

**В. І. Лавріненко^{1,*}, О. О. Пасічний¹, В. Г. Полторацький¹,
В. Ю. Солод^{2,**}, В. Л. Доброскок^{3,***}, Є. В. Острроверх³**

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля
НАН України, м. Київ, Україна

²Дніпровський державний технічний університет МОН України,
м. Кам'янське, Україна

³Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут" МОН України,
м. Харків, Україна

*lavrinenko@ism.kiev.ua

**v_solod@ukr.net

***vldob314@gmail.com

Особливості зв'язку між параметрами шорсткості обробленої поверхні за умови шліфування кругами із суміші шліфпорошків НТМ з модифікованою поверхнею зерен

Досліджено особливості зв'язку між основними висотними параметрами шорсткості R_{\max} і R_a , між кроковим S_m і висотним параметром R_a під час торцевого шліфування кругами з надтвердих матеріалів, а також умови, за якими відбувається відхилення від ustalених співвідношень R_{\max} і R_a та S_m і R_a . Показано, що на співвідношення R_{\max} і R_a зміна зернового складу робочого шару круга майже не впливає, а співвідношення S_m і R_a є залежним від наявності в робочому шарі суміші зерен НТМ чи від модифікації їхньої поверхні. Виявлено, що за стандартних умов середній крок нерівностей S_m зростає зі збільшенням параметра R_a в усіх досліджених випадках. Наведено умови примусового впливу на ріжучий шар круга для зменшення кроку нерівностей S_m зі збільшенням параметра R_a .

Ключові слова: шорсткість поверхні, параметри шорсткості, шліфпорошки надтвердих матеріалів, модифікована поверхня зерен.

Свого часу в наукових роботах було приділено багато уваги особливостям формування мікронерівностей на обробленій поверхні під час шліфування інструментами з надтвердих матеріалів (НТМ), як з алмазними [1–3], так і кубонітовими шліфпорошками [4, 5]. Поряд із загальними дослідженнями утворення шорсткої поверхні, дослідниками було показано, що існує певний зв'язок між параметрами шорсткості. Так, в [6] такий зв'язок досліджували для основних висотних параметрів в залежності від технології обробки: для площинно-вершинної і викінчувально-зміцнюючої обробки $R_{\max}/R_a = 5$, для точіння, стругання, фрезерування $R_{\max}/R_a = 6$, для шліфування $R_{\max}/R_a = 7$. Авторами [4] співвідношення між висотними параметрами R_a та R_{\max} визначено у вигляді $R_{\max}/R_a = 6,472 \pm 0,225$ для шліфування кругами з кубоніту сталевих виробів. У [6] звернено увагу на зв'язок між

середнім кроком нерівностей Sm та параметром R_{max} і показано, що для більшості методів механічної обробки (шліфування, стругання, фрезерування, розточування сталевих і чавунних деталей) співвідношення Sm/R_{max} не перевищує 40.

Такі співвідношення було також детально досліджено в [7], де вивчали зв'язок між параметрами R_{max} і Ra за різними умовами обробки і показали, що такий зв'язок зводиться до низки наступних простих співвідношень: для спеченої і необробленої поверхні має вигляд $R_{max}/Ra \approx 4$, під час лезової обробки сталей 40X, ШХ15, Х12М різцями з Гексаніту-Р співвідношення більш близьке до $R_{max}/Ra \approx 6$, для обробки інструментальних матеріалів – швидкорізальних сталей, керамік, твердих сплавів, а також, незагартованих і неіржавіючих сталей та титанових сплавів кругами з НТМ найбільш характерним є співвідношення, що наближається до $R_{max}/Ra \approx 8$, для абразивної обробки (кругами з електрокорунду чи карбїду кремнію) R_{max}/Ra знаходиться в межах 6–8. Причому більші значення характерні для чистових методів обробки, що і підтверджують дані [8] для тонкого шліфування оптичних деталей зі скла, коли співвідношення R_{max}/Ra знаходиться у діапазоні от 7,2 до 8,5.

Певна аналогія існує і для зв'язку між середнім кроком нерівностей Sm та висотним параметром Ra , але цей зв'язок більш складний і не завжди може бути виражений у вигляді простого співвідношення [7]. Так, під час шліфування сталі Р6М5 кругами з кубоніту функція апроксимації такого кореляційного зв'язку для багатопрхідного способу складає $Sm = 23,21 + 153,6Ra$, а для глибинного – $Sm = 42,56 + 26,08Ra$ [7]. Водночас аналіз даних [7] підтверджує, що в усіх випадках крок нерівностей Sm підвищується зі зростанням параметра Ra . Характер цього зростання залежить від способу обробки і в певній мірі від оброблюваного матеріалу. Разом з тим, в літературі відсутні відомості про те, як можливо змінити це зростання (збільшити його чи зменшити) для одного і того ж способу обробки і оброблюваного матеріалу, але за зміненої характеристики зерен шліфпорошків НТМ в робочому шарі круга.

В даній статті розглянуто особливості формування нерівностей обробленої поверхні під час торцевого шліфування кругами з НТМ для випадку, коли у робочому шарі круга є суміш двох або трьох шліфпорошків однієї зернистості для різних абразивів (компактів на основі мікропорошків кубоніту [9], компактів з кубонітом і компактів з алмазами) або шліфпорошків НТМ із зернами з різною модифікацією їхньої поверхні [10]. Насамперед автори дослідили, яким чином (змінюю суміші або змінюю модифікації поверхні зерен) можна вплинути на характер зв'язку між висотними параметрами Ra і R_{max} , а також між Ra і Sm .

Під час проведення експериментальних досліджень загальна кількість використаних сумішей шліфпорошків і варіантів модифікацій поверхонь зерен НТМ складала ~ 40 зразків. Було виготовлено круги форми 12A2-45° 125×5×3×32 на полімерній зв'язці марки В2-08. Шліфували зразки розміром 100×20×8 мм зі швидкорізальної сталі Р6М5 і зразки розміром 63×15×7 мм з твердого сплаву Т15К6. Обробку провадили без охолодження з продуктивністю від 100 до 400 мм³/хв.

Шорсткість оброблюваних поверхонь контролювали за допомогою профілометра-профілографа мод. SurfTest SJ-201 фірми “Mitutoyo” (Японія) і оцінювали за наступними параметрами: середнім арифметичним відхиленням профілю нерівностей від середньої лінії Ra , мкм, максимальною висотою нерівностей в межах базової довжини R_{max} , мкм, середнім кроком нерівностей по середній лінії Sm , мкм.

Аналіз параметрів нерівностей оброблених поверхонь для чотирьох видів суміші зерен НТМ (компактів з мікропорошків КНБ, компактів з алмазами, компактів з кубонітом, компактів з алмазами і кубонітом) у робочому шарі шліфувальних кругів (рис. 1) засвідчив, що під час шліфування швидкорізальних сталей співвідношення R_{\max}/R_a знаходиться у діапазоні від 7,5 до 10, а середній показник складає 8,5, що відповідає тим даним, які викладено вище. Характерним також є і те, що різні абразиви знаходяться в суміші не окремо, а у загальній сукупності. Крім того, деякі дані (особливо для чистих компактів) виходять за рамки узагальнених даних (див. рис. 1), що є цікавими для пошуку шляхів відхилення від узагальнених даних.

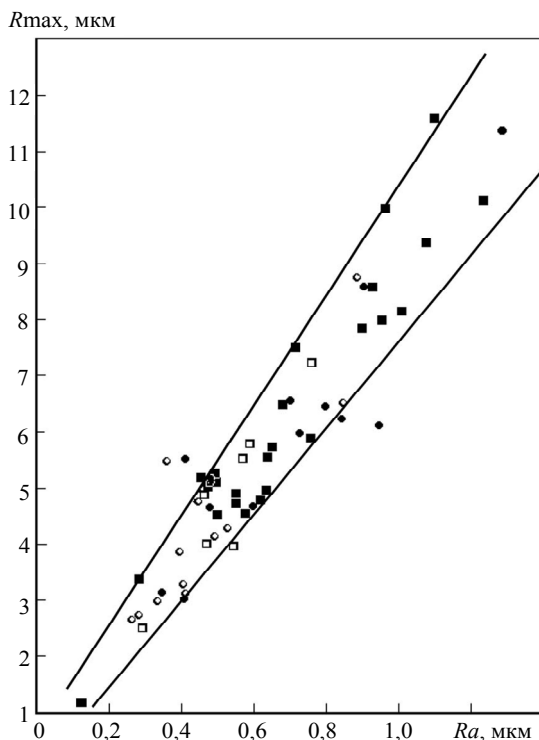


Рис. 1. Приклад кореляційного зв'язку між висотними параметрами шорсткості R_a та R_{\max} обробленої поверхні сталі Р6М5 під час шліфування кругами з різним сполученням абразивів у їхньому робочому шарі: КМ (компакт) (●), КМ + АС32 (○), КВ + КМ (■), КВ + КМ + АС (□).

Розглянемо співвідношення висотних і крокових параметрів шорсткості спочатку компактів, які можуть мати відхилення від узагальнених даних (див. рис. 1). Аналіз результатів досліджень експлуатаційних показників кругів із шліфпорошками на основі компактів мікропорошків кубоніту засвідчив, що для них є характерним особливий механізм зношування зерен [9]. Вони зношуються в значній мірі не виколками, а пошарово і для них характерною є невелика зміна показника шорсткості R_a за достатньо великою відмінністю зернистості компактів, збільшений крок нерівностей зернистостей, які мають незадовільну ріжучу здатність. Аналіз зв'язку між показником R_a і кроком нерівностей S_m (рис. 2) чітко виявив, що саме для тих зернистостей компактів, які виявилися недостатньо працездатними в кругах 630/500, 200/160, 125/100, спостерігали підвищення значень кроку нерівностей.

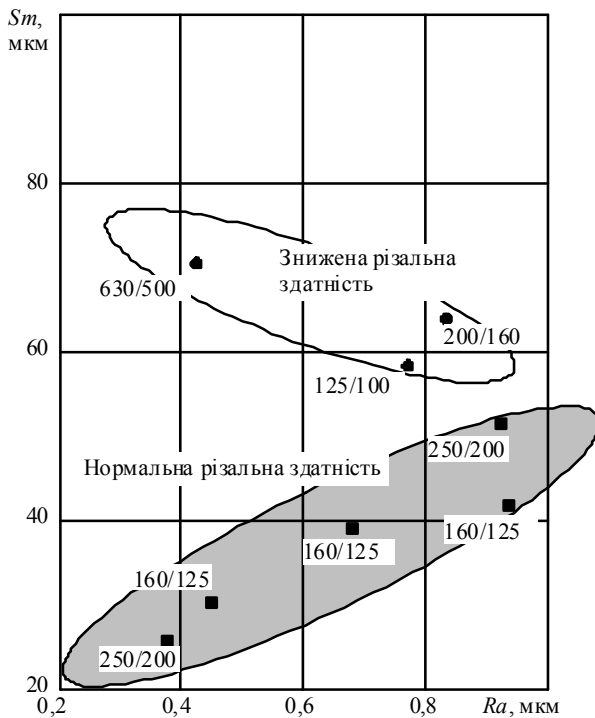


Рис. 2. Приклад кореляційного зв'язку між параметром шорсткості Ra і середнім кроком нерівностей Sm для кругів з компактами за різної ріжучої здатності.

З рис. 2 можна зробити ще один висновок, який може бути корисний у пошуку умов спрямованої зміни кроку нерівностей на обробленій поверхні. Коли забезпечено задовільну ріжучу здатність робочої поверхні шліфувального круга, то зі зростанням висотного параметру Ra традиційно, як вказано вище, підвищується кроковий параметр Sm . Коли зерна швидко зношуються і ріжуча здатність є незадовільною, то спостерігали зовсім іншу тенденцію: зі зростанням висотного параметру Ra кроковий параметр Sm не підвищується, а знижується. Водночас важливою є і ще одна особливість нерівностей поверхні після обробки кругами з таким зношеними компактами: профіль нерівностей є нерівномірним і характеризується наявністю своєрідних “масляних кишень”, описаних в [9].

Для підтвердження такого ефекту авторами було вивчено особливості нерівностей обробленої поверхні у разі застосування кругів з робочим шаром із суміші компактів КМ та алмазних зерен АС32 у співвідношенні 50:50 зернистістю 400/315. Тобто, компактів у робочому шарі тільки 50 %, а інші 50 % – це алмази, які під час шліфування швидкорізальної сталі мають наближений до компактів механізм зношування, оскільки на них також інтенсивно будуть утворюватися площадки зносу, і це можна спостерігати за характером нерівностей на обробленій поверхні. Саме тут помітно формування шорсткості з “масляними кишнями” (рис. 3). Крім того, для профілю поверхні, обробленої такими кругами, характерні аномально високі кроки нерівностей (рис. 4), що і підтверджує наведені вище припущення існування механізму зношування зерен в таких кругах.

Таким чином, одночасне застосування в кругах суміші зерен компактів і НТМ дозволяє суттєво змінити співвідношення показників шорсткості Ra і

Sm: збільшити це співвідношення *Sm/Ra* (див. рис. 4, області 1 і 2) у залежності від умов формування типової шліфованої поверхні (рис. 4, область 3).

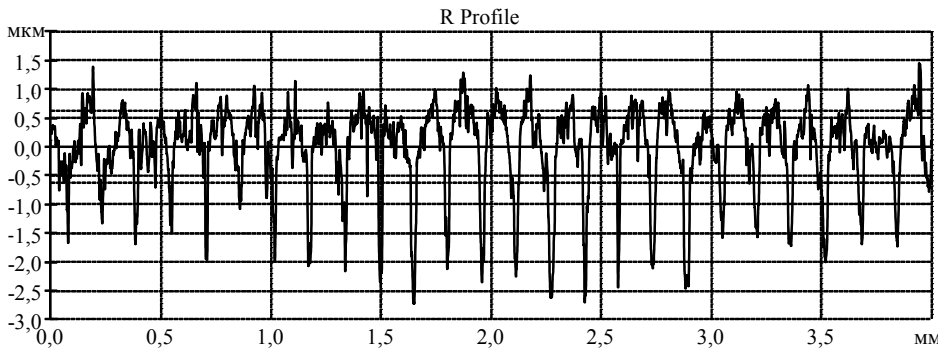


Рис. 3. Профілограма шорсткості обробленої поверхні з утворенням “масляних кишень” кругом зі шліфпорошком з компакта КМ 400/315 і алмазного порошку АС32 400/315.

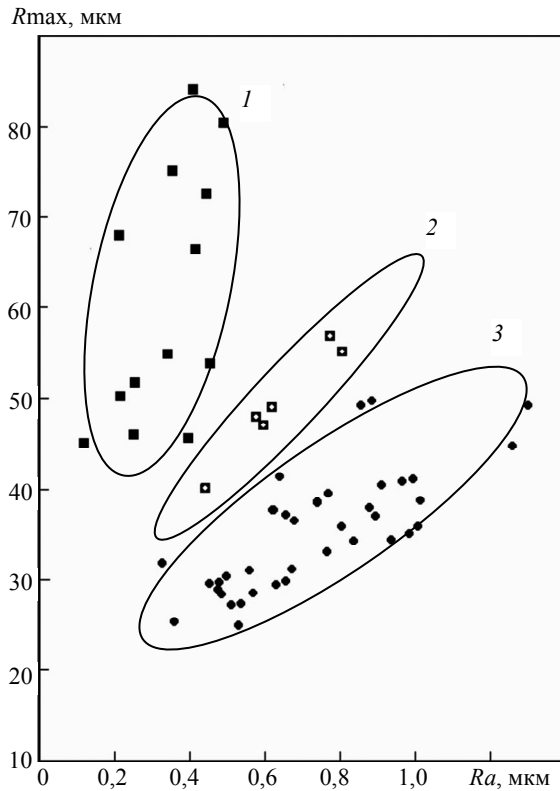


Рис. 4. Приклад кореляційного зв'язку між параметром шорсткості *Ra* і середнім кроком нерівностей *Sm* у залежності від особливостей формування шорсткості обробленої поверхні зразка зі сталі Р6М5: 1 – область формування обробленої поверхні із наявністю “кишень” (див. рис. 3) (суміш у робочому шарі алмазів і компактів); 2 – проміжна область формування обробленої поверхні з нечітко вираженими “кишенями” (суміш кубоніта і компактів); 3 – область формування типової шліфованої поверхні (круги з кубаніту).

Розглянемо, що буде відбуватися зі співвідношенням показників шорсткості обробленої поверхні, коли в робочому шарі кругів є шліфпорошки НТМ однієї зернистості, але з модифікованою поверхнею їхніх зерен.

На першому етапі досліджували показники шорсткості обробленої поверхні під час застосування кругів з алмазними зернами, модифікованими як оксидами (B_2O_3 , Al_2O_3), так і оксидами в поєднанні з хлоридами ($NaCl$, $MgCl_2$, $FeCl_3$, $CaCl_2$), а саме шліфпорошків синтетичного алмазу марки АС6 125/100. Для дослідження процесу обробки було обрано важкооброблюваний твердий сплав марки Т15К6. Режими шліфування без охолодження: швидкість обертання круга – 18 м/с, поперечна подача – 0,05 мм/пдв. хід, поздовжня подача – 0,57 м/хв (для продуктивності обробки $200 \text{ мм}^3/\text{хв}$) та 1,14 м/хв (для $400 \text{ мм}^3/\text{хв}$).

Продуктивність шліфування у даному випадку має значний вплив на шорсткість поверхні. Якщо за невеликої продуктивності у $200 \text{ мм}^3/\text{хв}$ шліфувальний круг із алмазними зернами без модифікування поверхні має найменше значення шорсткості обробленої поверхні за параметром Ra , то у разі збільшення продуктивності до $400 \text{ мм}^3/\text{хв}$ цей круг має найбільші значення шорсткості за параметром Ra .

Встановлено, що круги з модифікованими алмазними зернами можна розташувати в ряд по мірі зменшення параметра Ra :

без модифікування – $B_2O_3/Al_2O_3 - NaCl - CaCl_2 - B_2O_3/MgCl_2 - B_2O_3/CaCl_2$.

Далі досліджували вплив модифікаторів поверхні алмазних зерен на відхилення від узагальнених даних співвідношення між Sm і Ra (рис. 5) та R_{max} і Ra (рис. 6). На рис. 5 видно, що майже усю сукупність даних по кроку нерівностей обробленої поверхні можна апроксимувати функцією $Sm = 145Ra$. Разом з тим, є і відхилення від цієї залежності, які пов'язані із застосуванням в кругах алмазних зерен, модифікованих хлоридами $CaCl_2$ і $MgCl_2$ і відповідають більшим значенням співвідношення Sm і Ra .

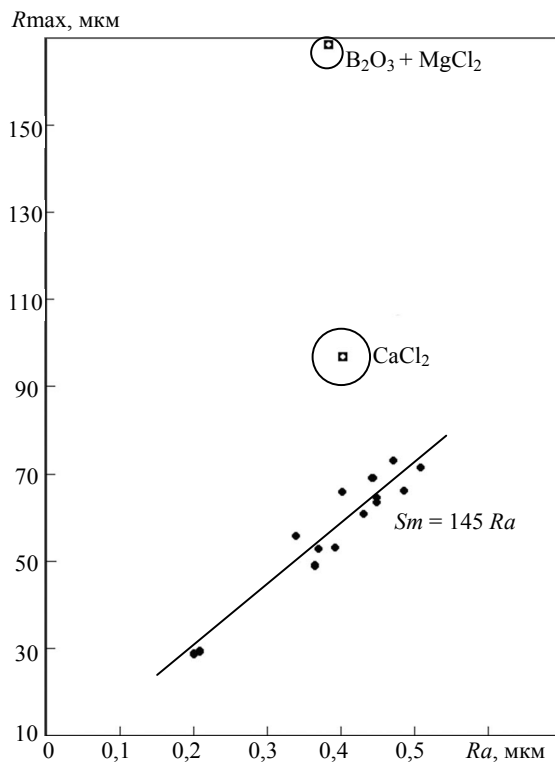


Рис. 5. Приклад кореляційного зв'язку між параметрами шорсткості Sm і Ra обробленої поверхні зразка з твердого сплаву Т15К6.

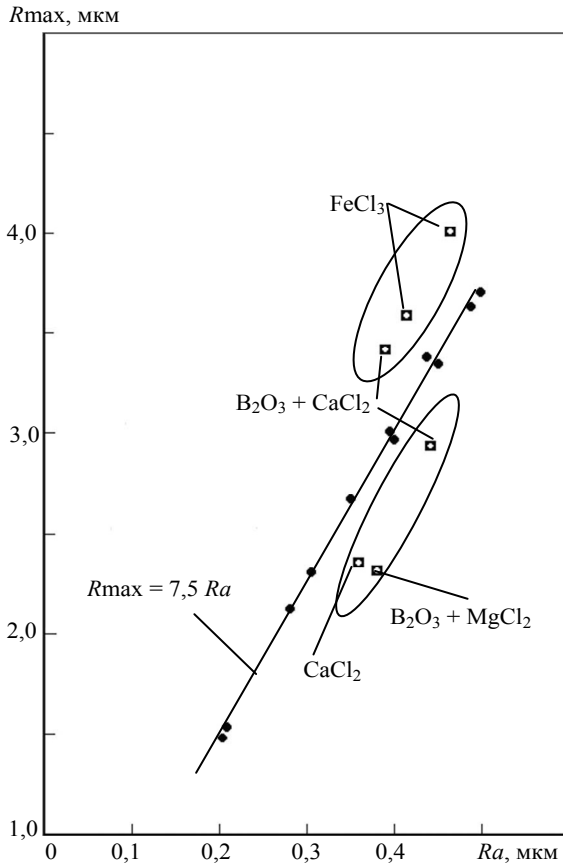


Рис. 6. Приклад кореляційного зв'язку між параметрами шорсткості R_{max} і R_a обробленої поверхні зразка з твердого сплаву Т15К6.

Аналіз даних рис. 6 показує, що майже усі дані можна апроксимувати функцією $R_{max} = 7,5R_a$, але деякі точки лежать майже паралельно основній прямій з обох боків. Усі ці відхилення відбувалися, коли в кругах застосовували алмазні зерна, поверхню яких було модифіковано хлоридами $CaCl_2$, $MgCl_2$ і $FeCl_3$.

Тобто, у разі визначення речовин, якими можливо модифікувати поверхню алмазних зерен, треба враховувати імовірний вплив хлоридів на утримання таких зерен у зв'язуючому, і, як наслідок, формування інших показників шорсткості поверхні, обробленою кругами з модифікованими алмазними зернами.

На другому етапі досліджували показники шорсткості обробленої поверхні у разі застосування кубонітових кругів із зернами кубоніту КВ з покриттями на основі сумішей модифікованих як тільки оксидами (B_2O_3 , Al_2O_3), так і в поєднанні з хлоридами ($NaCl$). Шліфували без охолодження швидкорізальну сталь марки Р6М5 за режимом: швидкість обертання круга – 18 м/с, поперечна подача – 0,05 мм³/хв. хід, повздовжня подача – 0,5 м/хв (для продуктивності обробки 100 мм³/хв) і 1,0 м/хв (для 200 мм³/хв).

І в цьому випадку на показники шорсткості впливає продуктивність шліфування. Якщо за невеликої (100 мм³/хв) продуктивності значення показників шорсткості мало відрізняються, то за більшої (200 мм³/хв) продуктивності

показники шорсткості відрізняються більше, і вплив модифікування зерен кубоніту КВ на зменшення параметра Ra буде наступним:

$\text{NaCl} - \text{B}_2\text{O}_3 / \text{NaCl} - \text{B}_2\text{O}_3$ – без модифікування – $\text{B}_2\text{O}_3 / \text{Al}_2\text{O}_3$.

Розглянемо вплив модифікаторів поверхні зерен кубоніту КВ на відхилення від узагальнених даних співвідношення між Sm і Ra (рис. 7) та R_{max} і Ra (рис. 8). На рис. 7 видно, що майже усю сукупність даних за кроком нерівностей обробленої поверхні можна апроксимувати як $Sm = 95Ra$. Відхилення від такої апроксимації пов'язано із застосуванням у шліфувальних кругах зерен кубаніту, поверхню яких було модифіковано хлоридом NaCl і оксидом B_2O_3 . У разі використання цих модифікаторів співвідношення Sm/Ra зростає. Зазначимо, що саме ці два модифікатора знаходяться у лівій частині вказаного вище розташування кругів за шорсткістю.

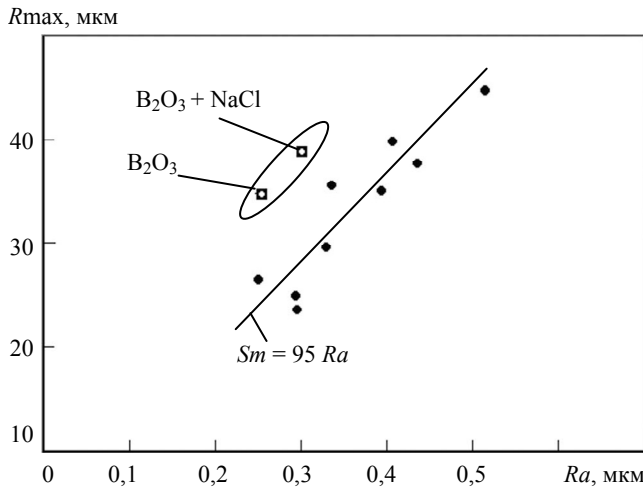


Рис. 7. Приклад кореляційного зв'язку між параметрами шорсткості Sm і Ra обробленої поверхні зразка зі швидкорізальної сталі Р6М5.

Проаналізуємо для цього випадку співвідношення між максимальною висотою R_{max} та середнім арифметичним відхиленням профілю шорсткості Ra (див. рис. 8). Видно, що функція апроксимації $R_{\text{max}} = 7,5Ra$ співпадає зі співвідношенням параметрів шорсткості R_{max} і Ra обробленої поверхні зразка з твердого сплаву (див. рис. 6) і немає відхилення від даної залежності жодного з кругів з модифікованими зернами кубоніту.

Повернемося до кореляційного зв'язку між параметром шорсткості Ra і середнім кроком нерівностей Sm для кругів з компактами за різної ріжучої здатності (див. рис. 2). Це є чи не єдиний випадок, коли крок нерівностей зменшується зі зростанням параметра Ra . І відбувається це в тому випадку, коли знижена ріжуча здатність круга, тобто зерна не виступають і робоча поверхня круга стає пласкою (рис. 9), без її формозміни у коловому напрямку (рис. 10).

Застосування в абразиввісному шарі круга виключно зерен компактів КМ 125/100 за продуктивного шліфування твердого сплаву призводить до швидкого зносу круга, виривання самих зерен компактів (див. рис. 9) і, як наслідок, до виникнення повної відсутності хвильової формозміни на його робочій поверхні (див. рис. 10).

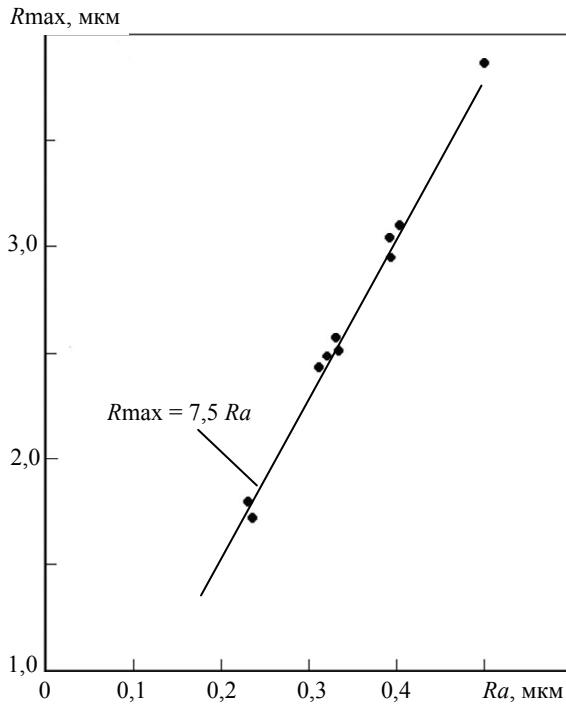


Рис. 8. Приклад кореляційного зв'язку між параметрами шорсткості обробленої поверхні зразка зі швидкорізальної сталі P6M5: R_{max} та R_a .

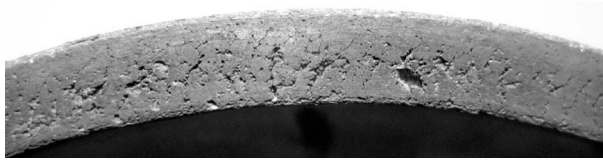


Рис. 9. Стан робочої поверхні круга із зернами компактів з мікропорошків sBN KM 125/100 після шліфування твердого сплаву з продуктивністю $200 \text{ мм}^3/\text{хв}$.

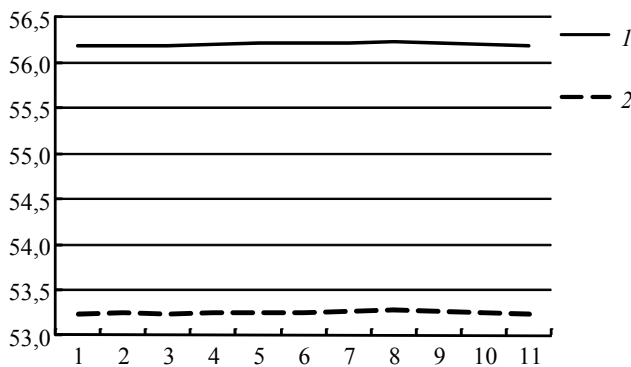


Рис. 10. Відсутність формоутворення на робочій поверхні круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) до (1) і після (2) шліфування твердого сплаву з продуктивністю $200 \text{ мм}^3/\text{хв}$ у разі застосування компактів мікропорошків КНБ KM 125/100.

В процесі торцевого шліфування нарівні із формозміною робочої поверхні круга в радіальному напрямку не менш важливі зміни на поверхні круга відбуваються і в коловому напрямку [5, 11]. У більшості випадків на них не зве-

ртають увагу, і вважають, що уся робоча поверхня круга є відповідальною за знімання припуску за оберт круга. Таке нехтування може призвести до істотних похибок у оцінці експлуатаційних показників круга під час шліфування, оскільки реально форма профілю робочої поверхні круга у коловому напрямку набуває форму хвилі [5, 11], а за знімання припуску відповідає тільки її фронт [5]. У даному дослідженні автори спостерігали це як для алмазних, так і для кубонітових кругів (рис. 11).

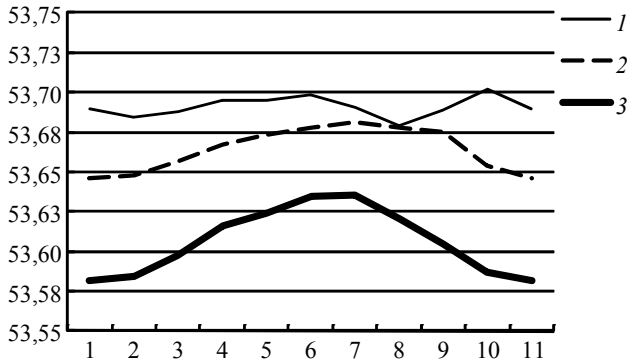


Рис. 11. Хвильовий профіль круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) до (1) і після (3) шліфування швидкорізальної сталі у разі застосування немодифікованих кубонітових зерен (2 – проміжний профіль круга в процесі шліфування).

Водночас у разі застосування в кругах зерен із модифікацією їх поверхні хлоридами змінюється формоутворення робочої поверхні кругів і за такої умови отримуємо не хвильовий, але більше пилкоподібний профіль (рис. 12), що, на думку авторів, ймовірно і призводить до відхилень у співвідношеннях Sm/Ra і R_{max}/Ra . Але це питання потребує окремого дослідження.

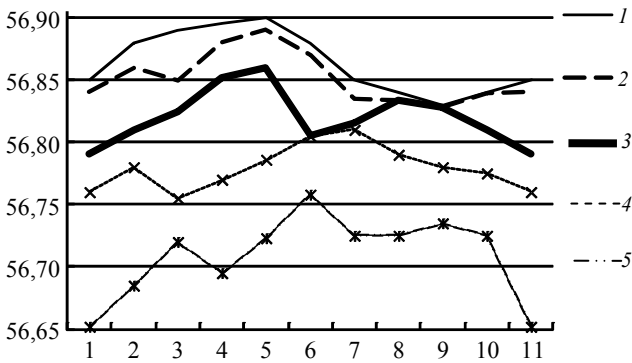


Рис. 12. Ламаний хвильовий профіль в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) вздовж робочої поверхні круга з алмазними зернами, модифікованими хлоридом $CaCl_2$: 1 – до шліфування, 5 – після шліфування, 2–4 – проміжні, що утворюються в процесі шліфування.

Тобто, хвильова формозміна існує, але важливо дослідити змінювання характеру зв'язку між Sm і Ra через примусове пригамовування процесу хвильової формозміни на робочій поверхні круга до стану, наведеному на рис. 10, а саме зниженню висоти гребеня хвилі правкою алмазного круга алмазним полікристалічним правлячим олівцем [12]. В експериментах застосовували шліфувальний круг 12A2-45° 125×5×3×32 – AC6 160/125–M1-10–100 %. Шліфували твердий сплав ВК8 з охолодженням 1 %-ним содовим

розчином за продуктивності обробки $200 \text{ мм}^3/\text{хв}$. В процесі досліджень розглядали чотири етапи обробки (рис. 13):

– після тривалого шліфування зафіксована чітка хвиля на робочій поверхні круга (1);

– після шліфування кругом з правкою з 20-ма проходами олівця без виходжування встановлено, що хвиля на поверхні круга залишається (2), хоча висота її гребеня починає знижуватися;

– після шліфування кругом з правкою з 20-ма проходами олівця і виходжуванням без подачі на глибину протягом 10 хв мала місце невелика хвиля на поверхні круга (3);

– після шліфування кругом з правкою з 20-ма проходами олівця і виходжуванням протягом 2 хв хвиля на поверхні круга практично зникає (4).

Тим самим показано, як змінюються параметри шорсткості поверхні, обробленої таким кругом, у разі зміни робочій поверхні круга (див. рис. 13), а також особливості зміни параметрів шорсткості поверхні, що піддавали обробці, зі зміною етапів правки робочої поверхні круга.

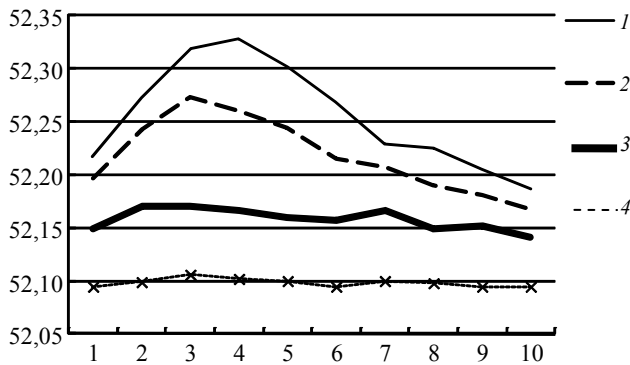


Рис. 13. Хвильовий профіль круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) вздовж робочої поверхні за різними умовами правки круга [12]; 1 – вихідний після шліфування, 2–4 – після правлення.

На робочій поверхні круга є хвиля і параметри шорсткості визначаються в першу чергу алмазними зернами, які знаходяться на вершині хвилі. Тому, для суттєвої зміни параметрів шорсткості необхідно спочатку пригасити хвилю на поверхні круга, і лише далі почне суттєво знижуватися виступання алмазів. Як наслідок, змінюється крок нерівностей і опорна крива профілю обробленої поверхні. Правка знижує висотні параметри хвилі – легка правка спричиняє слабкий вплив, а більш тривала правка, яка сприяє видаленню хвилі, суттєво їх знижує. Зазвичай збільшення параметра Ra супроводжується підвищенням кроку нерівностей (див. рис. 5, 7 і 14, пряма 1), але у випадку, що розглядали, ситуація складається зовсім навпаки – видалення хвильового профілю в коловому напрямку на робочій поверхні круга веде не тільки до зниження висотних параметрів, але і до збільшення кроку нерівностей (рис. 14, пряма 2).

Наведене вище свідчить про те, що для отримання спрямовано зменшеного кроку нерівностей за збільшеного висотного параметра Ra необхідно впливати саме на хвильову формозміну робочої поверхні круга у коловому напрямку. Крім того, існує інший, опосередкований, фактор, який також повторюється за відсутності формозміни (див. рис. 10). Вище було показано, що за збільшеного зносу робочого шару круга із суміші компактів і алмазних зерен через їх пошаровий знос формуються мікронерівності обробленої пове-

рхні зі своєрідними “масляними кишнями” (див. рис. 3) Тому і в даному випадку за пригатованої хвильової формозміни повинен виникнути такий же ефект, як на рис. 15 для стану поверхні круга, що відповідає поз. 4 на рис. 13.

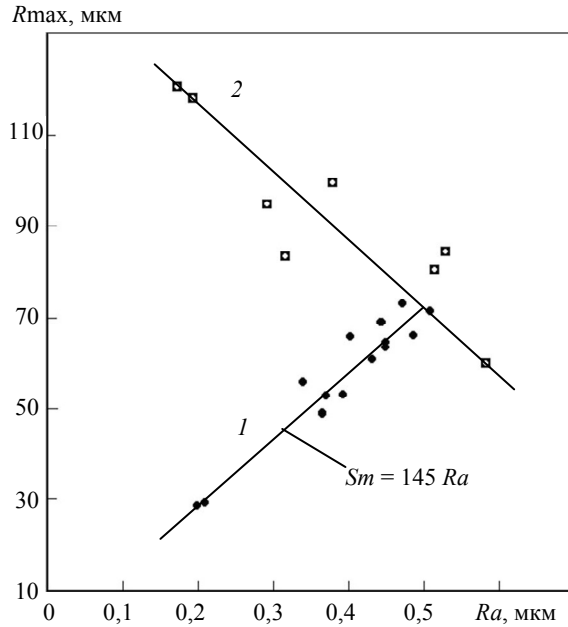


Рис. 14. Приклад кореляційного зв'язку між параметрами шорсткості обробленої поверхні зразка з твердого сплаву: Sm та Ra : 1 – шліфування алмазним кругом зі сталим хвилеподібним профілем ріжучої поверхні; 2 – шліфування алмазним кругом із правкою за послідовного переходу від поз. 1 до поз. 4 (див. рис. 13).

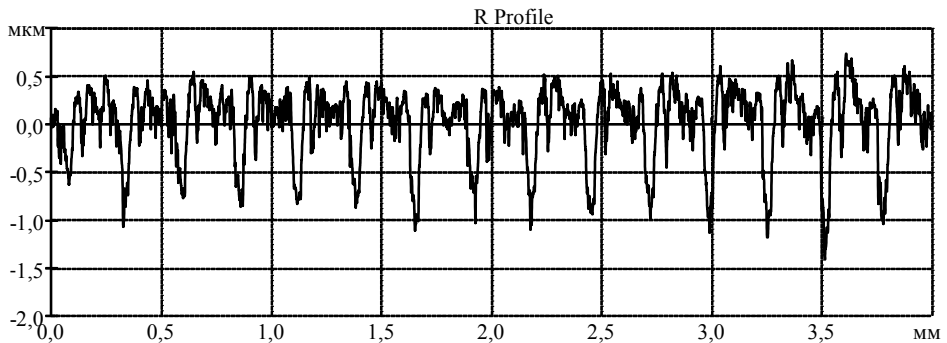


Рис. 15. Профілограма шорсткої поверхні, обробленої кругом після заключної правки, з відсутністю хвилі на поверхні круга (рис. 13, поз. 4).

Тобто, характер профілограми обробленої поверхні після пригамування хвилі на робочій поверхні круга змінюється – формується поверхня з “масляними кишнями”. Це свідчить про те, що відсутність хвилі на поверхні круга обумовлює принципові зміни як параметрів нерівностей, так й їх розподілу на обробленій поверхні.

ВИСНОВКИ

Аналіз параметрів нерівностей оброблених поверхонь для різних випадків сполучення абразивів у робочому шарі шліфувальних кругів засвідчив, що

під час шліфування швидкорізальних сталей відношення R_{max}/Ra знаходиться у діапазоні від 7,5 до 10, а середній показник складає 8,5. Водночас різні суміші абразивів окремо не виділяються, а знаходяться у загальній сукупності.

Якщо забезпечено задовільну ріжучу здатність робочої поверхні шліфувального круга з НТМ, то зі зростанням висотного параметра Ra підвищується і кроковий параметр Sm , а якщо зерна НТМ або їх суміш швидко зношуються і ріжуча здатність круга є через це незадовільною, то спостерігали іншу тенденцію: зі зростанням висотного параметра Ra не підвищується, а навпаки – знижується кроковий параметр Sm . Аналогічний результат можна отримати за примусового пригамовування хвильової формозміни робочої поверхні круга.

За умов одночасного застосування в кругах сумішей зерен компактів і стандартних зерен НТМ можна істотно змінити співвідношення показників шорсткості Sm і Ra .

Аналогічно, за умови застосування в шліфувальних кругах шліфпорошків НТМ із модифікованою хлоридами поверхнею зерен, можна також змінити для обробленої поверхні значення співвідношення показників Sm/Ra і R_{max}/Ra , хоча і з деякими відхиленнями від узагальнених даних.

Наведені дослідження дозволяють виявити шляхи спрямованого формування необхідного мікрорельєфу обробленої поверхні введенням різних абразивів в абразивмісний робочий шар шліфувальних кругів для торцевого шліфування, або різною модифікацією поверхні шліфпорошків зерен НТМ.

V. I. Lavrinenko¹, O. O. Pasichnyi¹, V. G. Poltoratskyi¹,
V. Yu. Solod², V. L. Dobroskok³, E. V. Ostroverkh³

¹Bakul Institute for Superhard Materials,

National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²Dniprovsk State Technical University, Kamianske, Ukraine

³National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute,
Kharkiv, Ukraine

Features of connection between parameters of roughness
of the processed surface at grinding by wheels from a mix
of grinding powders of SHM with the modified surface of grains

Peculiarities of the relationship between the main height parameters of roughness R_{max} and Ra , as well as between the step Sm and the height parameter Ra in face grinding with wheels with SHM are described. The conditions when there was a deviation from the established ratios R_{max} and Ra and Sm and Ra were studied. It is shown that the first ratio is almost not affected by the change in the grain composition of the working layer of the wheel, but in the second case it depends on the presence of a mixture of SHM grains in the working layer or the presence of surface modification. It was found that, under standard conditions, the average step of Sm inequalities increases with increasing Ra parameter in all investigated cases. The conditions of forced influence on the cutting layer of the wheel are given, when it is possible to achieve not a traditional increase, but a decrease in the step of inequalities Sm with increasing parameter Ra .

Keyword: surface roughness, roughness parameters, grinding powders of superhard materials, modified grain surface.

1. Захаренко И.П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента. Киев: Наук. думка, 1981. 300 с.
2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / под общ. ред. Ф.В. Новикова, А.В. Якимова. В 10 т. Т. 6. Качество обработки деталей машин. Одесса: ОНПУ, 2003. 716 с.

3. Мазур М.П., Внуков Ю.Н., Доброскок В.Л., Залога В.О., Новосьолов Ю.К., Якубов Ф.Я. Основи теорії різання матеріалів. Львів: Новий Світ – 2000, 2011. 424 с.
4. Рыжов Э.В., Корж Н.Я. Влияние технологических факторов на параметры шероховатости при шлифовании кругами из сверхтвердых материалов // Микрогеометрия и эксплуатационные свойства машин. Рига: Зинатне, 1983. С. 5–10.
5. Лавріненко В.І., Новіков М.В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник / Під заг. ред. М.В. Новікова. Київ: ІНМ НАН України, 2013. 456 с.
6. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. Москва: Машиностроение, 1981. 244 с.
7. Лавріненко В.І. Шероховатість обробленої поверхності: закономірності формування і взаємозв'язок її параметрів при обробці інструментом із СТМ. *Сверхтв. материалы*. 2003. № 2. С. 58–67.
8. Филатов Ю.Д. Механизм образования микрорельефа поверхности при обработке стекла. *Сверхтв. материалы*. 1991. № 5. С. 61–65.
9. Лавріненко В.І., Ситник Б.В., Полторацький В.Г., Бочечка О.О., Солод В.Ю. Зернисті компакти на основі мікропорошків КНБ, отримані при низьких тисках, як функціональні елементи в структурі робочого шару алмазно-абразивного інструмента. Повідомлення 1. Зернисті компакти, як абразивні елементи. *Сверхтв. материалы*. 2014. № 3. С. 65–72.
10. Lavrinenko V.I., Solod V.Yu., Kashynskyi I.S., Dobroskok V.L. Determination of oxides intended for the surface modification of diamond grains by their functional characteristics. *J. Superhard Mater.* 2020. Vol. 42, no. 6. P. 417–422.
11. 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.
12. 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.

Надійшла до редакції 07.12.20

Після доопрацювання 15.01.21

Прийнята до опублікування 21.01.21