

Исследование процессов обработки

УДК 621.9:621.791

**В. І. Лавріненко, В. О. Скрябін, Б. В. Ситник,
В. В. Смоквина, І. В. Лещук, В. М. Ткач** (м. Київ)
С. С. Самотугін, В. О. Мазур, К. В. Кудінова (м. Маріуполь)

Дослідження впливу плазмової обробки на різальну поверхню шліфувальних кругів з надтвердих матеріалів

Подано дослідження з впливу плазмової обробки на різальну поверхню шліфувальних кругів з надтвердих матеріалів на полімерних та металічних зв'язках. Показано зміну твердості поверхні круга, що піддавали впливу плазмового струменя. Наведено дані з експлуатаційних показників шліфувального інструменту після плазмового впливу на поверхню круга.

***Ключові слова:** плазмова обробка, плівки, різальна поверхня, шліфувальний круг, елементний склад, твердість, зносостійкість.*

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

У багатьох випадках однією з причин зниження продуктивності обробки та якості оброблюваної поверхні при шліфуванні кругами з надтвердих матеріалів (НТМ) різних важкооброблюваних матеріалів є погіршення, а подекуди і втрата різальної здатності робочої поверхні круга. Для подолання такого недоліку, а відтак поновлення різальної здатності, застосовують фізичні методи впливу на різальну поверхню круга — електроерозійний, абразивний, електрохімічний та ін. Кожен з цих методів має певні обмеження, наприклад, треба мати електропровідну зв'язку, тощо. Між тим, бажано мати такий метод впливу на робочу поверхню круга, який, нарівні з відомими фізичними впливами на поновлення різальної здатності, дозволяв би вносити додаткові позитивні зміни в поверхневий шар, наприклад, сприяв формуванню необхідних плівок або підвищенню фізичних властивостей цього шару. Одним з таких методів є плазмовий вплив, який знайшов застосування для ефективної обробки різних інструментальних матеріалів [1]. Певні спроби в напрямку впливу плазмових технологій на алмазний інструмент представлено в [2]. Разом з тим, дослідження особливостей плазмового впливу на робочу поверхню шліфувальних кругів з НТМ не проводили і в літературі відсутні такі дані.

Плазмова поверхнева обробка (ППО) характеризується високими значеннями потужності та питомим тепловим потоком [1].

© В. І. ЛАВРІНЕНКО, В. О. СКРЯБІН, Б. В. СИТНИК, В. В. СМОКВИНА, І. В. ЛЕЩУК, В. М. ТКАЧ,
С. С. САМОТУГІН, В. О. МАЗУР, К. В. КУДІНОВА, 2010

Метою даної роботи було дослідження впливу плазмової обробки різної інтенсивності на різальну поверхню шліфувальних кругів з НТМ на полімерних і металічних зв'язуючих та визначення зміни в елементному складі, фізичних властивостях та експлуатаційних показниках інструментального композита.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Вибір раціональних параметрів режимів плазмової обробки робочого шару кругів з НТМ виконували за розрахунковою методикою [1] з подальшою експериментальною перевіркою. Основними керованими параметрами були потужність плазмового струменя Q (яка визначається величинами струму I та напругою U плазмового струменя) та швидкість переміщення плазмотрона v . Вказані параметри змінювали у наступних межах: $Q = 12\text{—}18$ кВт, $v = 16\text{—}90$ см/хв. Попередньо відібрали низку шліфувальних кругів з НТМ форми 12A2-45° 125×5×3×32 трьох різних характеристик: КО 160/125 100 В2-08, КР 400/315 125 В2-08, АС6 125/100 100 М2-01, а також круг форми 12A2-45° 125×10×3×32 В4С 125/100 150 М020-2. Це дозволило охопити полімерні і металічні зв'язуючі, кубоніт (КО, КР), алмаз АС6, подрібнену кераміку В4С як абразивний матеріал, різну відносну концентрацію НТМ у робочому шарі — 100, 125 та 150, а також різну зернистість — 125/100, 160/125 та 400/315. Плазмовій обробці піддавали робочий шар кругів на відповідних режимах струму та швидкостях руху струменя, що дозволяло мати необхідний температурний вплив. Визначення кількісного елементного складу поверхонь до і після плазмової обробки виконували за допомогою растрового електронного мікроскопа “Zeiss Evo 50XVP” (Німеччина), укомплектованого енергодисперсним аналізатором рентгенівських спектрів “Inca Energy 450” (Велика Британія). Дослідження стану робочої поверхні проводили також з використанням оптичного стереоскопічного мікроскопа моделі XS-6220 компанії “Ningbo Shengheng” та спеціальної цифрової камери, яка була вмонтована в окуляр мікроскопа, мод. DCM-500. На поверхню кругів поперек різальної частини впливали потужностями плазмового струменя 12 та 18 кВт при швидкості обробки 62,5—90 см/хв для кругів на полімерних зв'язуючих, та 16—83,3 см/хв для кругів на металічних зв'язуючих.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дослідження цілком прогнозовано засвідчили, що найбільш вразливими для плазмової обробки є круги на полімерних зв'язуючих, в яких хоч і спостерігається розкриття зерен, але мають місце поверхневі структурні зміни у вигляді вигорання верхнього робочого шару та утворення тріщин на робочій поверхні (рис. 1, а). Виявлено, що для полімерних зв'язуючих, аби не впливати негативно на робочу поверхню круга, необхідно струм плазмового струменя тримати меншим (150 А), а швидкість плазмової обробки підвищувати. У тому випадку, коли є нагальна потреба активно вплинути на робочу поверхню, необхідно струм тримати таким же невеликим, а швидкість переміщення плазмового струменя зменшити. Загалом, для полімерних зв'язуючих шліфувальних кругів з НТМ основним висновком по регулюванню дії плазмового впливу є наступне: струм треба тримати невеликим, а регулювати інтенсивність впливу швидкістю переміщення. У такому випадку можна досягти необхідного ефекту розкриття зерен без негативного впливу утворення тріщин (див. рис. 1, б). Крім того при плазмовій обробці також є можливим утворення покриття як на зернах НТМ (рис. 2, а), так і на

зв'язуючому (рис. 2, б), що може змінити при шліфуванні контактні процеси в зоні обробки.

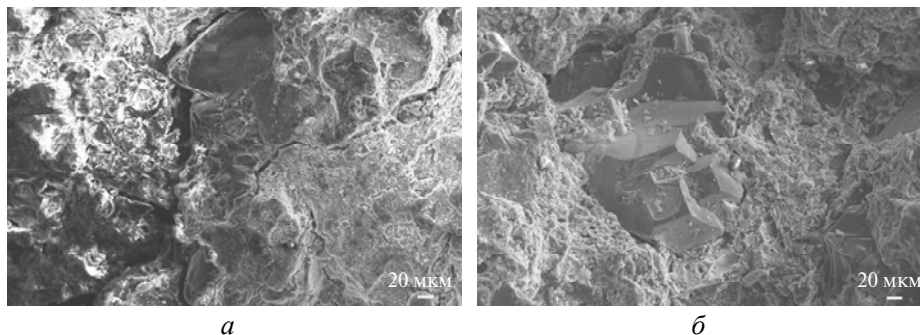


Рис. 1. Стан різальної поверхні круга на полімерній зв'язці В2-08 після інтенсивного ($Q = 18$ кВт, $v = 25$ см/хв) (а) та помірного ($Q = 12$ кВт, $v = 25$ см/хв) плазмового впливу.

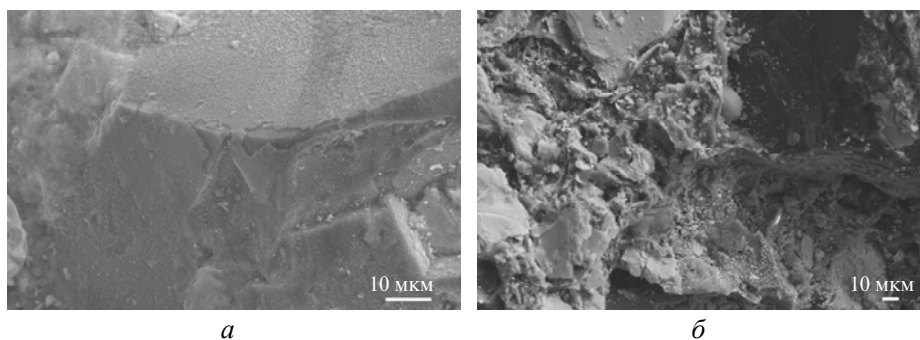


Рис. 2. Формування плівок після плазмового впливу на зерні кубоніту (а) та зв'язці В2-08 (б).

Для металічних зв'язуючих також мають місце поверхневі структурні зміни в місцях інтенсивного впливу плазмового струменя, що призводить до плавлення зв'язки (рис. 3). Виявлено, що для металічних зв'язуючих, щоб не вносити негативних впливів на робочу поверхню круга, необхідно, анало-

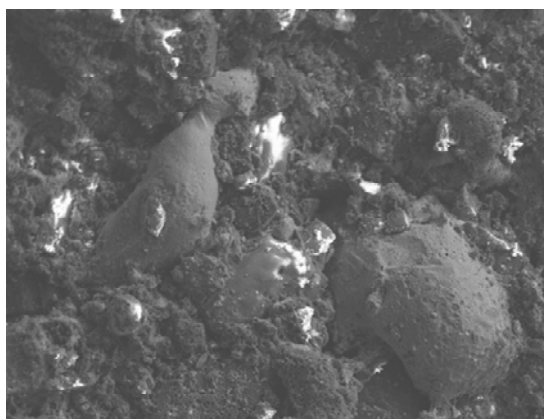


Рис. 3. Ділянки з кульками плавлення на різальній поверхні круга на металічній зв'язці MO20-2 після інтенсивного ($Q = 18$ кВт, $v = 25$ см/хв) плазмового впливу.

гічно полімерним зв'язкам, струм тримати меншим, а швидкість переміщення плазмового струменя підвищувати. У випадку, коли необхідно досягти підвищеного впливу, наприклад, для таких зв'язок як М2-01, струм треба підвищувати, а швидкість зменшувати. Таким чином, на металічних зв'язуючих регуляторах інтенсивності плазмового впливу виступають обидва фактора. Це надає можливість досягти необхідного ефекту розкриття зерен абразиву без негативного впливу утворення тріщин (див. рис. 1, б) на зв'язуючому. У цьому випадку також є можливим утворення покриття як на зернах НТМ (рис. 4, а), так і на зв'язуючому (рис. 4, б).

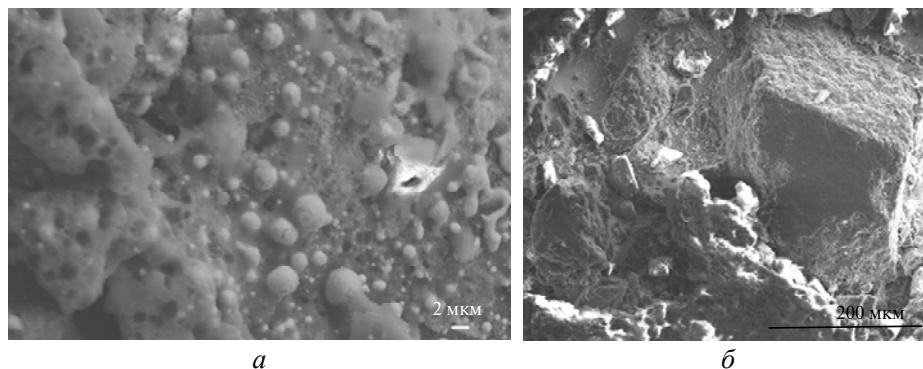


Рис. 4. Формування плівок після плазмового впливу на зв'язці MO20-2 (а) та абразивному зерні В₄С (б).

Аналіз елементного складу плівок, що виникають на абразивних зернах та зв'язці в зоні плазмового впливу (див. рис. 4), засвідчив наступне. В них досить багато кисню, причому на зернах його фіксується більше — від 26,7 до 33,6 % (за масою), на зв'язуючому менше — від 16,9 до 25,0 % (за масою). Дещо інший і розподіл елементів зв'язуючого, що входить до складу плівок. Якщо для вихідної суміші зв'язки MO20-2 співвідношення між основними складовими зв'язки Cu:Sn:Sb складає 8,75:2:1, то на абразивних зернах це співвідношення — 5:2:1. Тут спостерігається знижена кількість міді. На поверхні зв'язуючого вказане співвідношення має вигляд — 8,95:3,78:1 — майже вдвічі, а фактично в 1,79 разів, кількість олова в плівці перевищує вихідну у суміші.

На такий перерозподіл елементного складу зв'язки вказують і дослідження по перерізу зв'язки в лунці дії плазмового струменя (рис. 5). Так, в глибині зв'язуючого (див. рис. 5, спектр 2) співвідношення між міддю та оловом складає 4, а на поверхні лунки воно дорівнює 2,88 (див. рис. 5, спектр 3) та 1,28 (див. рис. 5, спектр 4). Це свідчить, що після плазмового впливу в поверхневому шарі зв'язки олова стає більше. Такий перерозподіл є характерним для потужного плазмового впливу і спричиняє зміну твердості робочого шару круга. Так, при відсутності плазмового впливу твердість робочої поверхні круга на зв'язці MO20-2 складає 99 HRB, по краях лунки потужного плазмового впливу — 95—97 HRB, а в центрі лунки — 93 HRB.

Разом з тим плазмовий вплив різної інтенсивності може призводити не тільки до зменшення твердості робочої поверхні круга, але і до її підвищення, коли відбувається лише частковий перерозподіл легкоплавкої складової зв'язуючого внаслідок теплового впливу плазмового струменя. На ефективність такого часткового перерозподілу для зміцнення металічної зв'язки на-

званої вище системи Cu—Sn—Sb вказано в [3], де було відзначено, що твердість може зрости від 92—93 до 102—114 *HRB*.

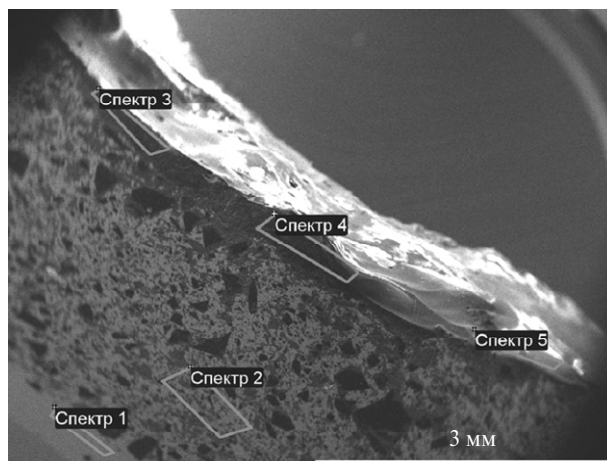


Рис. 5. Структура перерізу робочого шару круга на зв'язці MO20-2 в зоні утворення лунки від дії потужного плазмового струменя ($Q = 18$ кВт, $v = 25$ см/хв).

Дослідження по виявленню зміцнюючої дії плазмового струменя (по підвищенню твердості робочого шару круга на металічній зв'язці MO20-2), проведені при різних потужностях струменя (сила струму 150 та 200 А) і різних швидкостях його переміщення вздовж робочої поверхні круга (від 16 до 50 см/хв) виявили (рис. 6), що в цілому спостерігається загальна тенденція підвищення твердості робочого шару круга, але з підвищенням швидкості переміщення твердість знижується. При цьому, на струмі 200 А збільшення швидкості переміщення за 30 см/хв фактично призводить до знеміцнення робочого шару. Тим самим показано, що спрямованість плазмової обробки на зміну робочої поверхні круга — зміцнення робочого шару та створення на ньому необхідних функціональних плівок чи на переважне забезпечення достатнього виступання зерен та підвищення різальної здатності шляхом зміцнення робочого шару можна регулювати потужністю плазмового впливу.

Наведені вище дослідження та висновки з них дозволяють зробити припущення, що плазмовий вплив на різальну поверхню круга внаслідок викладених вище ефектів — зміни елементного складу поверхні зв'язки та зерен, а також зростання твердості робочого шару, може підвищити експлуатаційні показники шліфувальних кругів. Дослідження процесу шліфування алмазним кругом 12A2-45° 125×5×3×32 AC6 125/100 100 M2-01 твердого сплаву ВК6 з охолодженням після різних методів впливу на різальну поверхню круга проводили на дослідницькому стенді, створеному на базі модернізованого універсально-заточувального верстата мод. 3В642. Характеристики попереднього впливу на різальну поверхню круга та результати досліджень експлуатаційних показників шліфувального круга наведено в таблиці.

Аналіз даних таблиці свідчить про те, що попередній плазмовий вплив невеликої потужності дозволяє в порівнянні з механічним абразивним впливом підвищити зносостійкість круга в 1,4 рази. Необхідно також вказати на те, що після плазмового впливу відбувається більш "м'яке" різання кругом. У певній мірі, на погляд авторів, це пов'язано з утворенням плівок на поверхні круга, на було вказано вище. Для перевірки цього припущення було вирізано невеликі сегменти круга після плазмового впливу. Поверхня алмазних зерен міс-

тила 2,0—5,3 % (за масою) кисню та 0,5—1,2 % (за масою) міді. Тобто, мало місце невелике окиснення алмазного зерна — оксидна плівка міді на ньому. На зв'язуючому кисню було значно більше — від 9,1 до 20,9 % (за масою). Таким чином, ймовірна наявність на поверхні зв'язки Cu_2O , який характеризується малим ($f = 0,12$) коефіцієнтом тертя і дозволяє досягти “м'якого” різання таким кругом.

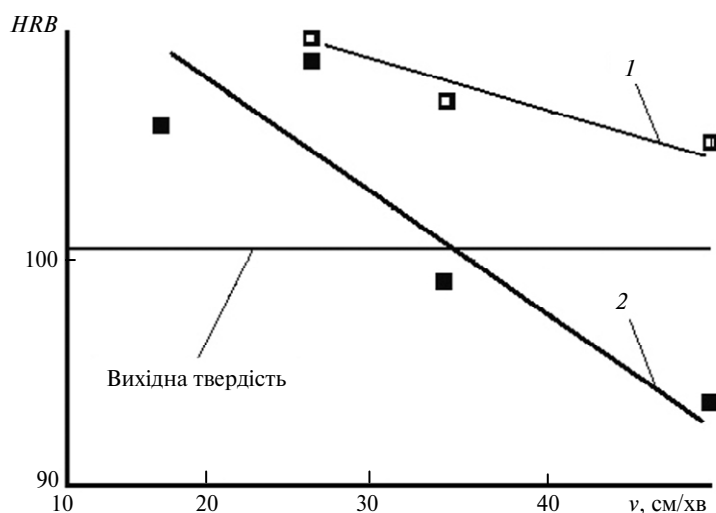


Рис. 6. Залежність твердості робочого шару круга на зв'язці МО20-2 після впливу плазмового струменя від швидкості його переміщення при силі струму 150 (1) і 200 (2) А.

Експлуатаційні показники круга 12A2-45° 125×5×3×32 AC6 125/100 100 M2-01 при шліфуванні з охолодженням твердого сплаву ВК6 з різними умовами впливу на різальну поверхню круга (продуктивність обробки — 100 мм³/хв)

Вплив на різальну поверхню круга	Експлуатаційні показники	
	ефективна потужність шліфування, кВт	відносні витрати алмазів, мг/г
Механічний — попереднє правлення різальної поверхні круга вільним абразивом	0,05	1,20
Електроерозійний ($U = 30$ В, $I = 2$ А)	0,05	1,97
Плазмовий — попереднє правлення різальної поверхні круга плазмовим струменем ($I = 150$ А, $v_{пер} = 25$ см/хв)	0,05	0,87

Проведені дослідження впливу плазмової обробки на різальну поверхню кругів з НТМ дозволяють зробити наступний висновок — для досягнення позитивного впливу на експлуатаційні показники шліфувального інструменту в процесі шліфування необхідно прагнути до отримання не одиничного (у випадку радіального впливу на зв'язку), а сумарного ефекту (у випадку кругового впливу на зв'язку), якого тільки і можна досягти плазмовим струменем, а саме: розкриття зерен, зміни елементного складу зв'язуючого та отримання необхідних антифрикційних плівок на поверхні круга, а також зміцнення робочого шару круга.

Представлено исследование влияния плазменной обработки на режущую поверхность шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов на полимерных и металлических связках. Исследовано изменение твердости поверхности круга, на который воздействовал плазменный луч. Приведены данные по эксплуатационным показателям шлифовального инструмента после плазменной обработки поверхности круга.

Ключевые слова: плазменная обработка, пленки, режущая поверхность, шлифовальный круг, элементный состав, твердость, износостойкость.

The paper addresses the effect of plasma treatment on the working surface of polymer- and metal-bonded superabrasive grinding wheels. The investigation has shown a change in hardness of the wheel surface treated with a plasma jet. The paper provides some data on the performance of plasma-treated grinding tools.

Keywords: plasma treatment, films, working surface, grinding wheel, elemental composition, hardness, wear-resistance.

1. *Самотугин С. С., Лецинский Л. К.* Плазменное упрочнение инструментальных материалов. — Донецк: Новый мир, 2002. — 338 с.
2. *Лавриненко В. И., Шейко М. Н., Дабижа Е. В. и др.* Влияние ионно-плазменных покрытий на эксплуатационные свойства алмазного правящего инструмента // Сверхтв. материалы. — 2008. — № 6. — С. 73—80.
3. *Лавріненко В. І.* Наукові основи шліфування інструментальних матеріалів із спрямованою зміною характеристик контактних поверхонь: Автореф. ... докт. техн. наук — Київ, 2000. — 35 с.

Ін-т надтвердих матеріалів
ім. В. М. Бакуля НАН України
Приазовський державний технічний ун-т

Надійшла 02.06.10