

Norbert RADEK<sup>1</sup>

### WŁASNOŚCI EKSPLOATACYJNE PRZECIWZUŻYCIOWYCH POWŁOK WĘGLIKOWO-CERAMICZNYCH NANOSZONYCH OBRÓBKĄ ELEKTROISKROWĄ

*W artykule przedstawiono wstępne badania własności eksploatacyjnych powłok nanoszonych elektroiskrowo. Ocenę własności eksploatacyjnych przeprowadzono na podstawie obserwacji mikrostruktury, pomiarów chropowatości oraz badań tribologicznych. Badania przeprowadzono wykorzystując elektrody WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3TiO<sub>2</sub>, które zostały wytworzone poprzez spiekanie nanostrukturalnych proszków. Przeciwzużyciowe powłoki zostały naniesione elektroiskrowo na próbki ze stali C45 za pomocą urządzenia EIL-8A. Powłoki tego typu zwiększą odporność na zużycie ściernie narzędzi i elementów maszyn.*

### PERFORMANCE PROPERTIES OF ELECTRO-SPARK DEPOSITED CARBIDE-CERAMIC ANTI-WEAR COATINGS

*The paper is concerned with the performance properties of electro-spark deposited coatings, which were determined basing on tribological and microstructural analysis and roughness measurement. The studies were conducted using WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3TiO<sub>2</sub> 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 to increase the abrasive wear resistance of tools and machine parts.*

#### 1. WSTĘP

Wytwarzanie warstw ochronnych na częściach maszyn jest uzasadnione ekonomicznie w przypadku zużycia ich fragmentów lub warstwy powierzchniowej oraz w przypadku gdy od warstwy powierzchniowej wymagane są inne cechy niż od rdzenia.

W większości przypadków warstwy powierzchniowe wytwarza się na przedmiotach przed rozpoczęciem ich eksploatacji – są to technologiczne warstwy powierzchniowe (TWP). W wielu przypadkach w trakcie eksploatacji tworzą się na przedmiotach eksploatacyjne warstwy powierzchniowe (EWP).

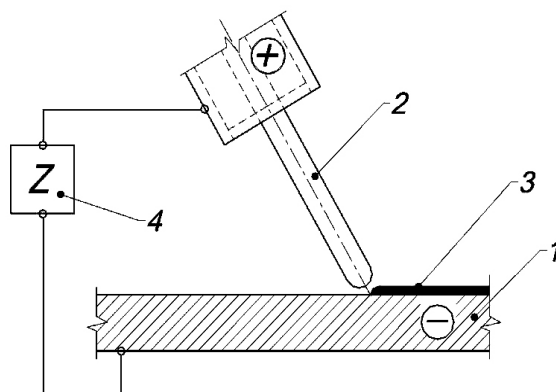
W obecnym czasie obserwuje się rosnącą rolę obróbek wykorzystujących skoncentrowany strumień energii, do których zalicza się między innymi obróbka elektroiskrowa [1÷5]. Schemat nanoszenia powłoki obróbką elektroiskrową przedstawiono na rysunku 1.

<sup>1</sup>Centrum Laserowych Technologii Metali, Politechnika Świętokrzyska, Al. 1000-lecia P. P. 7, 25-314 Kielce, POLSKA; Telefon: 041 34-24-518, Fax: 041 34-24-504, E-mail: norrad@tu.kielce.pl

Obróbka elektroiskrowa należy do tanich i dobrze znanych obróbek wysokoenergetycznych. Metoda ta znana od czasów powojennych dzisiaj wraz z licznymi modyfikacjami znalazła trwałe miejsce wśród obróbek powierzchniowych. Zdecydowały o tym wyjątkowe cechy omawianej metody a w szczególności: możliwość lokalnego oddziaływania, możliwość nakładania cienkich (od kilku  $\mu\text{m}$ ) i grubszych (zwykle do kilkudziesięciu  $\mu\text{m}$ ), dyfuzyjnie połączonych z podłożem powłok z dowolnych materiałów metalicznych oraz prostota i niski koszt urządzeń do nanoszenia powłok [1, 6÷7].

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

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



Rys. 1. Schemat nanoszenia powłoki obróbką elektroiskrową: 1- materiał obrabiany, 2 - elektroda robocza, 3- powłoka, 4 - źródło prądu

## 2. MATERIAŁY I PARAMETRY OBRÓBK

Przedmiotem badań były powłoki nakładane elektrodami WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (85% WC, 10% Co oraz 5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oraz WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3TiO<sub>2</sub> (85% WC, 10% Co oraz 5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3TiO<sub>2</sub>) o przekroju 3 x 4 mm (anody) metodą elektroiskrową na próbki wykonane ze stali C45 (katoda). Skład chemiczny stali C45 przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny stali C45

Pierwiastki	C	Mn	Si	P	S
Zawartość %	0,42÷0,50	0,50÷0,80	0,10÷0,40	0,04	0,04

Do nanoszenia powłok elektroiskrowych użyto urządzenie produkcji ukraińskiej, model EIL-8A. Opierając się na doświadczeniach własnych oraz zaleceniach producenta urządzenia przyjęto następujące parametry nanoszenia powłok elektroiskrowych:

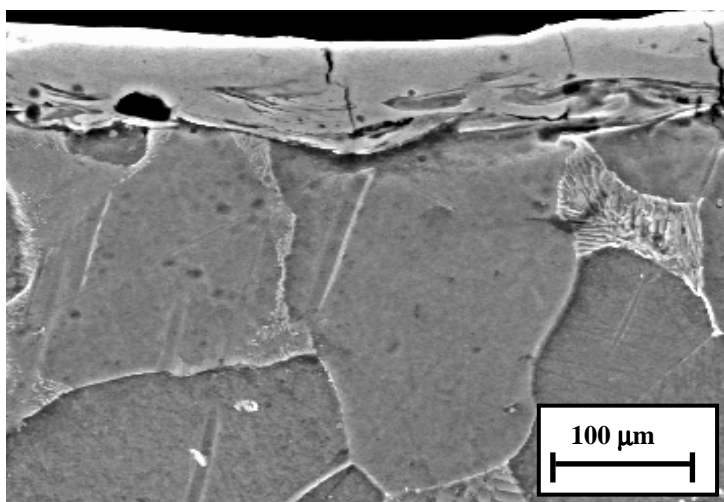
- napięcie  $U = 230 \text{ V}$ ,
- pojemność kondensatorów  $C = 150 \mu\text{F}$ ,
- natężenie prądu  $I = 2,4 \text{ A}$ .

### 3. WYNIKI BADAŃ

#### 3.1. OBSERWACJE MIKROSTRUKTURY

Analizie mikrostruktury poddano powłoki  $\text{WC-Co-Al}_2\text{O}_3$  oraz  $\text{WC-Co-Al}_2\text{O}_3\text{3TiO}_2$ . Do badań mikrostruktury wykorzystano elektronowy mikroskop skaningowy Joel typ JSM-5400.

Na przykładowej fotografii (rys. 2) przedstawiono przykładowy widok mikrostruktury powłoki  $\text{WC-Co-Al}_2\text{O}_3$  stopowanej elektroiskrowo. W oparciu o uzyskane wyniki stwierdzono, że grubość uzyskanych warstw wyniosła od  $60\pm 70 \mu\text{m}$ , natomiast zasięg strefy wpływu ciepła (SWC) w głąb materiału podłoża ok.  $30\pm 40 \mu\text{m}$ . Na przedstawionej fotografii mikrostruktury widoczna jest wyraźna granica pomiędzy powłoką, a podłożem. Można zaobserwować niekorzystne zjawiska w postaci porów i mikropęknięć powłoki.



Rys. 2. Mikrostruktura powłoki  $\text{WC-Co-Al}_2\text{O}_3$

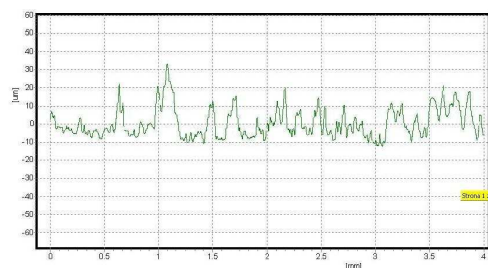
#### 3.2. POMIARY MIKROGEOMETRII

Jedną z głównych wad powłok naniesionych obróbką elektroiskrową jest ich duża chropowatość końcowa. Dotychczas przeprowadzone badania oraz analiza literatury wykazują, że kształtowanie powierzchni zachodzi w wyniku nakładania się na siebie kraterów będących wynikiem erozji podłoża jak również grzbietów utworzonych z przemieszczających się na powierzchnię cząstek materiału powlekającego elektrody. Tak powstała powierzchnia posiada szereg następujących cech: regularność, brak

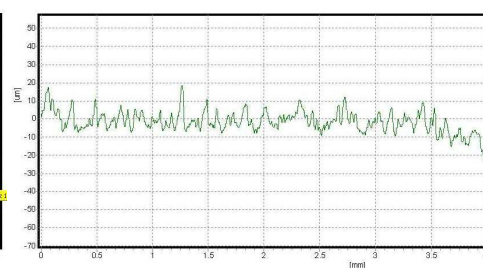
kierunkowości, duże promienie zaokrągleń wierzchołków mikronierówności. W wielu opracowaniach naukowych analizuje się wpływ parametrów procesu na chropowatość powierzchni. Sterując tymi parametrami można uzyskać zakładane zmiany mikrogeometrii powierzchni. Jest to zatem sposób na wytwarzanie powierzchni o zadanej rozwiniętej powierzchni chropowatej zwanej reliefem powierzchniowym.

Pomiary chropowatości przeprowadzono w Laboratorium Pomiarów Wielkości Geometrycznych Politechniki Świętokrzyskiej za pomocą przyrządu topo L120 przy wykorzystaniu programu PROFILOMETR.

Pomiary chropowatości powłok WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3TiO<sub>2</sub> 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-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> posiadały chropowatość Ra = 6,16÷7,79 μm, natomiast w przypadku powłok WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3TiO<sub>2</sub> parametr Ra = 4,18÷4,58 μm. Próbkę ze stali C45, na którą nanoszono powłoki miały chropowatość Ra = 0,38÷0,41 μm. Przykładowe protokoły pomiarów parametrów mikrogeometrii badanych próbek przedstawiono na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Przykładowe wyniki pomiarów parametrów mikrogeometrii dla powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nałożonej na stal C45



Rys. 4. Przykładowe wyniki pomiarów parametrów mikrogeometrii dla powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3TiO<sub>2</sub> nałożonej na stal C45

### 3.3. BADANIA TRIBOLOGICZNE

Badania oporów tarcia (tarcie technicznie suche) przeprowadzono na testerze tribologicznym T-01M typu trzpień-tarcza. Jako próbki stosowano pierścienie ze stali węglowej wyższej jakości C45, na które naniesiono elektroiskrowo powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3TiO<sub>2</sub>. Przeciwną była kulka o średnicy φ6,3 mm wykonana ze stali 100Cr6.

Badania na testerze przeprowadzono przy następujących parametrach tarcia:

- prędkość liniowa  $V = 0,8$  m/s,
- czas próby  $t = 3600$  s,
- zakres zmian obciążenia  $Q = 4,9$  N.

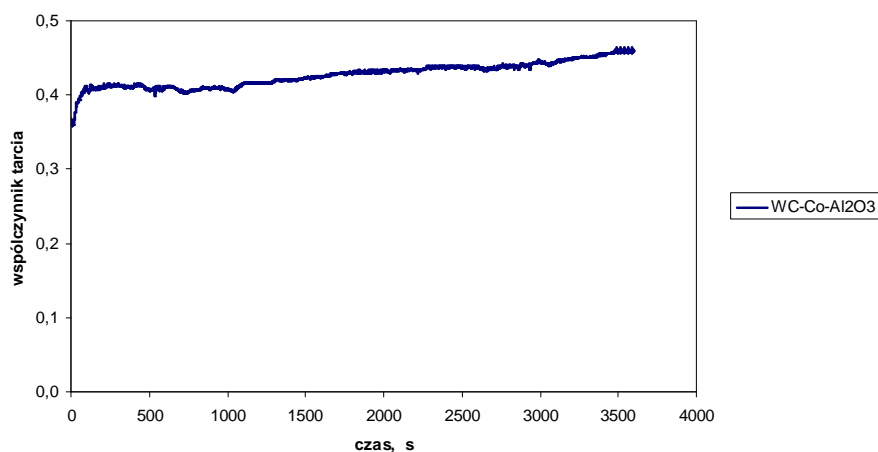
Wyniki badań przedstawiono na wykresach (rys. 5 i 6), które ilustrują przebiegi współczynnika tarcia w funkcji czasu próby przy obciążeniu 4,9 N.

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

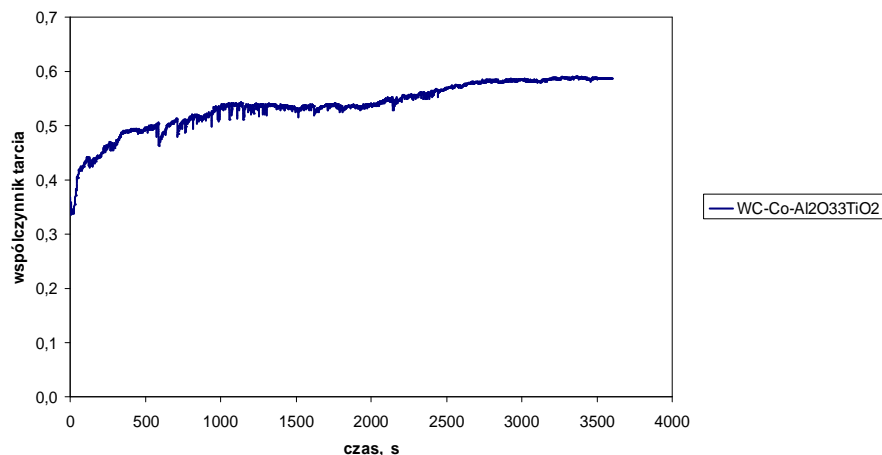
powierzchniową (EWP). Efekt ten nastąpił głównie na skutek nacisków i prędkości ślizgania oraz oddziaływania atmosfery otoczenia bliskiego z badaną powierzchnią. Obserwowano stabilizację stanu przeciwzużyciowej warstwy powierzchniowej (PWP).

Na przebiegu (rys. 5) można zaobserwować, że stabilizacja współczynnika tarcia następuje po upływie około 1600 sekund, a wartość jego oscyluje na poziomie  $0,44 \pm 0,47$ .

Dla powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3TiO<sub>2</sub> (rys. 6) współczynnik tarcia stabilizuje się po upływie około 2600 sekund, a jego wartość wynosi  $0,58 \pm 0,59$ .



Rys. 5. Wykres zmian współczynnika tarcia w funkcji czasu (powłoka WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)



Rys. 6. Wykres zmian współczynnika tarcia w funkcji czasu (powłoka WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3TiO<sub>2</sub>)

#### 4. WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych badań można stwierdzić:

- analizując mikrostrukturę stwierdzono, że grubość powłok wyniosła od  $60\div 70\ \mu\text{m}$ , natomiast zasięg strefy wpływu ciepła w głąb materiału podłoża ok.  $30\div 40\ \mu\text{m}$ . Ponadto powłoki posiadały mikropęknięcia oraz pory.
- powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3TiO<sub>2</sub> naniesione elektroiskrowo charakteryzowały się znacznym wzrostem chropowatości Ra w stosunku do chropowatości materiału podłoża. Powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> posiadały chropowatość Ra =  $6,16\div 7,79\ \mu\text{m}$ , natomiast chropowatość powłok WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>3TiO<sub>2</sub> wynosiła Ra =  $4,18\div 4,58\ \mu\text{m}$ .
- współczynniki tarcia w obydwóch przypadkach naniesionych powłok elektroiskrowych mają zbliżone wartości.
- w dalszym etapie należy wykonać pomiary mikrotwardości i badania składu fazowego oraz porowatości powłok elektroiskrowych.

#### 5. LITERATURA

- [1] Radek N.: *Obróbka elektroiskrowa - urządzenia i zastosowania przemysłowe*, Mechanik, 7, 2008, 600-602.
- [2] Radek N., Antoszewski B., Kamiński J.: *Badania eksperymentalne powłok stelitowych nanoszonych elektroiskrowo*, Inżynieria Maszyn, 12, 2-3, 2009, 92-97.
- [3] Radek N.: *Determining the operational properties of steel beaters after electrospark deposition*, Maintenance and Reliability, 4, 2009, 10-16.
- [4] Liu J., Wang R., Qian Y.: *The formation of a single-pulse electrospark deposition spot*, Surface and Coatings Technology 200, 2005, 2433-2437.
- [5] CHEN Z., ZHOU Y.: *Surface modification of resistance welding electrode by electrospark deposited composite coatings: Part I. Coating characterization*, Surface and Coatings Technology, 201, 2006, 1503-1510.
- [6] Praca zbiorowa pod redakcją Petrowa J.: *Elektroiskrowe legiowanie metalićeskich powierzchni*, Kisziniew 1985.
- [7] Tarelnik W.: *Kombinirowannyje technologii elektroerozionnogo liegirowania*, Technika, Kijev 1997.

*Praca wykonana w ramach projektu badawczego N N503 150736*