

**В. І. Лавріненко<sup>1,\*</sup>, О. О. Пасічний<sup>1</sup>, В. Г. Полторацький<sup>1</sup>,  
В. Ю. Солод<sup>2,\*\*</sup>, Д. Г. Музичка<sup>2,\*\*\*</sup>**

<sup>1</sup>Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакула  
НАН України, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Дніпровський державний технічний університет  
МОН України, м. Київ, Україна

\*lavrinenko@ism.kiev.ua

\*\*v\_solod@ukr.net

\*\*\* muzichka@ua.fm

## **Особливості формозміни ріжучої поверхні шліфувального круга у коловому напрямку під час шліфування кругами із сумішшю шліфпорошків НТМ та з модифікованою поверхнею їх зерен**

*Досліджено особливості формозміни ріжучої поверхні шліфувального круга у коловому напрямку в процесі шліфування і показано, що вона є нерівномірною і має хвилеподібний характер. Показано, що хвилеподібна формозміна поверхні є характерною як для алмазних, так і для кубонітових кругів, і є природнім явищем, що відображає процес знімання кругом оброблюваного матеріалу. Позбутися хвильової формозміни можна правкою ріжучої поверхні. Для отримання не примусової, а природної формозміни необхідно застосовувати зерна компактів з мікропорошків кубічного нітриду бору, залучати суміші шліфпорошків або модифікувати поверхню зерен надтвердого матеріалу. Доведено, якщо модифікувати поверхню зерен із застосуванням хлоридів, то ріжуча поверхня круга має ламаний хвильовий профіль у коловому напрямку і, як наслідок, знижується несуча здатність обробленої поверхні.*

**Ключові слова:** шліфувальний круг, ріжуча поверхня, хвильова формозміна, параметри шорсткості поверхні, шліфпорошки.

У процесі шліфування, водночас із формозміною ріжучої поверхні круга в поперечному (або радіальному) напрямку, не менш важливі зміни відбуваються і в подовжньому (або коловому) напрямку [1–4]. Саме подовжній макропрофіль робочої поверхні круга відповідає нерівномірній хвилеподібній формозміні, що відбувається в процесі шліфування на ріжучій поверхні круга в коловому напрямку.

На нерівномірність і хвилеподібний характер ріжучої поверхні круга в коловому напрямку вказували дослідники раніше [2–4], пов'язують це зі сталими коливаннями в технологічній системі та пояснюють тим, що в процесі шліфування з'являється змінна складова зусилля різання, яка і приводить до утворення хвиль на робочій поверхні круга, які зростають зі збільшенням продуктивності шліфування. Водночас на абразивних кругах було зафіксовано зміну нерівномірності (переміщення хвиль) [2]. Автори [2] вважають, що, крім іншого, утворення хвиль на крузі пов'язано з його нерівномірною твер-

дістю, а переміщення хвиль на поверхні шліфувального круга пояснювали тим, що точки його периферії, які вступають в контакт з оброблюваною деталлю під час чергового проходу, постійно змінюються. Зниження хвилястості або повне її зникнення, за думкою авторів [4], можуть бути, наприклад, досягнуті у разі алмазно-електрохімічного шліфування на “мінусовій” полярності, завдяки чому зменшуються автоколивання, підвищується розмірна стійкість, кромкостійкість і стійкість профілю круга. А оскільки хвилястість є наслідком биття круга, як вважають автори [4], то її можна зменшити за допомогою зниження жорсткості інструмента або збільшення площі його контакту із заготовкою, що досягають збільшенням подачі на візання.

Деякі дослідники раніше вважали, що хвилястість є негативним явищем, якого треба уникати. Але не вся площа ріжучої поверхні круга в коловому напрямку відповідає за знімання матеріалу і не завжди треба позбуватися хвилястості. В [5] під час дослідження кінетики контактної взаємодії за умови шліфування алмазним кругом форми 1A1 застосовували волоконну оптику, яка має достатню чутливість для фіксування короточасних швидкодіючих процесів, і зробили висновок, що робоча поверхня алмазного круга навантажена дуже нерівномірно, знімання матеріалу відбувається не зі всієї робочої поверхні, а лише з її частини (55 %).

Більшість дослідників не звертають на це увагу і вважають, що вся ріжуча поверхня круга є відповідальною за знімання припуску за час обертання круга. Але нерівномірне навантаження круга свідчить про те, що профіль ріжучої поверхні круга у коловому напрямку набуває форми хвилі й за знімання припуску відповідає тільки її фронт, тобто 55 %, що було незалежно підтверджено в [6]. Отже круг може припрацюватися в процесі шліфування, навантаження розподіляється на його ріжучій поверхні, зерна послідовно розташовуються на цій поверхні й за знімання матеріалу відповідає її фронт. Крім того, шорсткість оброблюваної поверхні формується безпосередньо зернами, що знаходяться на вершечку хвилі. Це означає, що хвилясте формоутворення на ріжучій поверхні шліфувального круга викликано не биттям, а саме природнім процесом, що відображає процес знімання кругом оброблюваного матеріалу.

Для того, щоб перевірити наявність хвильової формозміни на ріжучій поверхні круга з надтвердих матеріалів (НТМ) під час шліфування, автори досліджували три однакових круга 12A2-45 125×5×3×32 на зв'язці В2-08 із зернистістю шліфпорошку 125/100 і з відносною концентрацією зерен 100 %, але в одному з них використовували алмазні зерна марки АС6, у другому – кубоніт марки КВ, в третьому – компакти з мікропорошків КНБ [7]. Алмазним кругом шліфували твердий сплав Т15К6, кубонітовим – сталь Р6М5, а кругом з компактами – сталь Р6М5 і твердий сплав Т15К6. Встановлено, що як під час шліфування твердого сплаву Т15К6 шліфувальним кругом зі стандартними алмазними зернами (рис. 1), так і під час шліфування сталі Р6М5 кубонітовим кругом (рис. 2) було отримано сталий хвильовий профіль.

У [8] під час шліфування швидкорізальної сталі Р6М5 кругом з компактом з мікропорошків КНБ зернистістю 160/125 також отримали сталий хвильовий профіль (рис. 3), хоча і не так чітко виражений, як під час шліфування кубонітовим кругом.

Тобто хвильове формозмінення в процесі шліфування є природнім не тільки для кругів з НТМ (як алмазних, так і кубонітових), а і для кругів з компактами.

Отже, хвильовий профіль дійсно існує, а разом з тим багато дослідників вважають, що для кращої роботи шліфувального круга треба запобігати появи

хвильового формозмінення. Але не було досліджено, чи треба цього домагатися і як можна реально впливати на хвильове формозмінення через зміну характеристик круга, а саме використання різних зерен НТМ.

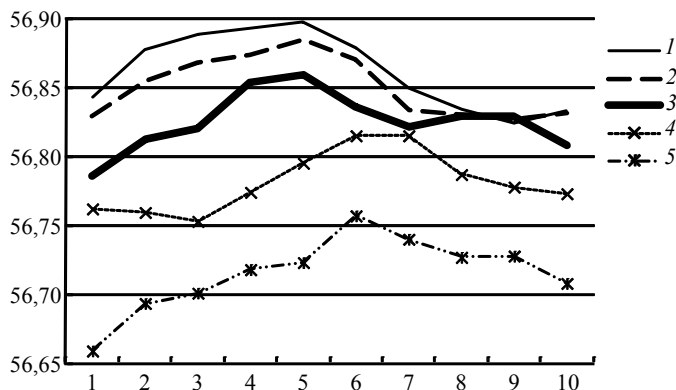


Рис. 1. Утворення сталого хвильового профілю круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) вздовж ріжучого шару під час шліфування кругом зі стандартними алмазними зернами: 1 – до шліфування; 5 – після шліфування; 2–4 – проміжні, що утворюються в процесі шліфування.

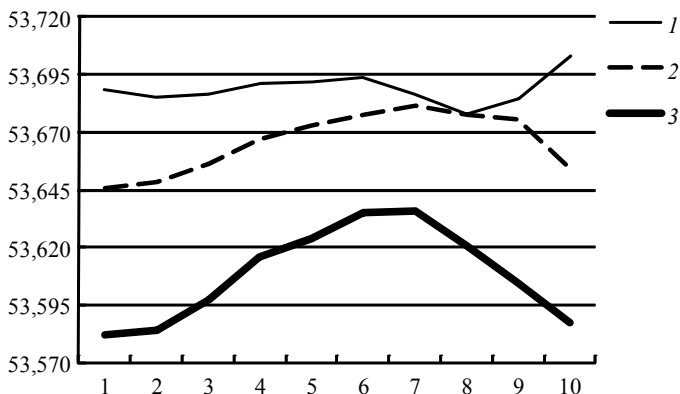


Рис. 2. Утворення сталого хвильового профілю круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) вздовж ріжучого шару під час шліфування кругом зі стандартними кубонітовими зернами: 1 – до шліфування; 2 – проміжний, що утворюється в процесі шліфування; 3 – після шліфування.

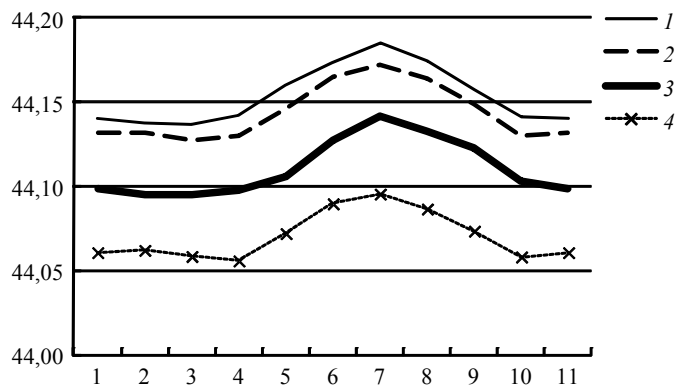


Рис. 3. Утворення сталого хвильового профілю круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) вздовж ріжучого шару під час шліфування кругом із зернами компактів 160/125: 1 – до шліфування; 4 – після шліфування; 2–3 – проміжні, що утворюються в процесі шліфування.

Збільшити кількість зерен, що формують оброблювану поверхню на гребені хвилі можна примусовим впливом на формозміну поверхні круга, тому автори досліджували круги з різними зернами НТМ. До речі, алмазно-електрохімічне шліфування на “мінусовій” полярності, яке автори [4] рекомендували для уникнення формозміни, є також примусовим впливом.

Було зроблено аналіз зміни показників шорсткості обробленої поверхні під час примусового гальмування процесу хвильової формозміни на ріжучій поверхні круга, а саме зниження висоти гребеня хвилі, але не електрохімічним шліфуванням, а простою правкою алмазного круга алмазним полікристалічним правлячим олівцем.

Шорсткість оброблених поверхонь вимірювали за допомогою профілометра-профілографа моделі SurfTest SJ-201 фірми “Mitutoyo” (Японія) і оцінювали за показниками: середнього арифметичного відхилення профілю мікронерівностей ( $Ra$ , мкм), середнього кроку мікронерівностей по базовій лінії ( $Sm$ , мкм), відносній опорній довжині профілю мікронерівностей на рівні 50 %  $R_{max}$  ( $t_{50}$ , %).

Для оцінки примусового впливу на ріжучу поверхню круга автори використали дані [8]. В експериментах застосовували шліфувальний круг 12A2-45° 125×5×3×32 – АС6 160/125–М1-10–100 %. Шліфували твердий сплав ВК8 з охолодженням 1 %-ним содовим розчином за продуктивності обробки 200 мм<sup>3</sup>/хв. В процесі досліджень аналізували чотири етапи шліфування (рис. 4):

- після тривалого шліфування є чітка хвиля на ріжучій поверхні (див. рис. 4, крива 1);
- круг пройшов правлення 20-ма проходами алмазного полікристалічного олівця без виходжування, хвиля на поверхні круга залишається (див. рис. 4, крива 2), хоча висота її гребеня починає знижуватися;
- після подальшого правлення 20-ма проходами олівця и виходжуванням без подачі на глибину протягом 10 хв залишилася слабка хвиля на поверхні круга (див. рис. 4, крива 3), але вона стає ламаною (“пилкоподібною”);
- після заключного правлення 20-ма проходами олівця і остаточного виходжування протягом 2 хв хвиля на поверхні круга практично зникає (див. рис. 4, крива 4).

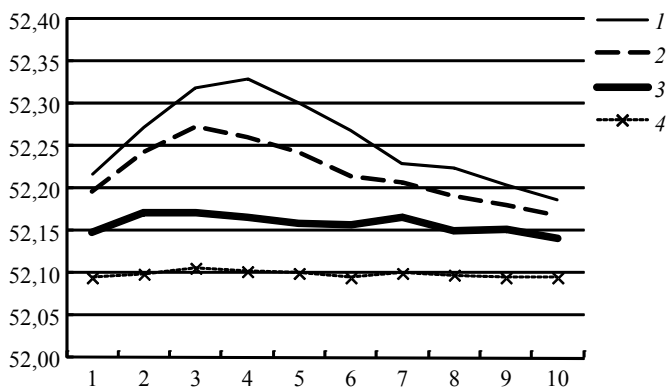


Рис. 4. Зміна хвильового профілю круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) вздовж ріжучого шару за різних умов правки круга [8]: до (1) і після (4) шліфування, проміжна (2–3), що утворюються в процесі шліфування.

Аналіз залежності параметрів шорсткості поверхні, що піддавали обробці, від зміни хвилі на поверхні круга дав можливість зробити наступні висновки:

- параметри шорсткості визначаються в першу чергу алмазними зернами, які знаходяться на її вершині хвилі;
- якщо правкою починаємо зменшувати хвилю на поверхні круга, то далі знижується виступ алмазів, як наслідок, змінюється крок нерівностей і опорна крива профілю обробленої поверхні;
- правка знижує висотні параметри – легка правка спричиняє слабкий вплив, а більш тривала правка, яка сприяє видаленню хвилі, суттєво їх знижує;
- крок нерівностей зазвичай підвищується зі збільшенням параметра  $Ra$ , але у даному випадку ситуація складається навпаки – видалення хвильового профілю в коловому напрямку на ріжучій поверхні круга викликає не тільки зниження висотних параметрів, але і збільшення кроку нерівностей [8].

Крім того, в усіх випадках застосування правки ріжучої поверхні круга збільшується наповненість профілю обробленої поверхні (рис. 5, *з*) – відносна опорна довжина профілю поверхні на рівні 20 і 50 % зростає. Характер профілограм обробленої поверхні після зменшення хвилі на поверхні круга змінюється – на обробленій поверхні формується поверхня зі своєрідними “масляними кишнями” (див. рис. 5, *в*). Це свідчить про те, що відсутність хвилі на поверхні круга обумовлює принципові зміни як параметрів мікронерівностей, так й їх розподілу на обробленій поверхні.

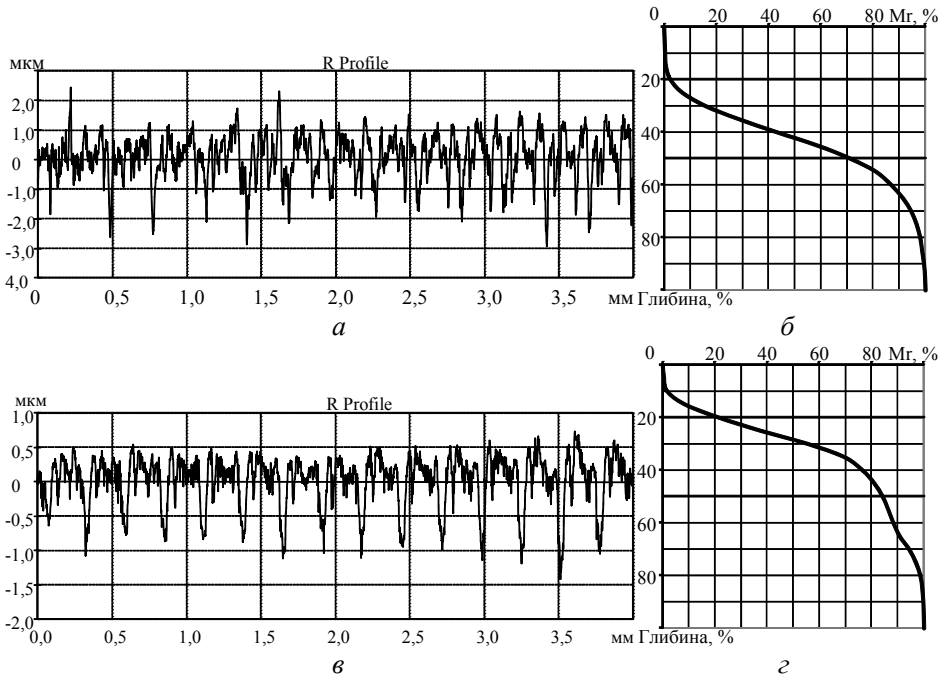


Рис. 5. Профілограми (*а, в*) і криві відносної опорної довжини профілю (*б, з*) поверхні, обробленої кругом з вихідною поверхнею з наявністю на ній хвилі (*а, б*) (крива 1 на рис. 4) і кругом після заключної правки без хвилі на його поверхні (*в, з*) (крива 4 на рис. 4).

Таким чином, проведені дослідження показали [8], що примусове придушення хвильової формозміни на ріжучій поверхні алмазного круга суттєво змінює параметри шорсткості обробленої поверхні – знижуються висотні параметри і зростає крок мікронерівностей на обробленій поверхні, суттєво змінюється розподіл мікронерівностей на обробленій поверхні, що підвищує заповненість її профілю. Тобто, уникнення хвильової формозміни, як це про-

понують автори [4], призводить до того, що отримуємо зовсім іншу, нестандартну, ріжучу поверхню круга, яка не відповідає природнім умовам формування такої поверхні, і разом з тим, нестандартну оброблену поверхню.

Отримати не примусову, а природну формозміну поверхні круга (див. рис. 4) можна через застосування зерен компактів з мікропорошків КНБ [7], залучення сумішей шліфпорошків та модифікування поверхні зерен НТМ [9].

Модифікування поверхні шліфпорошків зерен НТМ виконували методом рідиннофазного нанесення з насичених розчинів як термостійких оксидів ( $B_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ) або хлоридів ( $CaCl_2$ ,  $NaCl$ ,  $BaCl_2$ ,  $MgCl_2$ ,  $FeCl_3$ ), так і їх сумішей ( $B_2O_3 + CaCl_2$ ,  $B_2O_3 + NaCl$ ) [9, 10].

Таке модифікування зерен може впливати на шорсткість оброблюваної поверхні. Авторами встановлено, що її показники за параметром  $Ra$  збільшуються в ряду з наступними модифікаціями поверхні алмазних зерен:

без модифікування –  $NaCl - B_2O_3/NaCl - CaCl_2 - B_2O_3/Al_2O_3$ .

Також було досліджено, як змінюється форма ріжучої поверхні кругів із модифікованими зернами. Виявлено, що такий же чіткий хвилеподібний профіль, як на рис. 1, формується і під час шліфування кругами з алмазними зернами, поверхню яких модифіковано сумішшю  $B_2O_3 + Al_2O_3$ . Модифікування поверхні алмазних зерен із застосуванням хлоридів викликає на ріжучій поверхні певні збурення і формування ламаного хвильового профілю (рис. 6), що нагадує профіль на рис. 4, крива 3.

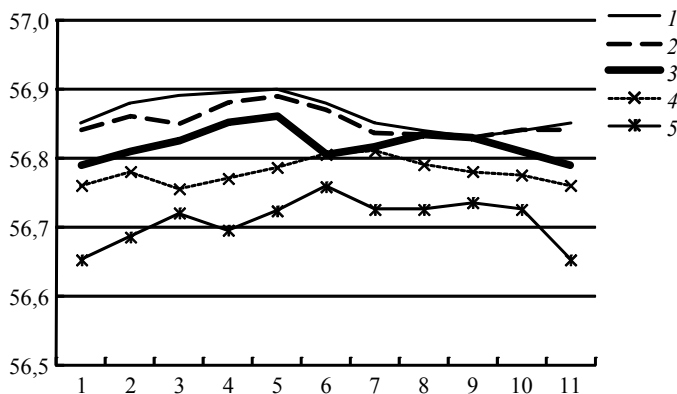


Рис. 6. Утворення ламаного хвильового профілю круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) вздовж ріжучого шару з модифікованими хлоридом  $CaCl_2$  алмазними зернами: 1 – до шліфування; 5 – після шліфування; 2–4 – проміжні, що утворюються в процесі шліфування.

Аналогічні профілі формуються і у разі модифікування з участю інших хлоридів:  $NaCl$ ,  $FeCl_3$  та сумішей – ( $B_2O_3 + CaCl_2$ ) і ( $B_2O_3 + NaCl$ ). Причина такої дії хлоридів на ріжучу поверхню круга є неясною і вимагає подальших досліджень. На думку авторів, це пов'язано з особливостями алмазоутримання модифікованих хлоридами алмазних зерен. Так, якщо порівняти ріжучу поверхню круга, наприклад, у разі модифікування поверхні алмазних зерен сумішшю ( $B_2O_3 + CaCl_2$ ) у вихідному стані (рис. 7, а) та після шліфування твердого сплаву Т15К6 (рис. 7, б), то видно, що на ріжучій поверхні після обробки з'являється багато шпар, ймовірно від вирваних алмазних зерен, тобто алмазоутримання тут погіршується.

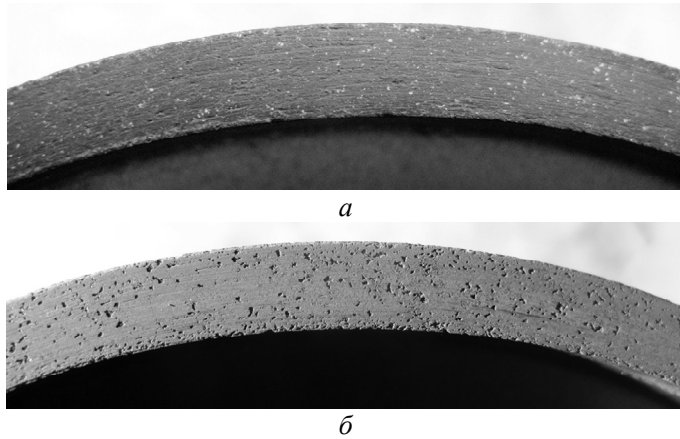


Рис. 7. Стан ріжучої поверхні круга з алмазними зернами з модифікуванням їх поверхні сумішшю  $B_2O_3 + CaCl_2$ : *a* – у вихідному стані; *б* – після шліфування твердого сплаву із продуктивністю  $400 \text{ мм}^3/\text{хв}$ .

Було досліджено особливості формозміни ріжучої поверхні кубонітових кругів за різних варіантів модифікування поверхні кубонітових зерен. Під час шліфування швидкорізальної сталі Р6М5 шліфувальним кругом з кубонітовими зернами без модифікування формується сталий хвилювий профіль (див. рис. 2). Такий же профіль формується й у разі шліфуванні кубонітовими кругами із зернами з модифікованою поверхні оксидом  $B_2O_3$  та сумішшю  $B_2O_3 + Al_2O_3$ . Коли провадили модифікування поверхні кубонітових зерен із застосуванням хлоридів, то на ріжучій поверхні відбувалися певні збурення і формувався ламаний хвилювий профіль (рис. 8). Можливо на це впливають особливості утримання модифікованих хлоридами шліфувальних зерен (як алмазів, так і кубаніту).

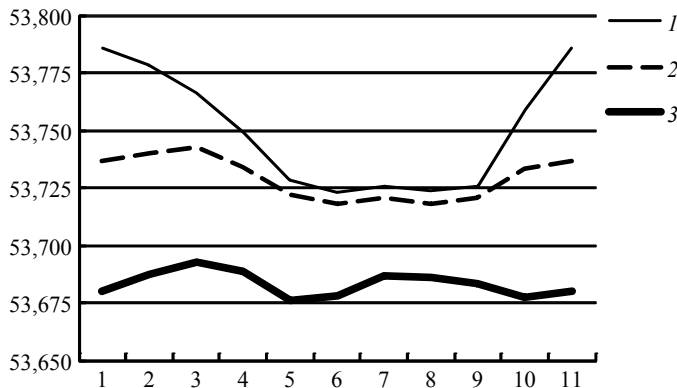


Рис. 8. Утворення ламаного хвилювого профілю круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) вздовж ріжучого шару з модифікованими хлоридом  $NaCl$  кубонітовими зернами: 1 – до шліфування; 2 – проміжний, що утворюється в процесі шліфування; 3 – після шліфування.

Було досліджено вплив модифікації зерен компактів із мікропорошків cBN на формозміну ріжучій поверхні круга й їх відмінність від синтезованих порошків. Після модифікування поверхні зерен сумішшю оксиду  $B_2O_3$  із хлоридом  $NaCl$  на ріжучій поверхні круга відбуваються певні збурення і також

формується ламаний хвильовий профіль (рис. 9). Тобто дія хлоридів є однаковою як для алмазів та кубоніту, так і для компактів.

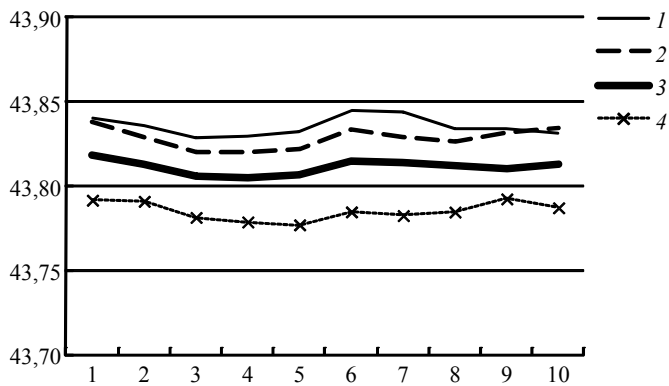


Рис. 9. Утворення ламаного хвильового профілю круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) вздовж ріжучого шару з модифікованими сумішшю оксиду  $V_2O_5$  і хлориду NaCl зернами компакту (зернистість 160/125): 1 – до шліфування; 2–3 – проміжні, що утворюються в процесі шліфування; 4 – після шліфування.

Формування ще більш ламаного (“пилкоподібного”) хвильового профілю ріжучої поверхні відбувається у разі комбінації в робочому шарі круга алмазів і компактів мікропорошків cBN (рис. 10).

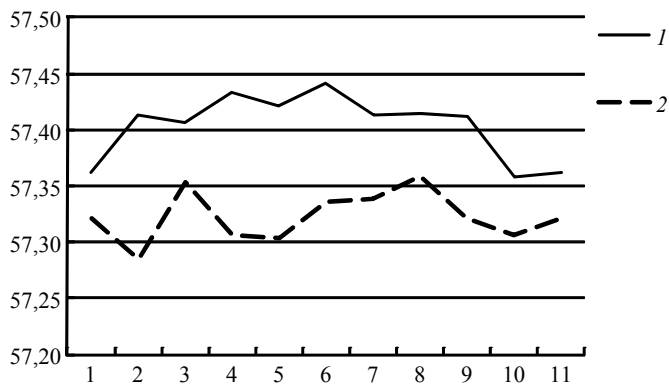


Рис. 10. Утворення пилкоподібного хвильового профілю круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) вздовж ріжучого шару у разі комбінації у ньому немодифікованих алмазних зерен і компактів мікропорошків cBN: 1 – до шліфування; 2 – після шліфування.

Застосування в робочому шарі виключно компактів за продуктивного шліфування твердого сплаву призводить до катастрофічного зносу круга, виривання зерен самих компактів (рис. 11) і повної відсутності хвильової формозміни на його робочій поверхні (рис. 12), що спостерігали під час примусового видалення хвильової формозміни правкою (див. рис. 4, крива 4).

Зазвичай, вказані вище зміни хвильового формозмінення не можуть вплинути на формування мікронерівностей обробленої поверхні, і, насамперед, на опорні криві шорсткої поверхні. Встановлено, якщо шліфувальний круг має ламаний профіль, то оброблена поверхня буде мати знижену несучу здатність. Це добре видно на прикладі формування шорсткої поверхні під час шліфування алмазним кругом із чітким хвильовим профілем (рис. 13, а, б) та із ламаним профілем (рис. 13, в, з).



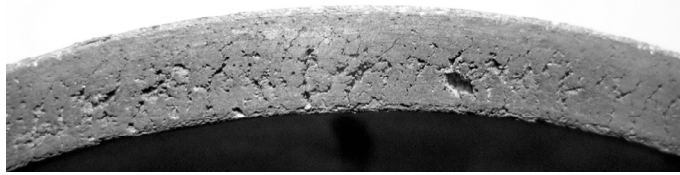


Рис. 11. Стан ріжучої поверхні круга із зернами компактів з мікропорошків cBN після шліфування твердого сплаву з продуктивністю 200 мм<sup>3</sup>/хв.

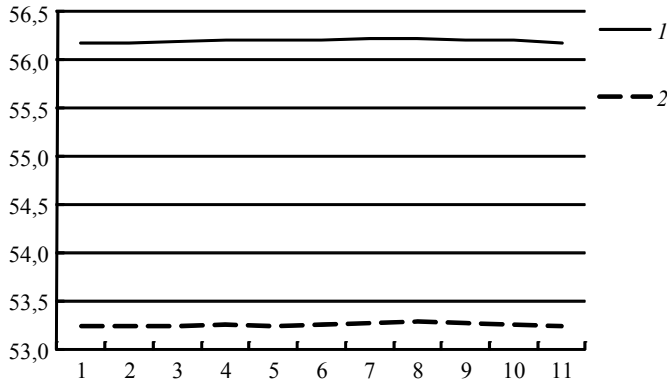


Рис. 12. Відсутність ознак формоутворення ріжучого шару круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) вздовж ріжучого шару у разі застосування в ньому компактів мікропорошків cBN: 1 – до шліфування; 2 – після шліфування.

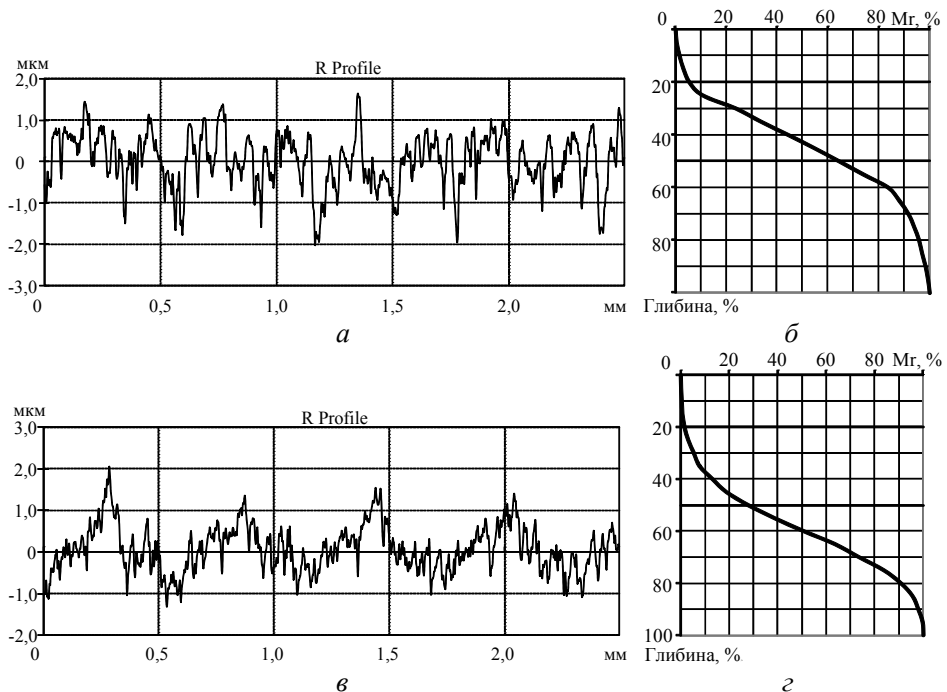


Рис. 13. Профілограми (а, в) і криві відносної опорної довжини профілю (б, г) поверхні, обробленої кругом з модифікацією поверхні зерен комбінацією  $B_2O_3/Al_2O_3$  (а, б) і кругом з модифікацією поверхні зерен NaCl (в, г) під час шліфування твердого сплаву з продуктивністю 400 мм<sup>3</sup>/хв.

Аналогічні висновки можна зробити і для кругів із зернами з КНБ, як було показано у разі формування шорсткої поверхні під час шліфуванні кругом з

кубонітом марки КВ 125/100 з чітким хвиловим профілем (рис. 14, в, з) та з ламаним профілем, характерним для кругів з зернами, поверхня яких модифікована хлоридами (рис. 14, а, б). Ламаний профіль круга і тут також призводить до зниження несучої здатності.

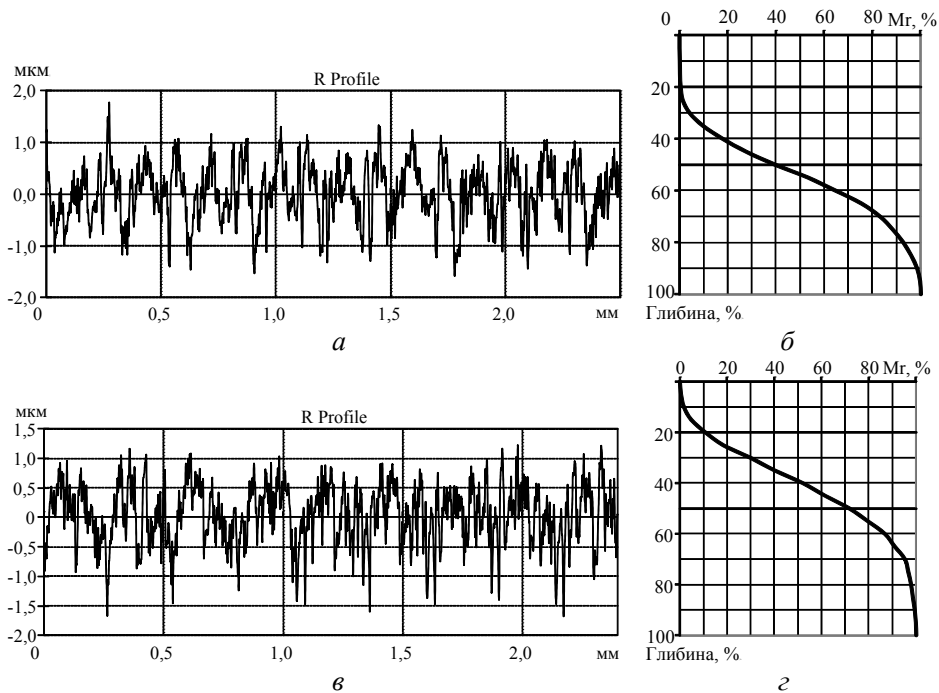


Рис. 14. Профілограми (а, в) і криві відносної опорної довжини профілю (б, з) поверхні, обробленої кругом з модифікацією поверхні зерен  $B_2O_3/NaCl$  (а, б) і кругом без модифікації поверхні зерен (в, з) під час шліфування швидкорізальної сталі з продуктивністю  $200 \text{ мм}^3/\text{хв.}$

Тобто, зміною модифікатора поверхні шліфувальних зерен можна вплинути на формозміну круга і, як наслідок, на несучу здатність шліфованої шорсткої поверхні.

На рис. 5 було показано, що коли примусово усунути формозміну круга, то отримуємо оброблену поверхню з підвищеною несучою здатністю. Але на рис. 11 і 12 видно, що можна отримати ріжучу поверхню круга без формозміни за допомогою застосування відповідних зерен компактів. У разі використання модифікованих зерен компактів з мікропорошків cBN під час продуктивної обробки твердого сплаву марки T15K6 мали формозміну круга або її відсутність (див. рис. 12). Разом з тим, компакти з модифікованою поверхнею забезпечують високі (92,14 %) значення показника  $t_{50}$ , що вказує на те, що і тут шорстка поверхня формується з так званими “масляними кишнями” (рис. 15, а), про які було згадано під час аналізу рис. 5, і з високою несучою здатністю (рис. 15, б). Тобто, це свідчить про те, що відсутність хвилі на поверхні круга обумовлює принципові зміни як параметрів мікронерівностей, так й їх розподілу на обробленій поверхні.

На рис. 4 видно, що хвилову формозміну ріжучій поверхні круга можна примусово за допомогою правлення змінити на ламану, і навіть повністю її усунути. Вище було показано, що це можна зробити у природній спосіб. Щоб отримати, наприклад, ламане хвилове формоутворення поверхні круга

необхідно застосовували шліфувальні зерна із модифікованою хлоридами поверхнею, а коли треба отримати ріжучу поверхню круга без формозміни, то необхідно застосовувати шліфувальні круги із зернами з компактів мікропорошків КНБ. В наслідок формозмінення на поверхні круга можна отримати шорстку оброблену поверхню зі збільшеною або зі зменшеною несучою здатністю, відповідно до технологічних вимог до такої поверхні.

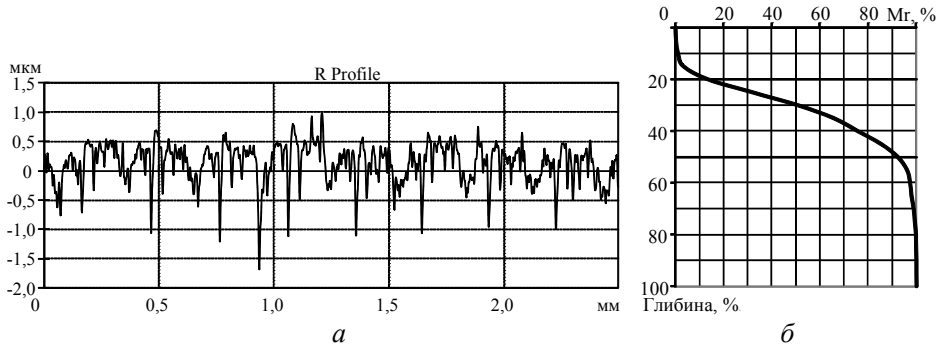


Рис. 15. Профілограма (а) і криві відносно опорної довжини профілю (б) поверхні, обробленої кругом з компактом зернистістю 315/250 з модифікацією поверхні зерен оксидом  $V_2O_3$  під час шліфування твердого сплаву Т15К6 з продуктивністю  $200 \text{ мм}^3/\text{хв}$ .

В [1, 6] було показано, що для підвищення зносостійкості шліфувального круга треба впливати на природне формоутворення і для цього було розроблено спеціальні секторні круги з різним робочим шаром в секторах, що чергуються у коловому напрямку (рис. 16).



Рис. 16. Конструкція різального секторного круга з різним робочим шаром в секторах, що чергуються в коловому напрямку.

Вище було показано, що модифікування поверхні зерен НТМ хлоридами дозволяє отримати ламаний профіль поверхні поверхні круга. Авторами було досліджено, як це впливає на зносостійкість кругів.

Модифікування зерен алмазного круга підвищувало його зносостійкість, по-перше, якщо використовували чисті хлориди  $CaCl_2$  і  $FeCl_3$ , по-друге, у разі застосування комбінованого модифікування, коли 50 % зерен модифікували

оксидом  $V_2O_5$ , а інші 50 % зерен – хлоридом  $MgCl_2$  або оксидом  $Al_2O_3$ . Вплив модифікування зерен на зносостійкість алмазного круга по мірі її збільшення був наступним:

без модифікування –  $FeCl_3 - V_2O_5/MgCl_2 - CaCl_2 - V_2O_5/Al_2O_3$ .

Тобто, це означає, що можна отримати ламану формозміну і підвищену зносостійкість круга, якщо не має обмежень до шорсткої поверхні до застосування модифікації поверхні шліфувальних зерен НТМ саме хлоридами.

## ВИСНОВКИ

Хвилясте формоутворення ріжучої поверхні круга у коловому напрямку є природнім процесом, що відображає процес знімання кругом оброблюваного матеріалу.

Примусове придушення хвильової формозміни на ріжучій поверхні алмазного круга правкою правлячим алмазним полікристалічним олівцем суттєво змінює параметри шорсткості обробленої поверхні – знижуються висотні параметри і збільшується крок мікронерівностей на обробленій поверхні, принципово змінюється розподіл мікронерівностей на обробленій поверхні, що підвищує заповненість її профілю.

Хвильове формозмінення є природнім як для алмазних, так і для кубонітових кругів, але для отримання зміненого, але не примусового, а саме природного формозмінення необхідно змінити саме зерна НТМ: застосовувати зерна компактів з мікропорошків КНБ, залучати суміші шліфпорошків та використовувати модифікування поверхні зерен НТМ.

Модифікування поверхні зерен НТМ (алмазів, кубоніту, компактів з мікропорошків КНБ) із застосуванням хлоридів викликає на ріжучій поверхні певні збурення і формування ламаного хвильового профілю у коловому напрямку. Отже, дія хлоридів є однаковою як для алмазних зерен, так і для зерен кубоніту, або компактів з КНБ. Як наслідок, з таким ламаним профілем формується оброблена поверхня зі зниженою несучою здатністю.

У разі збільшення зносу робочого шару круга з компактами утворюється ріжуча поверхня круга без хвильової формозміни і водночас формуються мікронерівності обробленої поверхні із своєрідними “масляними кишнями” і підвищеною несучою здатністю. Це свідчить про те, що відсутність хвилі на поверхні круга обумовлює принципові зміни як параметрів мікронерівностей, так і їх розподілу на обробленій поверхні.

V. I. Lavrinenko<sup>1</sup>, O. O. Pasichnyi<sup>1</sup>, V. G. Poltoratskyi<sup>1</sup>,  
V. Yu. Solod<sup>2</sup>, D. G. Muzychka<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bakul Institute for Superhard Materials,

National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Dniprovsk State Technical University, Kamianske, Ukraine

Peculiarities of shape change of the cutting surface  
of the grinding wheel in the circular direction when grinding  
wheels with a mixture of SHM grinding powders and with  
a modified surface of their grains

*Peculiarities of the shape change of the cutting surface of the grinding wheel in the circular direction during grinding are presented and it is shown that it is uneven and has a wavy character. It is shown that the waveform change is characteristic of both diamond and cBN wheels, and is a natural process that reflects the process of removing the wheel of the processed*

material. It is possible to forcibly destroy the waveform by editing the cutting surface. It is shown that in order to obtain a modified, not forced, namely natural, change of shape, it is necessary to change the SHM grains: to use grains of compacts from cBN micropowders, to involve mixtures of grinding powders or to modify the surfaces of SHM grains. It is established that in the case when the surface of grains was modified with the use of chlorides, certain perturbations occur on the cutting surface and a broken wave profile in the circular direction is formed here. It is shown that, as a consequence, a treated surface with reduced bearing capacity is formed.

**Keywords:** grinding wheel, cutting surface, waveform, surface roughness parameters, grinding powders.

1. Лаврінєнко В.І., Новіков М.В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник / під заг. ред. акад. НАН України М.В. Новікова. Київ: ІНМ НАН України, 2013. 456 с.
2. Якимов А.В., Паршаков А.Н., Свирщєв В.И., Ларшин В.П. Управление процессом шлифования. Киев: Техніка, 1983. 184 с.
3. Дудукалов Ю.В., Раб А.Ф. Статистические характеристики макропрофиля рабочей поверхности абразивного инструмента. *Резание и инструмент в технологических системах*. 1990. Вып. 44. С. 34–41.
4. Чмир М.Я., Троицкий Н.А. Взаимосвязь технологических показателей алмазно-электрохимического шлифования, характеристик оборудования и условий обработки. Электрохимические и электрофизические методы обработки материалов: Сб. науч. тр. Тула: ТулПИ, 1990. С. 80–92.
5. Линєнко-Мельников Ю.П. Метод исследования кинетики контактного взаимодействия в системе инструмент–заготовка при шлифовании. *Сверхтв. материалы*. 1991. № 6. С. 40–43.
6. Lavrinenko V.I. The effect of changes in the form of the wheel working surface on the grinding process. *J. Superhard Mater.* 2000, Vol. 22, no. 5. P. 42–47.
7. Lavrinenko V.I., Sytnyk B.V., Poltorats'ky, V.G., Bochechka O.O., Solod V.Yu. Composites based on cBN micron powders structured by carbon binder for the application as functional elements in the working layer of diamond-abrasive tools. Part 1. Composite grits as abrasive elements, *J. Superhard Mater.* 2014. Vol. 36, no. 3. P. 193–198.
8. Pasichnyi O. O., Lavrinenko V.I. The influence of circumferential waviness of the diamond wheel working surface on the machined surface roughness. *J. Superhard Mater.* 2019, Vol. 41, no. 4. P. 278–280.
9. Lavrinenko V.I., Solod V.Yu., Kashynskyi I.S., Dobroskok V.L. Determination of oxides intended for the surface modification of diamond grains by the functional characteristics. *J. Superhard Mater.* 2020, Vol. 42, no. 6. P. 417–422.
10. Лаврінєнко В.І., Пасічний О.О., Полторацький В.Г., Лещєнко О.В. Модифіковані термостійкими оксидами і хлоридами шліфпорошки синтетичного алмазу в шліфувальному інструменті *Качество, стандартизація, контроль: теорія і практика: Матер. 20-й міжд. наук.-практ. конф.* м. Одеса. 07–11 вер. 2020 р. Київ: АТМ України, 2020. С. 87–88.

Надійшла до редакції 06.01.21

Після доопрацювання 21.04.21

Прийнята до опублікування 27.04.21