of the relevant characteristics of the working layer.

Відомо, що при підвищенні продуктивності обробки виникає протиріччя, яке є характерним для процесів шліфування і пов'язане з тим, що таке підвищення призводить до одночасного збільшення зносу кругів та погіршення шорсткості обробної поверхні. Разом з тим, відомо, наприклад з робіт к.т.н. Захаренка І.П. та Савченка Ю.Я. [1], або д.т.н. Матюхи П.Г. [2], що ріжуча здатність кругів з НТМ при високопродуктивній обробці з часом знижується (рис. 1) і кругу необхідне відновлення цієї здатності для забезпечення продуктивної і якісної обробки. У значній мірі все це пов'язано із формозмінами ріжучої поверхні круга як у радіальному, так і коловому напрямку і, як наслідок, реальна площа ріжучої поверхні круга, що є відповідальною за знімання матеріалу за оберт круга при жорсткому торцевому шліфуванні, доволі істотно знижується. Переважно дослідники нехтують формозмінами ріжучої поверхні круга у коловому напрямку, а між тим, така формозміна існує і є істотною, а реальна площа ріжучої поверхні, відповідальна за знімання матеріалу складає за оцінками різних дослідників лише від 40 до 55%. Додатково вкажемо, що у нашому випадку, переважну увагу ми приділяємо формозмінам у коловому напрямку, оскільки саме вони, на наш погляд, визначають можливість активування ріжучої поверхні круга.

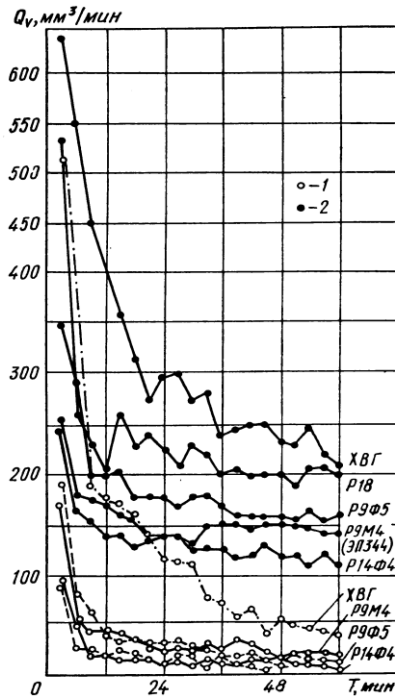


Рисунок 1 – Характерна залежність продуктивності обробки від тривалості шліфування за даними роботи [1], де 1 – для звичайного алмазного шліфування, а 2 – для алмазно-електролітичного шліфування.

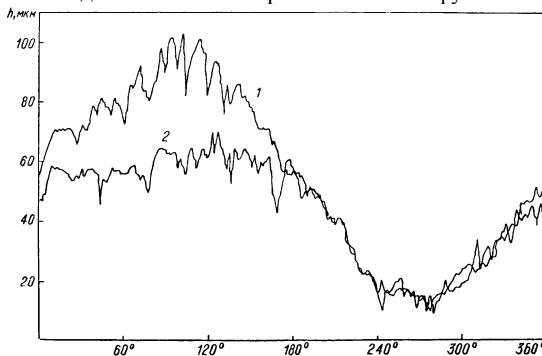


Рисунок 2 – Розгортка профілю круга з НТМ до (1) та після (2) досліді [4].

Формування макропрофілю ріжучої поверхні круга у коловому напрямку вивчалось дослідниками переважно на абразивних кругах [3], які і зафіксували утворення хвильової формозміни їх поверхні. Автори пояснювали її утворення переважно сталими коливаннями у технологічній системі, або утворенням змінної складової зусилля різання, що призводить до нерівномір-

ного зносу круга [3]. Переміщення хвиль по поверхні круга пояснювали тим, що точки його периферії, які контактують з виробом на черговому проході постійно змінюються [3]. У кругів з НТМ також зафіксована наявність хвильового рельєфу (рис. 2) [4] та див. роботу [5], але досліджень з приводу його динаміки нами не знайдено.

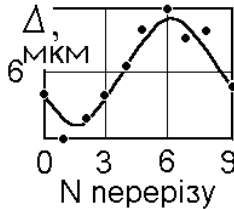


Рисунок 3 – Розгортка епюри зносу колової поверхні круга [6]

Разом з тим, в роботі д.т.н. Лавріненка В.І. [6] показано, що в усіх випадках розгортка ріжучої поверхні круга з НТМ у коловому напрямку має хвилясту форму зносу. Якщо побудувати епюру зносу колової поверхні круга по її розгортці, то вона уявляє собою хвилю (рис. 3). Автор [6] вказує, що оскільки, ріжуча поверхня круга має нерівномірний знос, то, відповідно, по такій же формі, але оберненій, формується і сама ріжуча поверхня круга у коловому напрямку, що власне і підтверджує робота [4] (див. рис. 2). На наш погляд, на цей бік формування ріжучої поверхні круга звертається невинновато мало уваги, а між тим, існування такої хвилі відбиває якраз механізм знімання матеріалу кругом з НТМ. Вкажемо також, що в роботі [6] показана динаміка руху хвилі по ріжучій поверхні круга, яка має для мети нашого дослідження дуже велике значення. Мається на увазі наступне. Якщо ми виберемо довільно будь-який радіальний переріз круга і будемо спостерігати за його зносом по товщині робочого шару протягом певного проміжку часу, причому кругом буде зшліфовуватися однакова кількість матеріалу, то побачимо, що знос є величина непостійна і змінюється вона по закону, що нагадує синусоїдний. Аналогічно і в коловому напрямку: одні радіальні перерізи будуть зношуватися швидше, а інші повільніше. У подальшому буде відбуватися зміна і перші будуть зменшувати свій знос, а другі – прискорювати. Як наслідок, в цьому випадку ми будемо спостерігати знос поверхні, який піддається певному коливальному процесу. А причиною вказаних явищ є якраз те, що хвиля на ріжучій поверхні круга переміщується по цій поверхні, що і зафіксували в роботі [3], але переміщується нерівномірно.

В дослідженнях д.т.н. Лавріненка В.І. наведена модель зміни ріжучої поверхні круга, яка враховує те, що в коловому напрямку в процесі обробки ріжуча поверхня набуває хвилеподібної формозміни, і яка в розгортці має вигляд двох ріжучих нахилів – головного (ГРН) та допоміжного (ДРН) (рис. 4). Показано, що наведена формозміна є природним процесом вибудовування ріжучих зерен на поверхні круга для зняття матеріалу і у процесі обробки відбувається зміщення вершини хвилеподібної формозміни від $t.M_0$ до $t.M_2$.

Після досягнення максимального положення $t.M_2$, відбувається процес вскриття ріжучої поверхні круга, що характеризується підвищеним зносом і поверненням до форми профілю у початкове положення КМК. Надалі відбувається знову поступове припрацювання ГРН від положення $КМ_0$ до $КМ_2$ і циклічне повторення процесу відновлення ріжучої здатності.

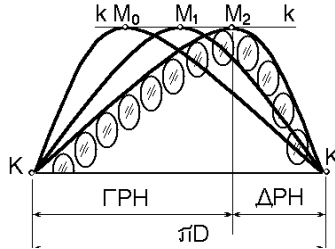


Рисунок 4 – Модель форми зносу ріжучої поверхні круга у коловому напрямку [6]



Рисунок 5 – Запропонована конструкція ріжучого шару із секторами робочого шару, що чергуються у коловому напрямку

На наш погляд, з наведеного вище треба вирізнити два найбільш важливих для нас аспекти. По-перше, бажано прагнути до утримання ГРН у найбільш максимальному положенні, а саме у $КМ_2K$, що забезпечить участь у процесі обробки найбільшої ріжучої площі, а відтак підвищить зносостійкість круга. По-друге, зміщення вершини з $t.M_2$ до $t.M_0$, яке означає відновлення ріжучої здатності, є позитивним, але на реальному крузі воно займає до 40% поверхні і значна втрата зносостійкості круга відбувається саме в цей період. Тому, це зміщення треба залишити, але керовано зменшити величину цього зміщення, що істотно збільшить зносостійкість круга. Ці два положення і були прийняті нами за основу для розробки нової конструкції круга із чергуючимися секторами у коловому напрямку (рис. 5).

Звернемо також увагу на геометричні розміри основних шарів та вставних. Відомо [6], що в зніманні матеріалу за оберт круга за рахунок колової формозміни може приймати участь від 30 до 70% ріжучої поверхні. Саме так коливається протяжність ГРН (див. рис. 4). Для досягнення найбільшої зносостійкості круга вкрай бажано було би, щоби протяжність ГРН була би найбільшою і не змінювалася (положення $КМ_2K$, див. рис. 4).



Рисунок 6 – Показники твердості ріжучого шару круга (1), на якому провадилися дослідження по вивченню хвильової формозміни ріжучої поверхні круга 12A2-45°150x10x3x32 - КР 100/80 - ПК-03 100%, співставлені з кількістю (2) положень (n) западини хвилі при її русі вздовж ріжучої поверхні, що припадають на визначені точки перерізів вздовж розгортки круга (маса зшліфованої сталі Р6М5Ф3 складала 864 г.).

Разом з тим, перехід від т. M_2 до т. M_0 є негативним з точки зору зносостійкості, але позитивним з точки зору забезпечення ріжучої здатності круга, адже він означає період поновлення ріжучої поверхні. Тому повністю уникнути його є неможливим, але можливо зрегулювати величину цього оновлення. В реальному крузі перехід від т. M_2 до т. M_0 складає 40% від протяжності ріжучої поверхні в коловому напрямку, а у кутовій протяжності це приблизно складає $360 \times 0,4 = 144$ градуси. Мінімальна протяжність ДРН складає приблизно 30% [7]. Це означає, що кутова протяжність додаткового ріжучого нахилу повинна бути в межах приблизно 100 градусів ($360 \times 0,3 = 108$). Якщо у нас є три основних сектори протяжністю по куту у 100 градусів, то вони займуть загалом кутову протяжність у 300 градусів. На вставні сектори, мета яких регулювати переміщення т.М лише в межах їх протяжності і активувати тим самим поверхню круга, залишається загальна кутова протяжність у 60 градусів. Можливо розбити вставні сектори рівномірно по 20 градусів ($3 \times 20 = 60$), але у нас вище задекларований принцип внесення додаткової активації у ріжучу поверхню круга, а відтак три вставних сектори спрямовано необхідно зробити неоднаковими і тоді по кутовій протяжності вони складуть 30, 20 та 10 градусів. Причому нами визначено, що для збільшення зносостійкості вставних секторів спочатку в роботу повинен входити більш протяжний вставний сектор, а потім середній і надалі менший.

Таким чином, визначено, що розмір секторів основного робочого шару не повинен перевищувати мінімальний кутовий розмір ДРН, щоби забезпечити більшу площу ГРН, а вставні сектори повинні виконувати роль забезпечення керованого відновлення ріжучої здатності круга, але при цьому кутова різниця між точками повернення M_2 до M_0 складе вже не традиційні 140–150 градусів, а лише максимум 30, що повинно значно збільшити зносостійкість круга при збереженні процесу відновлення ріжучої здатності. Забезпечити

таке відновлення вставними секторами можливо відповідною зміною характеристик ріжучого шару. Така зміна, на наш погляд, може бути у двох основних напрямках: по-перше, безпосередньою зміною характеристики ріжучого шару – зв'язкою, зернистістю та концентрацією НТМ у робочому шарі, покриттям зерен; по-друге, зміною властивостей ріжучого шару – твердістю, електропровідністю, тощо.

Тепер розглянемо, у якому саме напрямку необхідно змінювати вказані вище характеристики робочого шару на вставних секторах для забезпечення гарантованого відновлення ріжучої здатності. Якщо зробити аналіз переміщення точок западини (*min*) або вершини (*max*) хвилі по рівномірно розбитим секторам (перерізам) поверхні круга у коловому напрямку, то у якихось секторах круга цих точок буде більше, а у якихось – менше. При цьому, за деякий проміжок часу кількість *min* співпадає з кількістю *max*. Тому не дивно, що на крузі одна точка має підвищений знос. Оскільки спостерігається рух хвилі, то ця точка з часом буде мати і малий знос. Для ілюстрації наведеного вище побудована розгортка ріжучої поверхні круга у коловому напрямку, на якій вказані номери перерізів круга та кількість припадань положень впадини хвилі на конкретний переріз (рис. 6). При цьому видно, що точки перерізів 3, 4, 7, 8 мають більше максимумів, ніж, наприклад, 0, 1, 5, 6.

Першу причину нерівномірності ми надали вище: це зрив вершини профілю, викликаний процесами вскриття ріжучої поверхні круга. А ось чому нема закономірності у самому процесі нерівномірності? На наш погляд, тут грає важливу роль неоднорідність у фізико-механічних характеристиках ріжучого абразиввміщуючого шару конкретного круга по його окружній поверхні. Така неоднорідність по твердості є в літературі і досить детально описана у праці [7]. Разом з тим, круги з НТМ, навіть однакових характеристик, можуть мати твердість робочого шару, яка різниться між ними до 20 од. HRB. А це, в свою чергу, призводить до різної зносостійкості кругів. Так, наприклад згідно [8], відносні витрати КНБ при глибинному електрохімічному шліфуванні сталі Р6М5 кругом 12А2-45° 150 x10x3x32 – ЛКВ 8-М2-12Е –100 з твердістю робочого шару 74 HRB дорівнює 1,8 мг/г, а кругом з твердістю шару 92 HRB – 1,3 мг/г.



Рисунок 7 – Сліди руху вершини вздовж ріжучої поверхні круга та приклад нерівномірності такого руху.

Оскільки, як було вказано вище, круги можуть мати нерівномірну твердість, то це впливає на їх зносостійкість і на нерівномірність руху хвилі по їх поверхні. Як опосередковане підтвердження цієї гіпотези можливо звернути увагу на дані по виникненню хвильового зносу подовжного профілю рейок, наведені у роботі [8]. Її автор вважає, що він викликаний напруженнями, які виникають при прокатці рейок і проявляються у нерівномірній твердості рейок. Для перевірки висунутої гіпотези нами була вивчена твердість робочого шару кругів по тим же 10 перерізам, по яким вивчали знос круга (див. рис. 6). Якщо порівняти обидві розгортки на рис. 6, то можливо побачити, що характери колограм по западинам та по твердості майже співпадають. Це свідчить про те, що другою причиною нерівномірного руху хвилі по ріжучій поверхні круга, є нерівномірність у твердості самої поверхні. А, як наслідок, ми і маємо такі коливання у величині зносу круга за рівні проміжки часу або масових величин знятого матеріалу при шліфуванні.

Оскільки реально рух хвилі по поверхні круга ми можемо зафіксувати лише після вимірювання лінійного зносу ріжучої поверхні при шліфуванні і знятті достатньо великого обсягу оброблюваного матеріалу, то щоби проявити візуально подібний рух вздовж окружної поверхні круга нами був поставлений наступний експеримент, коли спрямовано на ріжучій поверхні круга формувалися анодні оксидні плівки саме на вершечках профілю і сліди руху цих вершин можливо було відстежити допоки вони не закінчили одне коло свого руху (рис. 7). Видно, що крок слідів є нерівномірним на деяких ділянках поверхні, що і підтверджує наведені нами вище дослідження по нерівномірності руху хвильової формозміни у окружному напрямку.

Визначимо нашу позицію з приводу наведеного вище. Як вказано нами вище, нерівномірність руху є елементом самозаточування ріжучої поверхні круга і, тим самим, активізації ріжучої поверхні, яка нам потрібна для покращення ріжучої здатності круга із підвищенням зносостійкості. Вставними секторами в спеціальному крузі (див. рис. 5) за рахунок зміни їх характеристики (зернистості або концентрації НТМ) ми можемо спрямовано підтримувати ріжучу здатність круга. Разом з тим, подані у даному підрозділі дослідження свідчать про те, що існує і інший підхід до спрямованого підтримання ріжучої здатності. Наведені вище дані по нерівномірності твердості здавалося б свідчать про те, що бажано прагнути до досягнення найкращої рівномірності у структурі робочого шару круга, але нами висувається інше положення, а саме положення про внесення спрямованої неоднорідності в структуру та характеристику робочого шару круга, що дозволило би досягти ефекту спрямованої активізації ріжучої поверхні круга.

Таким чином, в результаті викладених вище досліджень необхідно зробити наступні висновки:

1. Визначені умови керованого впливу на поновлення ріжучої здатності круга з урахуванням формозміни ріжучої поверхні круга у коловому напрямку

ку за рахунок додання в робочій шар круга вставних секторів визначених геометричних розмірів з відповідними характеристиками робочого шару.

2. Встановлено, що додатковою причиною нерівномірного руху хвильової формозміни ріжучої поверхні круга в коловому напрямку в процесі шліфування є нерівномірність в її твердості, а це дозволяє визначити умови спрямованого підтримання ріжучої здатності круга внесенням спрямованої неоднорідності в характеристику його робочого шару.

3. Сформульовані принципи досягнення такої спрямованої зміни характеристик ріжучого шару та визначено, що для забезпечення впливу на ріжучу здатність круга ми повинні мати багатосекторний ріжучий шар, який би містив основний робочий шар та вставні сектори, мета яких активувати цю здатність постійною зміною характеристик робочого шару в зоні обробки.

4. Визначено, що для досягнення спрямованої активації ріжучого шару круга, і одночасно невтрати в цілому зносостійкості, у випадку однакових характеристик на основному шарі та вставках, необхідно змінювати фізико-механічні властивості вставок, наприклад, підвищувати твердість робочого шару в основних секторах.

Список використаних джерел: 1. *Захаренко И.П., Савченко Ю.Я.* Алмазно-электролитическая обработка инструмента. – К.: Наук. думка, 1978. – 224 с. 2. *Матюха П.Г.* Алмазне шліфування зі стабілізацією вихідних технологічних показників за допомогою керуючих дій на робочу поверхню круга // Сучасні технології в машинобудуванні: Зб. наук. статей, Том 2. – Харків: НТУ «ХП», 2006. – С. 185–197. 3. *Якимов А.В., Паршаков А.Н., Ларшин В.П.* Управление процессом шлифования. – К.: Техніка, 1983. – 183 с. 4. Стенд для исследования процессов шлифования материалов / *А.А.Оран, А.А.Сухобрус и др.* // Сверхтвердые материалы. – 1994. – № 3. – С. 51–54. 5. *Доброскок В.Л.* Исследование взаимосвязи параметров продольного профиля кругов с выходными показателями процесса шлифования // Резание и инструмент в технологических системах. – 1999. – Вып. 54. – С. 80–89. 6. *Лавриненко В.И.* Наукові основи шліфування інструментальних матеріалів із спрямованою зміною характеристик контактних поверхонь. – Автореф. ... докт. техн. наук – К.: ІНМ НАН України, 2000. – 35 с. 7. *Лавриненко В.И.* Электрошлифование инструментальных материалов. – Киев: Наук. думка, 1993. – 155 с. 8. *Виткевич Н.А.* К вопросу возникновения волнового износа продольного профиля рельсов // Технологическое повышение надежности и долговечности деталей машин и инструментов. – Брянск: БИТМ, 1990. – С. 40–44.

Поступила в редколлегию 17.04.11

Bibliography (transliterated): 1. *Zaharenko I.P., Savchenko Ju.Ja.* Almazno-jelektro-liticheskaia obrabotka instrumenta. – K.: Nauk. dumka, 1978. – 224 s. 2. *Matjuha P.G.* Almazne shlifuvannja zi stabilizacijju vihidnih tehnologich-nih pokaznikov za dopomogojju kerujuchih dij na robochu poverhnju krugu // Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni: Zb. nauk. statej, Tom 2. – Har-kiv: NTU «HP», 2006. – S. 185–197. 3. *Jakimov A.V., Parshakov A.N., Larshin V.P.* Upravlenie processom shlifovanija. – K.: Tehnika, 1983. – 183 s. 4. Stend dlja issledovanija processov shli-fovanija materialov / *A.A.Orap, A.A.Suhobrus i dr.* // Sverhtverdye materialy. – 1994. – № 3. – S. 51–54. 5. *Dobroskok V.L.* Issledovanie vzaimosvjazi parametrov prodo-l'nogo profilja krugov s vyhodnymi pokazateljami processa shlifovanija // Rezanie i instrument v tehnologicheskix si-stemah. – 1999. – Vyp. 54. – S. 80–89. 6. *Lavrinenko V.I.* Naukovi osnovi shlifuvannja instrumen-tal'nih materialiv iz sprja-movanoju zminoju karakteristik kontaktnih poverhon'. – Avtoref. ... dokt. tehn. nauk – K.: INM NAN Ukraini, 2000. – 35 s. 7. *Lavrinenko V.I.* Jelektroshlifovanie instrumen-tal'nyh materialov. – Kiev: Nauk. dumka, 1993. – 155 s. 8. *Vitkevich N.A.* K voprosu voznikno-venija vol-novogo iznosa prodol'nogo profilja rel'sov // Tehnologicheskoe povyszenie nadezhnosti i dol-govechnosti detalej mashin i instrumentov. – Brjansk: BITM, 1990. – S. 40–44.