

Norbert RADEK*

WYTWARZANIE I WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE PRZECIWZUŻYCIOWYCH POWŁOK WC-Cu NANOSZONYCH OBRÓBKĄ ELEKTROISKROWĄ

PRODUCTION AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF THE ELECTRO-SPARK DEPOSITED WC-Cu ANTI-WEAR COATINGS

Słowa kluczowe:

obróbka elektroiskrowa, powłoka przeciwzużyciowa, tribologia

Key words:

electro-spark deposition, anti-wear coating, tribology

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań własności powłok nanoszonych elektroiskrowo. Ocenę własności przeprowadzono na podstawie obserwacji mikrostruktury, pomiarów chropowatości i mikrotwardości oraz badań tribologicznych. Badania przeprowadzono, wykorzystując elektrody WC-Cu, które zostały wytworzone poprzez spiekanie nanostrukturalnych proszków. Przeciwzużycio-

* Centrum Laserowych Technologii Metali, Politechnika Świętokrzyska, al. 1000-lecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, tel. (041) 34-24-518, e-mail: norrad@tu.kielce.pl.

we powłoki zostały naniesione elektroiskrowo na próbki ze stali C45 za pomocą urządzenia EIL-8A. Ze względu na swoje własności powłoki tego typu mogą być stosowane w ślizgowych węzłach tarcia oraz jako powłoki ochronne.

WPROWADZENIE

Obróbka elektroiskrowa należy do tanich i dobrze znanych obróbek wysokoenergetycznych. Metoda ta, znana od lat czterdziestych XX wieku, dzisiaj wraz z licznymi modyfikacjami znalazła trwałe miejsce wśród obróbek powierzchniowych. Zadecydowały o tym wyjątkowe cechy omawianej metody, a w szczególności: możliwość lokalnego oddziaływania, możliwość nakładania cienkich (od kilku μm) i grubszych (zwykle do kilkudziesięciu μm), dyfuzyjnie połączonych z podłożem powłok z dowolnych materiałów metalowych oraz prostota i niski koszt urządzeń do nanoszenia powłok [L. 1÷7].

Powłoki nanoszone metodą elektroiskrową spełniające funkcje ochrony przed korozją, jak również funkcje przeciwwuzyciowe, mogą być stosowane np.:

- na pierścieniach uszczelnień czołowych pomp wirowych,
- w elementach śrub okrętowych,
- na powierzchniach form odlewniczych,
- w elementach instalacji transportu paliwa,
- w elementach układów wydechowych.

W ramach aktualnie realizowanych badań odniesiono się do badań tribologicznych, pomiarów chropowatości, mikrotwardości oraz obserwacji mikrostruktury powłok węglkowych w osnowie miedzi.

MATERIAŁY I PARAMETRY OBRÓBK

Przedmiotem badań były powłoki nakładane elektrodą WC-Cu (50% WC, 50% Cu) o przekroju 4×6 mm (anoda) metodą elektroiskrową na próbki wykonane ze stali C45 (katoda). Charakterystykę proszków stosowanych do wytworzenia elektrod przedstawiono w **Tabeli 1**.

Proces wytwarzania elektrod polegał na mieszaniu nanoproszków WC i Cu w odpowiednich proporcjach w mieszalniku Turbula T2C, przez 30 minut. Następnie przygotowano 12 g odważki wymieszanych proszków, które wsypano do otworów grafitowej matrycy. Mieszanki prasowano na gorąco (przepuszczając stały prąd przez grafitową matrycę), wytrzymując proszek przez 3 minuty, w temperaturze 950°C, pod ciśnieniem 40 MPa.

Do nanoszenia powłok elektroiskrowych wykorzystano urządzenie (o ręcznym przesuwie elektrody) produkcji ukraińskiej, model EIL-8A. Opierając się na doświadczeniach własnych oraz zaleceniach producenta urządzenia, przyjęto

następujące parametry nanoszenia powłok elektroiskrowych: napięcie $U = 230 \text{ V}$, pojemność kondensatorów $C = 150 \mu\text{F}$, natężenie prądu $I = 0,7 \text{ A}$.

Tabela 1. Proszki stosowane do wytworzenia elektrod

Table 1. Powders used to manufacture electrodes

Proszek	Rozmiar cząstki, μm	Producent
WC	$\sim 0,2$	OMG
Cu	$\sim 0,04$	NEOMAT

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

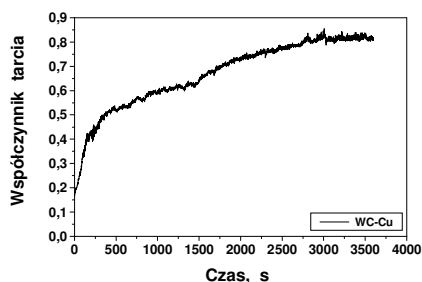
Badania tribologiczne

Badania oporów tarcia (tarcie technicznie suche) przeprowadzono na testerze tribologicznym T-01M typu kulka-tarcza. Jako próbki stosowano pierścienie ze stali węglowej wyższej jakości C45, na które naniesiono elektroiskrowo powłoki WC-Cu. Przeciwpółką była kulka o średnicy $\phi 6,3 \text{ mm}$ wykonana ze stali 100Cr6.

Badania na testerze przeprowadzono przy następujących parametrach tarcia:

- prędkość liniowa: $v = 0,8 \text{ m/s}$,
- czas próby: $t = 3600 \text{ s}$,
- wartości zmienianego obciążenia: $Q = 4,9 \text{ N}; 9,8 \text{ N}; 14,7 \text{ N}$.

Na przykładowym wykresie (**Rys. 1**) przedstawiony jest przebieg współczynnika tarcia w funkcji czasu próby przy obciążeniu $14,7 \text{ N}$.



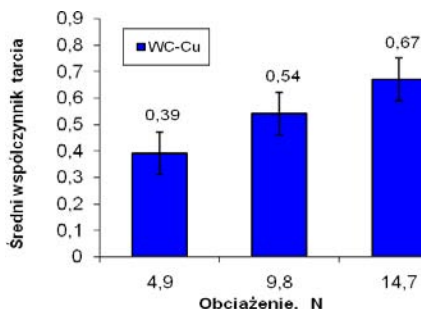
Rys. 1. Wykres zmian współczynnika tarcia w funkcji czasu

Fig. 1. The diagram of friction coefficient shifts in function time

Podczas tarcia technicznie suchego badanych powłok nastąpiło przekształcenie technologicznej warstwy powierzchniowej (TWP) w eksploatacyjną war-

stwę powierzchniową (EWP). Efekt ten nastąpił głównie na skutek nacisków i prędkości ślizgania oraz oddziaływania atmosfery otoczenia bliskiego z badaną powierzchnią. Obserwowano stabilizację stanu przeciwzużyciowej warstwy powierzchniowej (PWP).

Na wykresie (**Rys. 1**) można zaobserwować, że stabilizacja współczynnika tarcia następuje po upływie 3000 sekund, a wartość jego oscyluje na poziomie $0,80 \div 0,82$. Średnie wartości współczynników tarcia przedstawiono na wykresie (**Rys. 2**).

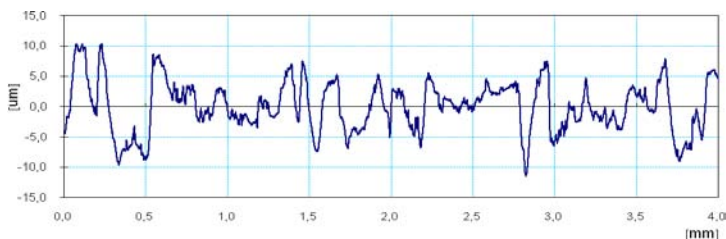


Rys. 2. Średnie wartości współczynników tarcia

Fig. 2. The average values of friction coefficient

Pomiary chropowatości

Pomiary chropowatości powłok WC-Cu wykonano w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach. Pierwszy pomiar był wykonany zgodnie z ruchem przemieszczania się elektrody, natomiast drugi pomiar był prostopadły do ściegów skanujących. Z dwóch pomiarów obliczono wartość średnią parametru Ra dla danej powłoki. Powłoki WC-Cu posiadały chropowatość $R_a = 2,37 \div 3,67 \mu\text{m}$. Próbkę ze stali C45, na którą nanoszono powłoki, miały chropowatość $R_a = 0,42 \div 0,45 \mu\text{m}$. Przykładowy wykres pomiarów parametrów mikrogeometrii badanych próbek przedstawiono na **Rys. 3**.



Rys. 3. Przykładowy wykres pomiarów mikrogeometrii dla powłoki WC-Cu

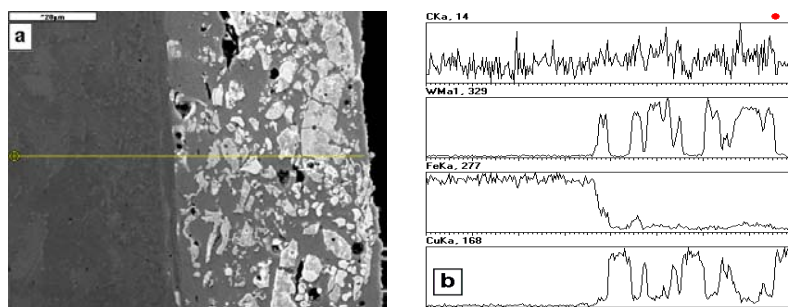
Fig. 3. Surface microgeometry of the WC-Cu coating deposited

Analiza mikrostruktury powłok

Do obserwacji mikrostruktury powłok WC-Cu wykorzystano elektronowy mikroskop skaningowy Joel typ JSM-5400.

Na przykładowej fotografii (**Rys. 4a**) przedstawiono widok mikrostruktury powłoki WC-Cu stopowanej elektroiskrowo. W oparciu o uzyskane wyniki stwierdzono, że grubość badanych warstw wyniosła $36\pm 60\ \mu\text{m}$, natomiast zasięg strefy wpływu ciepła (SWC) w głąb materiału podłoża ok. $20\pm 30\ \mu\text{m}$. Na fotografii mikrostruktury (**Rys. 4a**) widoczna jest wyraźna granica pomiędzy powłoką a podłożem. Można zaobserwować niekorzystne zjawiska w postaci porów i mikropęknięć powłoki (**Rys. 4a**).

Analiza liniowa (**Rys. 4b**) powłoki stellitej wykazała w niej nierównomierny rozkład pierwiastków. Można wyróżnić strefy, w których występują znaczne ilości W, Cu oraz C. Ponadto przebiegi rozkładu Fe oraz Cu mają typowy charakter dla połączenia dyfuzyjnego. W badanej powłoce mamy do czynienia z równomiernym rozłożeniem składników.



Rys. 4. Mikrostruktura (a) i rozkład liniowy pierwiastków (b) w powłoce WC-Cu nałożonej elektroiskrowo

Fig. 4. Microstructure (a) and linear distribution of elements (b) in the WC-Cu coating

Pomiary mikrotwardości

Pomiary mikrotwardości wykonano metodą Vickersa, stosując obciążenie $0,4\ \text{N}$. Odciski penetratorem wykonano na zglądach prostopadłych w trzech strefach: w powłoce (warstwie białej), w strefie wpływu ciepła (SWC) oraz w materiale rodzimym. Wyniki pomiarów mikrotwardości dla powłok WC-Cu naniesionych obróbką elektroiskrową przedstawiono w **Tabeli 2**.

Zastosowanie obróbki elektroiskrowej spowodowało zmiany mikrotwardości w obrabianym materiale. Mikrotwardość materiału podłoża po obróbce elektroiskrowej wynosiła średnio około $278\ \text{HV}_{0,04}$ (taką samą wartość mikrotwardości miał materiał w stanie wyjściowym). Przy nakładaniu metodą elektro-

iskrową powłok WC-Cu uzyskano znaczny wzrost mikrotwardości nałożonej warstwy w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża. Powłoka WC-Cu posiadała średnią mikrotwardość 643 HV_{0,04} (nastąpił wzrost mikrotwardości średnio o 131% w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża). Mikrotwardość SWC po obróbce elektroiskrowej wzrosła o około 58% w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża.

Tabela 2. Wyniki pomiarów mikrotwardości powłoki WC-Cu
Table 2. Results of the microhardness tests for the WC-Cu coating

Mierzone strefy	Mikrotwardość HV _{0,04}			Wartość średnia HV _{0,04}
	Numer pomiaru			
	1	2	3	
Powłoka	652	691	585	643
SWC	428	464	421	438
Materiał rodzimy	262	297	275	278

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Proces tworzenia technologicznych warstw powierzchniowych metodą obróbki elektroiskrowej związany jest z transferem masy i energii oraz zjawiskiem powstania plazmy niskotemperaturowej.
2. W oparciu o uzyskane wyniki stwierdzono, że grubość uzyskanych warstw wyniosła około 36÷60 μm, natomiast zasięg strefy wpływu ciepła w głąb materiału podłoża ok. 20÷30 μm.
3. Podczas badań tribologicznych zaobserwowano, że średnie wartości współczynników tarcia wzrastają proporcjonalnie do obciążenia.
4. Mikrotwardość powłok WC-Cu jest ponad 2 razy większa w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża.
5. Na dalszym etapie należy wykonać badania składu fazowego oraz porowatości powłok WC-Cu nakładanych elektroiskrowo.
6. Powłoki tego typu mogą być stosowane w ślizgowych węzłach tarcia oraz jako powłoki ochronne.

LITERATURA

1. Spadło S. et al.: Investigation of electro-discharge mechanical dressing (EDMD) of diamond abrasive wheels with conductive bonds using brush electrodes. Journal Engineering Manufacture, Vol. 219 part B (2005), 1–8.

2. Łazarenko B.R., Łazarenko N.I.: Elektroiskrovaja obrabotka tokoprovodiaszczih materialow. Akademia Nauk CCCP, Moskwa 1958.
3. Miernikiewicz A.: Doświadczalno-teoretyczne podstawy obróbki elektroerozyjnej (EDM). Politechnika Krakowska, Rozprawy, 274, Kraków 2000.
4. Radek N., Wrzałka Z., Szalapko J., Bronček J.: Struktura geometryczna powierzchni i własności tribologiczne przeciwzużyciowych powłok elektroiskrowych. Rozdział 3.3 w monografii: „Inżynieria Powierzchni wybrane zagadnienia” pod redakcją Bogdana Antoszewskiego, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2011, 132–139.
5. Radek N.: Determining the operational properties of steel beaters after electrospark deposition. *Eksplotacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 4 (2009), 10–16.
6. Radek N., Bronček J.: Tribological properties of anti-wear carbides coatings. *Technolog*, 6 (2009), 56–59.
7. Radek N.: Własności przeciwzużyciowych warstw powierzchniowych wytworzonych technologią elektroiskrową. *Tribologia*, 5 (2010), 191–200.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego N N503 150736.

Summary

Electro-spark deposition (ESD) is an economical, high-energy process. Developed in the post-war period, the technology has been frequently modified. Its main advantages are the ability to select precisely the area to be modified, the ability to select the coating thickness, which may range from several to several dozen micrometers, good adhesion of a coating to the substrate, and finally, inexpensive and simple equipment for coating deposition.

The paper is concerned with the performance properties of electro-spark deposited coatings, which were determined based on tribological and microstructural analysis, measuring the microhardness and roughness. The studies were conducted using WC-Cu electrodes produced by sintering nanostructural powders. The anti-wear coatings were electro-spark deposited over C45 carbon steel by means of an EIL-8A. These coatings are likely to be applied in sliding friction pairs and as protective coatings.