

Исследование процессов обработки

УДК 621.9: 621.923

В. І. Лавріненко (м. Київ)

Структурно змінений поверхневий шар контактних поверхонь круга з НТМ та виробу, що піддається обробці, як чинник підвищення їх зносостійкості (плівкова складова)

Досліджено утворення структурно зміненого поверхневого шару контактних поверхонь круга з надтвердих матеріалів та виробу, що обробляють, під впливом електрофізичних методів обробки. Показано, що утворення плівок на цих поверхнях змінює як їх електрофізичні, так і триботехнічні характеристики, і створює умови для підвищення зносостійкості контактних поверхонь.

Ключові слова: *електродні плівки, структурно змінений поверхневий шар, триботехнічні характеристики, контактна поверхня, зносостійкість.*

Аналіз літератури, інформації з виставок, конференцій (наприклад, [1, 2]) та даних Інтернету свідчить про те, що на нинішній час у світовому виробництві велику увагу приділяють застосуванню комбінованих методів обробки надтвердих матеріалів (НТМ), коли разом із механічною обробкою використовують електрофізичну. Багато досліджень також пов'язано зі забезпеченням умов енергоекономної обробки, коли додаткова енергія спрямована виключно на досягнення максимального позитивного результату без побічних негативних явищ, таких як підвищений знос високовартісних шліфувальних кругів з НТМ, виникнення тріщин та відколів на оброблюваному виробі, неекологічність обробки.

В Україні дослідження комбінованої електрофізичної обробки матеріалів практично не проводять, хоча існує проблема продуктивної і якісної обробки важкооброблюваних металів і сплавів, серед яких тверді сплави, складнолеговані швидкорізальні сталі та ін.

В [3] встановлено, що для досягнення ефективної обробки інструментальних та композиційних матеріалів, особливо тих, що містять в структурі карбіди металів титану, танталу, ванадію, необхідно при шліфуванні з додатковим електричним впливом в зоні обробки обирати такі параметри, щоб

негативна дія інтенсивних електрохімічних і електрофізичних процесів (поява тріщин та відколів) була виключена. Було показано, що за таких умов електрохімічні електродні процеси не викликають відчутного анодного розчинення, але їх дія цілком достатня для поляризації поверхонь матеріалу, що обробляють, і круга (анода і катода), формування на них плівок і, тим самим, зміни електрофізичних та триботехнічних умов контакту поверхонь.

Метою даної роботи було дослідження особливостей формування електродних (анодних і катодних) плівок*, зміна характеристик електроконтактних поверхонь та виявлення можливості отримання подібної зміни без підведення напруги до зони обробки.

Анодні та катодні плівки, що утворюються при електрошліфуванні, впливають на працездатність кругів з НТМ, оскільки змінюють умови фрикційного контакту з виробом. Так, наприклад, якщо кругом з кубоніту на металічній зв'язці М1-10, що працює у режимі самозагострювання, шліфувати з охолодженням електролітом швидкорізальну сталь, то при продуктивності 1000 мм³/хв ефективна потужність шліфування дорівнює 1,6 кВт. При підведенні напруги до зони різання потужність стрибкоподібно підіймається до 2,0 кВт. При відключенні напруги потужність шліфування поступово знижується, проходить вихідний рівень і досягає 1,4 кВт, а через деякий час повертається до вихідного рівня.

Такі зміни потужності можна пояснити наступним. При підведенні напруги ("плюс" на деталь і "мінус" на круг) практично миттєво утворюються плівки: на поверхні деталі – анодні, а на поверхні зв'язки круга – катодні. Потужність шліфування стрибкоподібно підвищується. При відключенні напруги анодні плівки зношуються дуже швидко, а катодні – повільніше, тому потужність знижується поступово. Електричні розряди при наявності потенціалу сприяють більш ефективному розкриттю робочої поверхні круга, тому потужність після відключення напруги повертається не до вихідного стану, а стає меншою. З часом різальна поверхня круга припрацьовується, катодна плівка остаточно зношується і потужність повертається до початкового значення. Таким чином, для зниження енергоємності процесу і зменшення зносу кругів важливим є виявлення здатності катодних плівок чинити опір абразивному впливу шламу та зношуванню у процесі тертя круга з виробом, що піддається обробці.

Для виявлення особливостей формування елементного складу катодних плівок проводили дослідження у спеціальній електрохімічній комірці [4]. У якості анодів використовували твердий сплав марки ТТ8К6, безвольфрамовий твердий сплав (БВТС) марки ТН20 і сталь марки Р6М5. Катодами були зразки з металічних зв'язок М2-01, МО13Е, МО20-2. Склад електроліту з рН = 4–10 був наступним: NaNO₃ – 50 г/л, NaNO₂ – 2 г/л. Встановлено, що катодна плівка має елементи усіх трьох складових, що знаходяться у міжелектродному проміжку: інструментального матеріалу (W, Ti, Co, Fe, Ni), електроліту (Na) та зв'язки круга (Cu, Sn, Al, Zn). Основними чинниками, що впливають на склад катодних плівок, є рН електроліту, матеріали катода і анода. Так, наприклад, при обробці твердого сплаву зі збільшенням рН зменшується вміст Со у плівці, але зростає вміст Cu. Крім того, на зв'язці МО13Е із підвищенням рН електроліту збільшується вміст Al в плівці і знижується Zn (табл. 1).

* Під катодними і анодними плівками автор розуміє структурно змінений поверхневий шар матеріалу зв'язки круга або деталі (з урахуванням масоперенесення у міжелектродному проміжку).

Таблиця 1. Склад катодних плівок, що формуються на поверхні зв'язки М2-01, у залежності від рН електроліту (анод – твердий сплав ТТ8К6)

Елемент	Вміст елементів, % (за масою)				
	Вихідна різальна поверхня	Плівка при рН електроліту			
		4	7	8	10
Cu	77,8	59,2	56,3	59,9	68,7
Sn	20,8	17,2	14,6	18,1	18,2
Na	–	2,4	4,5	4,5	2,6
W	–	1,4	3,1	1,8	1,1
Ti	–	0,6	0,5	1,0	0,6
Co	–	17,7	19,2	13,4	7,6

Матеріал аноду впливає на елементний склад катодних плівок у першу чергу за рахунок масоперенесення елементів аноду. Так, з твердих сплавів переважно переноситься Со, з БВТС – Ni, із швидкорізальних сталей – Fe. А матеріал катоду не тільки безпосередньо впливає на склад плівок, але також на масоперенесення елементів з аноду. Наприклад, плівка на зразку зі зв'язки М2-01 вміщує 19,2 % (за масою) Со, а зі зв'язки МО13Е – 15,7 % (за масою) Со. Ймовірно, це пов'язане з більш низьким від'ємним стаціонарним потенціалом на зв'язці МО13Е.

Поява плівок на різальній поверхні круга приводить до зміни характеру фрикційного контакту та величини коефіцієнту тертя. Так, при терті зразка зі зв'язки М2-01 по зразку зі сплаву ТН20 у випадку примусового формування на поверхні зв'язки анодних плівок (до круга подається “плюс” від джерела напруги) коефіцієнт тертя складає 0,06, а при примусовому формуванні катодних плівок (до круга подається “мінус”) – 0,045 (при відсутності плівок – 0,049). Це вказує на те, що для отримання кращого фрикційного контакту на різальній поверхні круга бажано формувати катодні плівки.

Окрім фрикційних характеристик для оцінки ефективності плівок на різальній поверхні круга важливо знати також їх здатність чинити опір зношуванню. Для цього на різальній поверхні круга 12А2-45° 150×10×3×32 ГА 100/80 100 С52 М1-01 формували протягом 30 хв анодну або катодну плівки і шліфували зразок зі сталі марки Р6М5 з охолодженням і без підведення напруги. З часом, через вплив абразивного шламу і наявність фрикційного контакту зв'язки круга зі сталлю, плівки зношувалися. Встановлено, що час існування катодної плівки на різальній поверхні круга більший, ніж анодної, катодні плівки більше знижують ефективну потужність шліфування і мають меншу кінцеву інтенсивність зносу (табл. 2). Найбільший опір зношуванню катодні плівки чинять за умов високих (30 м/с) швидкостей обертання круга. При такій швидкості катодні плівки протягом всього часу від їх формування до зношування знижують потужність шліфування (рис. 1), тоді як при швидкості 15 м/с спостерігається період перевищення початкової потужності.

На кривій залежності ефективної потужності від часу існування катодних плівок можна виділити два періоди (див. рис. 1), які можуть бути пов'язані з шаруватістю їх будови. У перший період (0–5 хв) зношується верхній шар, куди здебільшого входять продукти масоперенесення (див. табл. 1), у другий період (5–12 хв) – основна частина плівки. Як приклад шаруватості та різного елементного складу шарів катодних плівок наведемо дані для найбільш

стійкої до зношування катодної плівки, яка формувалася на катоді зі зв'язки М2-01, анодом була швидкорізальна сталь марки Р6М5 (табл. 3). Видно, що шари плівки досить суттєво різняться за складом, а отже, і за зносостійкістю.

Таблиця 2. Вплив електродних плівок на показники їх зношування

Різальна поверхня круга	Термін існування плівки, хв	Ефективна потужність шліфування, кВт		Кінцева інтенсивність зносу, $\text{Å}/\text{с}$
		початкова	кінцева	
Без плівки	–	0,9	0,9	317
		1,6	1,6	194
З анодною плівкою	7,5	1,8	0,9	432
	6,5	1,6	1,6	433
З катодною плівкою	12,5	0,7	0,9	352
	16,0	1,2	1,6	137

Примітка. У чисельнику наведені дані для швидкості круга 15 м/с, у знаменнику – для 30 м/с.

Таблиця 3. Склад катодної плівки на зв'язці М2-01 (анод – сталь Р6М5)

Плівка	Елемент, % (за масою)						
	Cu	Sn	Fe	W	V	Cr	Mo
Верхній аморфний шар	3,2	0,2	85,8	1,5	2,1	4,4	1,2
Нижній шар	58,5	14,2	24,5	0,7	–	–	1,1
Основа	79,8	20,2	–	–	–	–	–

Анодні плівки на різальній поверхні круга також дозволяють знизити ефективну потужність, але час їх існування після відключення напруги значно менший і інтенсивність зносу є більш високою. Крім того, специфіка формування анодних плівок неминуче призводить до певного анодного розчинення зв'язки, що підвищує знос круга.

Наведене вище дає можливість висунути положення, що катодні плівки, які формуються на різальній поверхні круга, не тільки змінюють умови електрофізичного контакту, а і є своєрідними захисними покриттями, які підвищують її здатність чинити опір зношуванню – абразивної дії шламу у процесі обробки. Це положення базується на тому, що катодні плівки тримаються на різальній поверхні круга більший час, ніж анодні, мають менший коефіцієнт тертя і сильніше знижують ефективну потужність шліфування, ніж поверхня круга без такої плівки. Таким чином, для підвищення зносостійкості зв'язок необхідно фор-

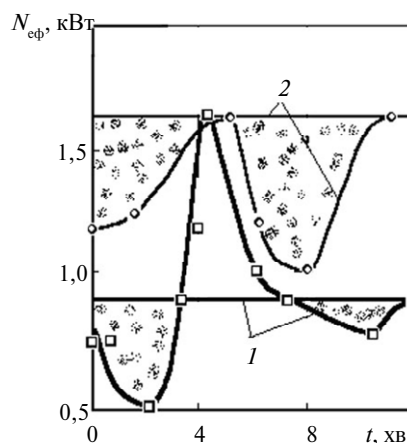


Рис. 1. Зміна ефективної потужності шліфування за час тертя при наявності на поверхні зв'язки катодної плівки; швидкість шліфування – 15 (1) і 30 (2) м/с.

мувати катодні плівки на різальній поверхні круга в умовах не тільки електрошліфування, але і без підведення напруги до зони обробки, що дозволить значно знизити енергоємність обробки.

У відсутності процесу електрохімічного шліфування, який сприяє утворенню описаних вище плівок, можна створювати плівки на крузі при підключенні додаткового електроду, але це призводить до певного ускладнення обладнання. Тому використовували неявну поляризацію, яка може виникати завдяки електрохімічній гетерогенності поверхні зв'язки і характерна для круга на зв'язках, що мають мідну матрицю та метали або неметали у вигляді включень, які відрізняються за своїми фізико-хімічними властивостями від металічної матриці. Це приводить до появи корозійних мікроелементів та посилення електрохімічної гетерогенності поверхні зв'язки. Як приклад, можна привести зв'язки, що мають основу Cu–Al–Zn з базовими елементами, які значно відрізняються між собою за стаціонарними електродними потенціалами. Поверхня таких зв'язок є хімічно неоднорідною і на ній утворюються мікроскопічні гальванічні елементи Cu–Al та Cu–Zn. Якщо ці метали знаходяться у водяному середовищі, наприклад при шліфуванні з охолодженням, то елементи є замкненими і виникає локальний струм, що прискорює анодне розчинення. Йони алюмінію потрапляють у розчин, де поєднуються з йонами гідроксилу: $Al - 3e^- \rightarrow Al^{3+}$, $Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3$, і алюміній швидко піддається корозії. Корозія Al, Zn та інших металів, що знаходяться у електрохімічному ряду напруг зліва від водню, зводиться, по суті, до витискування йонів водню з розчину і переходу самого металу у розчин у вигляді йонів. У контакті з менш активним металом цей процес різко прискорюється. Як наслідок, виникають сприятливі умови для появи на поверхні зв'язки плівок, близьких до катодних.

Для реалізації цього різальну поверхню круга на деякий час занурювали у електроліт, внаслідок чого утворювалася локальна безструмова комірка з проміжком 0,1 мм, у якої “катодом” є поверхня круга, а “анодом” – матеріал, що піддається обробці (твердий сплав). Було вивчено чотири варіанти поведінки матеріалів зв'язок при витримці протягом трьох годин у такій безструмовій комірці. Оскільки, як вказано вище, найбільш прийнятними для утворення електрохімічної комірки є зв'язки з основою Cu–Al–Zn, то експерименти проводили на зв'язці MO13E у середовищах з pH = 4, 7 та 11, а також для порівняння була використана зв'язка M2-01. Технологічною рідиною був базовий склад електроліту. Зі зростанням pH розчину вміст Al та Zn на поверхні круга знижується, а Cu, відповідно, зростає. Ці тенденції аналогічні тим, що проходять у електрохімічній комірці. Було встановлено, що необхідно застосовувати електроліт з pH = 11 та витримку не менше 3 год. За таких умов вміст Al (22,4 % (за масою)) на поверхні робочого шару круга зменшується на 4,3 % (за масою), майже як і у електрохімічній комірці (на 5,7 % (за масою)), що дозволяє отримати на поверхні круга плівки, близькі до електрохімічних. Але це можливе тільки на зв'язках з основою Cu–Al–Zn. На зв'язках з основою Cu–Sn такі процеси не відбуваються і плівка не утворюється навіть при витримці 21 год. Це засвідчив аналіз поверхні на мікроаналізаторі Samscan-4DW – елементний склад поверхні вихідний та після витримки 21 год був відповідно таким, % (за масою): Cu – 78,1 та 78,0, Sn – 21,5 та 21,0. Вміст Cu–Sn практично не змінився, хоча у спектрі поверхні, що витримували 21 год у воді, все ж з'явилися певні сліди твердого сплаву, що піддавався слабкому розчиненню. Причому на зв'язці MO13E було зареєстровано W, а такі елементи, як Ti та Co, були відсутні. Таким чином, тільки на різаль-

ній поверхні круга зі зв'язками з основою Cu–Al–Zn можливе створення умов формування квазікатодних пліткових утворень.

Розглянемо процеси, які відбуваються при електрошліфуванні на аноді. Як було зазначено вище, анодні процеси при електрошліфуванні необхідно розглядати не з точки зору отримання надвисоких показників анодного розчинення, а як анодну поляризацію, завдяки якій на поверхні електроду утворюються оксидні плівки і, тим самим, змінюються умови контактування електродів. З цієї точки зору наявність анодної плівки на оброблюваній поверхні є позитивною, оскільки зменшується електроерозійний вплив на поверхню. Причина останнього полягає у тому, що анодні плівки створюють достатньо великий перехідний електроопір, навіть до відсутності металічного контакту при малих зусиллях [5], а це знижує ерозію як при безпосередньому контакті зв'язки круга і матеріалу, так і при замиканні їх через стружку.

Але наявність анодної плівки є причиною певних негативних явищ. Згідно з традиційними уявленнями [6], при електричному ковзаючому контакті струмове навантаження можна розглядати як додатковий фактор дії на фрикційну систему (разом з механічним навантаженням, швидкістю обробки, температурою, проміжним середовищем та ін.), що приводить до зміни її шорсткості, властивостей плівок, тепловиділення у зоні тертя, структури і механічних властивостей приповерхневих шарів та ін., а це, у свою чергу, позначається на фрикційних характеристиках. Для контактних матеріалів, що змащуються самі, наприклад електроітотчних, збільшення струмового навантаження зменшує коефіцієнт тертя. При експлуатації електричних машин ці зміни настільки помітні, що у багатьох випадках мова йде про “змащуючу” дію електричного струму або про “змащування струмом”. Особливістю матеріалів, для яких спостерігається ефект змащування, є крихкість, а також відносно низькі (у порівнянні з металами) модуль та границя пружності. Основною причиною, що обумовлює такий ефект, вважають тепловий вплив електричного струму на поверхню матеріалу [6]. Оскільки в [3] прийнято положення, що електроконтактні процеси при електрошліфуванні слід розглядати не як безпосереднє пробиття проміжку, а як взаємодію ковзаючих електричних контактів, проаналізуємо можливість існування та застосування описаного ефекту “змащування” і вплив на нього електродних плівок.

Встановлено, що при електрошліфуванні кругами з НТМ коефіцієнт тертя залежить від напруги в зоні фрикційного контакту і матеріалу контактних поверхонь (рис. 2).

На кривій $k = f(U)$ (див. рис. 2) можна виділити чотири зони, де по-різному змінюється коефіцієнт тертя: зменшується, повертається до вихідних значень, знову збільшується, має постійне значення.

Перша та друга зони характеризують ефект “змащування” струмом,

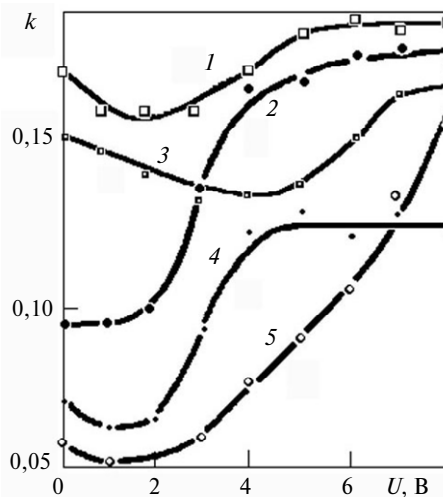


Рис. 2. Залежність коефіцієнта тертя від напруги технологічного струму у зоні контакту сплаву марки ТН20 з полімерною зв'язкою ВСЕ (1), БВТС з металічною зв'язкою (2), сталі марки Р6М5 з металічною зв'язкою МО20-2 (3), сплавів марки Т15К6 (4) та ВК8 (5) з металічними зв'язками.

коли коефіцієнт тертя менший вихідного, що підтверджує припущення авто-ра. Як видно на рис. 2, це відбувається у діапазоні напруг 0–6 В (в залежності від матеріалу контактної поверхні). Більш чітко ефект “змащування” струмом проявляється у матеріалів, які мають різні значення модуля пружності – металополімерної зв’язки і металічної або сталі Р6М5 і твердого сплаву. Для вольфрамових твердих сплавів, що мають найбільший модуль пружності, ефект “змащування” має місце, але в меншій мірі.

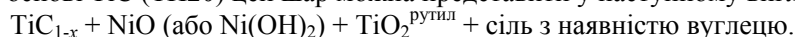
При електрошліфуванні інструментальних матеріалів кругами з НТМ “змащування” струмом спостерігається у діапазонах напруг, наведених в табл. 4.

Таблиця 4. Діапазон напруг при електрошліфуванні інструментальних матеріалів кругами з НТМ

Матеріал	Діапазон напруг, В	Напруга при найкращому “змащуванні”, В
Швидкорізальна сталь	0–6	4 В
Вольфрамовий твердий сплав	0–3	1 В
БВТС	0–2	1

Розглянемо третю зону на кривій $k = f(U)$ (див. рис. 2). Для всіх контактних поверхонь спостерігається підвищення коефіцієнту тертя, причому характерним є його різке збільшення як для БВТС (у 1,96 рази), так і для твердого сплаву марки Т15К6 (у 1,98 рази). Для твердого сплаву ВК8 коефіцієнт тертя з підвищенням напруги зростає більш повільно (див. рис. 2, крива 5). Зростання коефіцієнту тертя із підвищенням напруги можна пояснити виникненням і функціонуванням анодних оксидних плівок [3]. Більш різке підвищення k для БВТС та Т15К6 пов’язано з особливостями будови анодних плівок на ТiС. Для БВТС характерним є і те, що одночасно із підвищенням коефіцієнта тертя та формуванням анодних плівок на оброблюваній поверхні виникають тріщини та виколки.

Для визначення сполук, що входять до складу анодної оксидної плівки, проведено дослідження на дифрактометрі ДРОН-3 (випромінення $\text{CuK}\alpha$). Встановлено, що шліфована без струму поверхня сплавів ТН20 та КНТ16 має сполуки $\text{TiC}_{0,97}$, Ni, TiO_2 (анатаз) та Mo_2C . При шліфуванні зі струмом у анодній плівці зареєстровано сполуки з $\text{TiC}_{0,7-0,9}$, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ni}_{\text{сліди}}$, рентгенограми також підтверджують наявність NH_4NO_2 . Таким чином, на поверхні сплаву ТН20 маємо своєрідний “шаровий піріг”. Формується верхній шар, який умовно названо “аморфним”, а під ним утворюється дефектний шар сплаву зі зниженим вмістом Ni і TiC_{1-x} в області його гомогенності, оскільки є умови витоку вуглецю з карбиду титану. Для сплаву на основі ТiС (ТН20) цей шар можна представити у наступному вигляді:



Наявність при електрошліфуванні ТiС в області гомогенності у поверхневому шарі при його фрикційній взаємодії зі зв’язкою круга призводить до появи тріщин та виколків внаслідок ослаблення його механічних характеристик. Так, мікротвердість $\text{TiC}_{0,96} - 31098 \pm 1668$ МПа, $\text{TiC}_{0,89} - 25408 \pm 1373$ МПа, $\text{TiC}_{0,79} - 25212 \pm 1177$ МПа, $\text{TiC}_{0,72} - 18933 \pm 1079$ МПа [7]. Таким чином, при електрошліфуванні на поверхні БВТС за рахунок анодних процесів утворюється своєрідний дефектний шар, що складається з анодної плівки і передзруйнованого шару з TiC_{1-x} та пітінгів від розчинення Ni. З од-

ного боку, така дефектність може бути позитивним фактором, оскільки полегшує процес різання, з іншого – мати негативний вплив, оскільки збільшується коефіцієнт тертя, а це може бути причиною руйнування поверхні зразка. Наведене свідчить про те, що анодних оксидних, як і власне оксидних плівок, слід уникати як на різальній поверхні круга, так і на поверхні, що піддається обробці, а катодні плівки або близькі до них на поверхні круга треба створювати – це позитивно впливає на контактні процеси в зоні обробки при шліфуванні. Для підтвердження цього автором було розглянуто можливості застосування плазмової обробки [6]. Встановлено, що при застосуванні плазмової обробки поверхні [8] також є можливим утворення покриття як на зернах НТМ (рис. 3, а), так і на зв'язуючому полімерному В2-08 (рис. 3, б) і металічному МО20-2 (рис. 4), що змінює контактні процеси в зоні обробки.

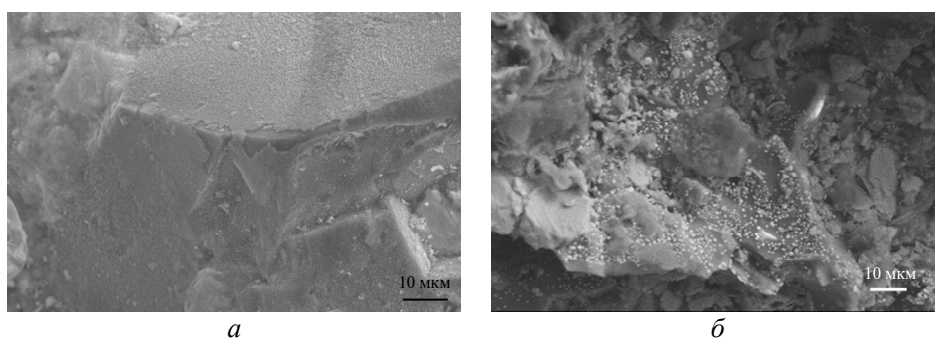


Рис. 3. Формування плівок після плазмового впливу на зерні з кубоніту (а) та зв'язці В2-08 (б).

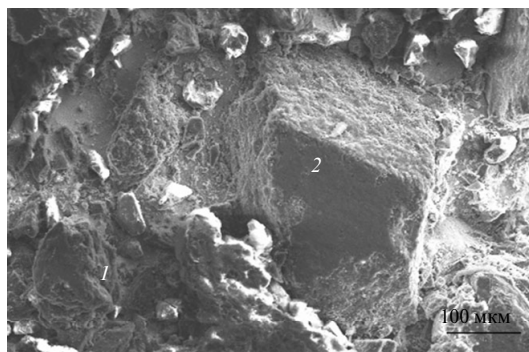


Рис. 4. Формування плівок після плазмового впливу на зв'язці МО20-2 (1) та абразивному зерні (2).

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 зафіксовано більше – від 26,7 до 33,6 % (за масою), а 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 МО20-2 співвідношення між основними складовими зв'язки $\text{Cu}:\text{Sn}:\text{Sb}$ – 8,75:2:1, то на абразивних зернах – 5:2:1 (спостерігаємо меншу кількість міді). На поверхні зв'язуючого вказане співвідношення наступне – 8,95:3,78:1, тобто кількість олова в плівці майже вдвічі (в 1,79 раза) більше, ніж у вихідній суміші зв'язки.

Виконані дослідження дозволяють зробити припущення, що плазмовий вплив на різальну поверхню круга внаслідок створення плівок зі змінним елементним складом поверхні зв'язки і зерен може підвищити зносостійкість шліфувальних кругів.

Дослідження процесу шліфування при продуктивності обробки $100 \text{ мм}^3/\text{хв}$ алмазним кругом 12A2-45° 125×5×3×32 AC6 125/100 100 M2-01 твердого сплаву ВК6 після різних методів впливу на різальну поверхню круга проводили на дослідницькому стенді, створеному на базі модернізованого універсально-заточувального верстату мод. ЗВ642. Встановлено, що після попереднього механічного впливу на різальну поверхню круга вільним абразивом відносні витрати алмазів склали 1,2 мг/г, після електроерозійного (при $U = 30 \text{ В}$, $I = 2 \text{ А}$) – 1,97 мг/г, а після плазмового (попередньої правки різальної поверхні круга плазмовим струменем при $I = 150 \text{ А}$, $v_{\text{пер}} = 25 \text{ см/хв}$) – 0,87 мг/г. Тобто попередній плазмовий вплив невеликої потужності дозволяє підвищити зносостійкість круга в 1,4 рази у порівнянні з механічною абразивною обробкою. Також після плазмового впливу відбувається більш “м'яке” різання кругом. Це може бути також наслідком утворення плівок на поверхні зв'язуючого і зерен круга.

ВИСНОВКИ

Створення на контактних поверхнях шліфувального круга та оброблюваного виробу структурно зміненого поверхневого шару (плівки) є суттєвим чинником впливу на їх експлуатаційні характеристики. Це є важливим висновком, оскільки таким процесам практично не приділяють уваги.

Виявлено, що наявність плівки на різальній поверхні круга – катодної, квазікатодної, плазмової є позитивним фактором, оскільки підвищується зносостійкість круга, а плівки на поверхні, що піддається обробці, насамперед анодні, можуть спричинити підвищення коефіцієнта тертя та, як наслідок, виникнення тріщин та виколочок, тому їх слід уникати.

При формуванні плівок відбуваються процеси зміни елементного складу поверхневого шару, і на це треба звертати увагу, як на окремий чинник підвищення зносостійкості контактних поверхонь круга і виробу, що обробляють.

Исследовано образование структурно измененного поверхностного слоя контактных поверхностей круга из сверхтвердых материалов и обрабатываемого изделия под воздействием электрофизических методов обработки. Показано, что образование пленок на этих поверхностях изменяет как их электрофизические, так и триботехнические характеристики, что позволяет найти условия повышения износостойкости контактных поверхностей.

Ключевые слова: электродные пленки, структурно измененный поверхностный слой, триботехнические характеристики, контактная поверхность, износостойкость.

The paper addresses the formation of a structurally changed surface layer of contact surfaces of a superabrasive wheel and a workpiece under the action of electrophysical machining methods. The formation of films on these surfaces is shown to alter their electrophysical properties and tribotechnical characteristics and provide conditions for improving wear resistance of the contact surfaces

Keywords: electrode films, structurally changed surface layer, tribotechnical characteristics, contact surfaces, wear resistance.

1. *Proceedings of the 1st International Industrial Diamond Conference “Diamond At Work”*, 20–21 October 2005, Barcelona, Spain, CD ROM, Copyright © 2005 Diamond At Work Ltd, www.diamondatwork.com.
2. *Proceedings of the 2nd International Industrial Diamond Conference “Diamond At Work”*, 19–20 April 2007, Rome, Italy, Flash card, Copyright © 2007 Diamond At Work Ltd, www.diamondatwork.com.
3. *Лавріненко В. І.* Наукові основи шліфування інструментальних матеріалів із спрямованою зміною характеристик контактних поверхонь: Автореф. ... докт. техн. наук. – Київ: ІНМ НАН України, 2000. – 35 с.
4. *Лавріненко В. І.* Катодные пленки при электрохимическом шлифовании кругами из СТМ // *Сверхтв. материалы.* – 1996. – № 2. – С. 56–61.
5. *Брук Э. С., Вайнер Я. В., Ковалева Р. Г.* Некоторые характеристики покрытий, применяемых для электрических контактов // *Электрические контакты.* – М.: Энергия, 1967. – С. 477–487.
6. *Кончиц В. В., Мешков В. В., Мышкин Н. К.* Триботехника электрических контактов. – Минск: Наука и техника, 1986. – 256 с.
7. *Самсонов Г. В., Виницкий И. М.* Тугоплавкие соединения. – М.: Металлургия, 1976. – 560 с.
8. *Лавріненко В. І., Скрябін В. О., Смоквина В. В. та ін.* Дослідження впливу плазмової обробки на різальну поверхню шліфувальних кругів з надтвердих матеріалів // *Сверхтв. материалы.* – 2010. – № 5. – С. 81–87.

Ін-т надтвердих матеріалів
ім. В. М. Бакуля НАН України

Надійшла 07.02.12