

УДК 621.923

В. І. Лавріненко, д-р техн. наук, **О. А. Дєвицький**; **І. В. Лещук**, канд. техн. наук,
В. М. Ткач, д-р фіз.-мат. наук

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

ЭФЕКТЫ, ШО СУПРОВОДЖУЮТЬ ПРОЦЕС ШЛІФУВАННЯ КРУГАМИ З НТМ З ВВЕДЕННЯМ ДОДАТКОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЗОНУ ОБРОБКИ

Досліджено ефекти, що виникають при шліфуванні з введенням додаткової електричної енергії в зону обробки, у вигляді формування плівок на поверхнях у зоні контакту та електрохімічної гетерогенності поверхні зв'язки кругів з НТМ. Досліджено процеси електрошліфування та оцінено роль електроерозії. Розглянуто кінетику катодних процесів, елементний склад і характеристики катодних плівок. Визначено склад, позитивну роль катодних плівок та можливість їх формування за умов неявної поляризації.

Ключові слова: *круги з НТМ, шліфування з введенням додаткової енергії в зону обробки, анодні та катодні процеси.*

Машинобудівна галузь повсякчас стикається з проблемами ефективної обробки, коли необхідно не лише підвищити продуктивність власне процесу обробки, а й отримати оброблену поверхню необхідної якості. У світовому виробництві важливе значення має застосування електрофізичної обробки як важливий чинник, що може застосовуватись у разі непридатності та неефективності традиційних методів механічної обробки. Можливим варіантом вирішення цієї проблеми є застосування комбінованих методів обробки, які базуються на тому, що разом з механічним впливом різання надтвердими матеріалами додається електрофізичний вплив [1].

Мета роботи – дослідити ефекти, що виникають у зоні шліфування при введенні додаткової електричної енергії в зону обробки.

Електричні розряди в міжелектродному проміжку (МЕП) формуються внаслідок як регульованого, так і нерегульованого його пробую [2]. Для досягнення першого в зоні шліфування збуджують розряди від джерела імпульсного технологічного струму (електроерозійне шліфування) – генератора ИТТ35 (частота – 50 Гц, амплітудна напруга – 5–10 В). При цьому характерно, що для переважного впливу розрядом на зв'язку кругів з НТМ застосовують підмикання позитивного полюса джерела струму до круга, а негативного – до виробу, який обробляють. У такому разі МЕП може заповнюватись будь-якою технологічною рідиною, найчастіше на водній основі. У другому випадку процеси електрошліфування є або електрохімічними (ЕХШ), або електроіскровими. Джерело струму становлять випрямлячі типу ВУ600/12 з випрямленим постійним струмом та напругою 0–12 В. При ЕХШ позитивний полюс джерела струму підмикають до деталі, а негативний – до інструменту [3]. При електроіскровому шліфуванні полюси підмикають зворотно, а як технологічну рідину застосовують слабкі електроліти, наприклад, содовий розчин.

Було детальніше досліджено особливості розглянутих процесів та оцінено роль при цьому електроерозії. У результаті досліджень встановили, що при глибинному шліфуванні сталі Р6М5 електроіскровий та електроерозійний методи незважаючи на різні чинники додаткової енергії, що надходить у зону обробки, забезпечують приблизно однакову працездатність кругів з КНБ на зв'язці М2-12Е, але порівняно з ЕХШ при їх використанні майже вдвічі збільшуються витрати КНБ. Причина підвищеного зносу робочого шару шліфувальних кругів полягає в інтенсивних електроерозійних (електроіскрових) розрядах, від термічного впливу яких руйнується зв'язка і відповідно послаблюється утримання

кубонітових зерен. Результати порівняння різних методів шліфування засвідчили, що при глибинному шліфуванні швидкорізальної сталі кругами з КНБ на металевій зв'язці найефективніше ЕХШ.

З метою оцінювання можливостей ефективного використання методу алмазно-електроерозійного шліфування здійснили порівняльні дослідження працездатності кругів при пружному способі шліфування на стенді, модернізованому для електрообробки. Використовували зразки з твердого сплаву ВК8 та сталі 45 розмірами 100×15×7 мм, БВТС марки ТН20 (100×18×6 мм) та швидкорізальної сталі Р6М5 (100×20×8 мм) за таких режимів шліфування: $V_K = 30$ м/с, частота осциляції столу – 70 подв.хід/хв. У результаті встановили, що електроерозійне шліфування значно підвищує продуктивність порівняно з ЕХШ (табл. 1). Характерно, що в разі застосування такого методу, на відміну від пружного ЕХШ, круги на зв'язках з основою Cu–Sn–Sb забезпечують вищу продуктивність порівняно з продуктивністю кругів на зв'язках з основою Cu–Al–Zn, проте підвищився знос кругів. Цей висновок поширюється також на обробку інструментів зі швидкорізальної сталі, оскільки в такому разі при пружному ЕЕШ продуктивність хоча й підвищується вдвічі, проте істотно (до 4 раз) підвищується знос круга порівняно зі зносом при використанні пружного ЕХШ. Виявили також, що в усіх випадках для ЕЕШ характерна наявність підвищеного зносу кругів з НТМ, що вкрай небажано з огляду на їх високу вартість. Принагідно зауважимо, що знос можна значною мірою регулювати шляхом зміни робочої напруги джерела імпульсного струму.

Таблиця 1. Вплив методів пружного шліфування інструментальних матеріалів на працездатність алмазних кругів (12А2-45⁰ 150×10×3×23)

Характеристика круга	Метод шліфування	Матеріал	U_p , В	P , МПа	I_T , А	Q , мм ³ /хв	q_p , мг/г
АС6 125/100М М2-12Е-100%	ЕХШ	ВК8+	6	1,08	200	250	0,59
	ЕЕШ	+Ст45	30	1,08	6–16	1200	3,50
АС6 125/100 М2-12Е-100%	ЕХШ	ВК8+	6	1,08	150	210	0,52
	ЕЕШ	+Ст45	30	1,08	4–6	1260	4,50
АС6 125/100М МО20-2-100%	ЕХШ	ВК8+	6	1,08	200	220	0,86
	ЕЕШ	+Ст45	30	1,08	4–8	1610	6,00
АС6 125/100М МО13Е-100%	ЕХШ	ВК8+	6	0,75	90	350	0,61
	ЕЕШ	+Ст45	30	0,75	4–10	1030	4,65
АС6 125/100М М2-12Е-100%	ЕЕШ	ТН20	35	1,47	2	270	2,40
	ЕЕШ	ТН20	35	1,47	2	185	7,36
КР 100/80С М2-12Е-100%	ЕХШ	Р6М5	8	0,80	80	368	1,05
	ЕЕШ	Р6М5	30	0,80	2–10	830	4,70

Водночас слід звернути увагу (див. табл. 1), що для БВТС навіть за умов ЕЕШ продуктивність пружного шліфування низька, а знос кругів доволі значний. Так, для круга з характеристикою АС6 125/100М–М2-12Е–100 при ЕХШ сплаву (ВК8+сталь 45) знос круга дорівнює 0,59 мг/г, а при ЕЕШ сплаву ТН20 за майже такої самої продуктивності – 2,4 мг/г, тобто в 4 рази значніший, хоча продуктивність невисока – 250–270 мм³/хв.

Отже, для інструментальних матеріалів щодо працездатності та зносостійкості кругів небажано застосовувати ЕЕШ через надлишкові негативні електророзряди. Аналогічні надлишкові електророзряди формуються при ЕХШ, але якщо в першому випадку надлишкові електророзряди відносно легко регулювати напругою, то у другому регулювати напругу складніше, оскільки значну роль починає відігравати анодна та катодна поляризація.

Для сталі Р6М5 встановлено, що обертання електроду не змінює стаціонарного потенціалу системи «анод (сталь Р6М5) – електроліт», а лише прискорює його стабілізацію. Як свідчить аналіз даних табл. 2, найнегативніше значення анодного стаціонарного потенціалу в електроліті з домішкою Na₂SO₄, а найменш негативне – з Na₂HPO₄. При цьому всі наведені домішки до базового електроліту (NaNO₃ – 5% + NaNO₂ – 0,5%), за винятком останньої, сприяють зміщенню Δφ_а у від’ємну область.

Таблиця 2. Стаціонарні потенціали системи «швидкорізальна сталь Р6М5 – електроліт» для різних складів електролітів

Електроліт	pH електроліту	Стаціонарний потенціал Δφ _а , В	Колір аноду
NaNO ₃ 5% NaNO ₂ 0,5% Na ₂ SO ₄ 3%	6,4	– 0,410	Чорний
NaNO ₃ 5% NaNO ₂ 0,5% Cr(NO ₃) ₃ 3%	4,1	– 0,280	Темний
NaNO ₃ 5% NaNO ₂ 0,5% Na ₂ CO ₃ 3%	10,2	– 0,270	Темний
NaNO ₃ 5% NaNO ₂ 0,5% Na ₃ PO ₄ 3%	11,2	– 0,240	Темний
NaNO ₃ 5% NaNO ₂ 0,5%	6,3	– 0,220	Сірий
NaNO ₃ 5% NaNO ₂ 0,5% Na ₂ HPO ₄ 3%	8,6	– 0,210	Чорний

У результаті досліджень виявлено, що на швидкість електролітичного виділення водню істотно впливає природа металу–катода. Стаціонарні або надлишкові потенціали, на які необхідно накласти негативний потенціал для забезпечення виділення водню з певною швидкістю, для різних катодів наведено в табл. 3. Як бачимо, найбільшою мірою це необхідно для алюмінієвих катодів і зв’язки МО13Е, що містить багато алюмінію, найменшою – для мідного катода. Із підвищенням кислотності електроліту напруга знижується.

Таблиця 3. Вплив матеріалу катода на його стаціонарні потенціали в електролітах

Матеріал катода	Стаціонарний потенціал катодів Δφ _к в електролітах	
	NaNO ₃ – 5 % NaNO ₂ – 0,5%	NaNO ₃ – 5% NaNO ₂ – 0,5% Cr(NO ₃) ₃ – 0,5%
	pH 7	pH 4
Алюміній	–0,841	–0,409
Зв’язка МО13Е	–0,556	–
Зв’язка М2-12Е	–0,353	–0,283
Залізо	–0,265	–
Мідь	–0,093	+0,013

Таким чином, для досягнення ефективної обробки зазначених інструментальних матеріалів необхідно застосовувати такий метод електрошліфування, який виключатиме негативну дію як інтенсивних електрохімічних, так і електрофізичних процесів. До того ж електрохімічних електродних процесів недостатньо за умов електрошліфування кругами з НТМ для досягнення відсутніх показників анодного розчинення, але цілком достатньо для

поляризації поверхонь аноду і катоду, формування на них плівок і, отже, зміни умов електрофізичного контактування електродів.

З огляду на викладене цілеспрямоване формування електродних плівок надзвичайно важливо, і цьому сприяють процеси електродної поляризації, що формують на поверхні електродів анодні та катодні плівки, і в такий спосіб змінюють умови електрофізичного контактування електродів [4]. Одним з чинників отримання наведених позитивних ефектів є катодний електродний процес. У цьому зв'язку для умов електрошліфування вивчали кінетику катодних процесів, елементний склад і характеристики катодних плівок. За рахунок введення в електроліт відповідних домішок і зміни рН електроліту можна знижувати або підвищувати інтенсивність катодних процесів і відповідно регулювати знос кругів при ЕХШ.

Доцільно зауважити, що анодні та катодні плівки, які виникають при електрошліфуванні, істотно впливають на працездатність кругів з НТМ, оскільки змінюють умови фрикційного контакту з виробом. Поява плівок на поверхні круга призводить до зміни характеру фрикційного контакту та коефіцієнта тертя. Так, при терті зв'язки М2-01 по сплаву ТН20 за примусового формування на поверхні зв'язки анодних плівок (до круга підводиться «+» від джерела струму) коефіцієнт тертя становить 0,06, при примусовому формуванні на поверхні зв'язки катодних плівок (до круга підводиться «-») він становить 0,045 (за відсутності плівок – 0,049). Це свідчить про те, що на поверхні круга бажано формувати катодні плівки виходячи з умов отримання кращого фрикційного контакту. Таким чином, катодні плівки на поверхні круга мають більше переваг порівняно з анодними і для підвищення зносостійкості зв'язок необхідно слідкувати за їх наявністю на поверхні круга в умовах не лише електрошліфування, а й без введення струму до зони обробки, що сприятиме значному зниженню енергоємності обробки.

За відсутності можливості прямого електрохімічного шліфування, що сприяє утворенню описаних плівок, останнє можливо рознести в часі та просторі й формувати плівки на кругу шляхом підмикання додаткового електроду, що призводить до певного ускладнення обладнання. У цьому зв'язку можна використовувати ефекти неявної поляризації, до яких належить ефект електрохімічної гетерогенності поверхні зв'язки.

На нашу думку, цей ефект заслуговує на увагу якраз для кругів на зв'язках з мідною матрицею та металами або неметалами у вигляді включень, що відрізняються за фізико-хімічними властивостями від металевої матриці. Це призводить до появи корозійних мікроелементів та посилення електрохімічної гетерогенності поверхні зв'язки. Як наслідок формуються умови виникнення на поверхні зв'язки плівок, наближених до катодних. Для реалізації цих умов різальну поверхню круга на деякий час занурюють в електроліт з утворенням локальної безструмової комірки з проміжком 0,1 мм, у якій «катодом» є поверхня круга, а «анодом» – матеріал, який обробляють (у розглядуваному випадку – твердий сплав). Нами було вивчено чотири варіанти поведінки матеріалів зв'язок при витримуванні протягом 3 год. у такій безструмовій комірці. Оскільки найпридатніші для цього зв'язки з основою Cu–Al–Zn, експериментували зі зв'язкою МО13Е у середовищах з різним рН (4, 7 та 11), а також для порівняння використовували зв'язку М2-01. Як технологічну рідину було взято базовий склад електроліту. У результаті експериментально встановлено, що з підвищенням рН розчину вміст Al та Zn на поверхні робочого шару зменшується, а Cu відповідно збільшується. Ці тенденції аналогічні тенденціям в електрохімічній комірці. Виявлено також, що при цьому необхідно застосовувати електроліт з рН 11 та витримувати щонайменше 3 год. У такому разі вміст Al (22,4 мас.%) на поверхні робочого шару зменшується до 4,3 мас.%, майже як в електрохімічній комірці (на 5,7 мас.%), що дає змогу формувати на поверхні плівки, наближені до електрохімічних. При цьому слід пам'ятати, що це можливо тільки на зв'язках з основою Cu–Al–Zn. У разі зв'язок з основою Cu–Sn такі процеси не відбуваються і на такій зв'язці плівка не з'являється навіть при витримуванні протягом 21 год. Це засвідчили також результати аналізу поверхні на мікроаналізаторі SamsCan-4DW: відповідно (вихідний стан та при витримуванні 21

год.) Cu – 78,1 мас.% та 78,0 мас.%, Sn – 21,5 мас.% та 21,0 мас.%. Вміст Cu–Sn не змінився, хоча у спектрі поверхні, що витримували протягом 21 год. у воді, з'явилися певні сліди твердого сплаву, що піддався слабкому розчиненню. Отже, за таких умов на зв'язку MO13E надходить більше W, а такі елементи, як Ti та Co, майже не реєструються. Таким чином, можливо визначити умови формування на поверхні круга зі зв'язками з основою Cu–Al–Zn пліткових утворень, наближених до катодних.

Висновки

1. Встановлено, що для ефективної обробки інструментальних матеріалів необхідно застосовувати процес електрошліфування, який виключить негативну дію як інтенсивних електрохімічних, так і електрофізичних процесів, що призводять до виникнення тріщин та виколоч.

2. За умов електрошліфування кругами з НТМ електрохімічних електродних процесів недостатньо для досягнення відчутних показників анодного розчинення, але цілком достатньо для поляризації поверхонь аноду і катоду, формування на них плівок і зміни, а отже, умов електрофізичного контактування електродів.

3. Визначено склад, позитивну роль катодних плівок та можливість їх формування за умов неявної поляризації. Встановлено, що наявність катодних плівок на поверхні зв'язки круга зумовлює зниження коефіцієнта тертя зв'язки з обробним матеріалом і тому можна встановити умови зниження зносу зв'язок при формуванні на їх поверхні катодних плівок.

Investigated the effects that arise as a film formation on surfaces in the treatment zone and electrochemical heterogeneity of the surface of the bond the wheels with SHM with the introduction of the grinding supplementary electric power. Investigated the processes of electric grinding and evaluate the role of electroerosion. Examined the kinetics of cathode processes, elemental composition and characteristics of the cathode films. Detected the composition, the positive role of the cathode film and the possibility of their formation when implicit polarization.

Key words: wheels with SHM, grinding introduction of additional energy into the treatment zone, anode and cathode processes.

Исследованы эффекты, возникающие при шлифовании с введением дополнительной электрической энергии в зону обработки, в виде формирования пленок на поверхностях в зоне контакта и электрохимической гетерогенности поверхности связки кругов с СТМ. Исследованы процессы электрошлифования и оценена роль электроэрозии. Рассмотрены кинетика катодных процессов, элементный состав и характеристики катодных пленок. Определен состав, положительная роль катодных пленок и возможность их формирования в условиях неявной поляризации.

Ключевые слова: круги с СТМ, шлифование с введением дополнительной энергии в зону обработки, анодные и катодные процессы.

Література

1. Лавриненко В. И. Электрошлифование инструментальных материалов. – К.: Наук. думка, 1993. – 155 с.
2. Беззубенко Н. К. Процессы алмазно-искрового шлифования // Резание и инструмент. – 1981. – Вып. 26. – С. 39–42.
3. Седыкин Ф. В. Размерная электрохимическая обработка деталей машин. – М.: Машиностроение, 1976. – 302 с.
4. Лавриненко В. И. Катодные пленки при электрохимическом шлифовании кругами из СТМ // Сверхтвердые материалы. – 1996. – № 2. – С. 56–61.

Надійшла 23.05.13