

**Radek N.,\***  
**Wrzałka Z.,\*\***  
**Shalapko J.,\*\*\***  
**Bronček J.,\*\*\*\***  
**Bilska I.,\***  
**Świdorski J.\***

\* Politechnika Świętokrzyska,

Kielce, Polska,

\*\* Starosta Powiatu Kieleckiego,

Kielce, Polska,

\*\*\* Khmelnitckij Narodowy Uniwersytet,

Khmelnitckij, Ukraina,

\*\*\*\* Žilinski Uniwersytet w Žilinie,

Žilinie, Słowacja

**E-mail:** shalapko@yahoo.com

## POWŁOKI WĘGLKOWO - CERAMICZNE - WYTWARZANIE, WŁASNOŚCI I APLIKACJE

VDK 621.2.082.18

Przedmiotem badań morfologicznych i tribologicznych 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 4 mm x 6 mm metodą elektroiskrową na próbki wykonane ze stali C45. Powłoki nanoszono w osłonie argonu. Badania oporów tarcia (tarcie technicznie suche) przeprowadzono na próbkach w kształcie pierścienia wykonanych ze stali węglowej wyższej jakości C45 (w stanie normalizowanym).

**Słowa kluczowe:** obróbka elektroiskrowa, twarde stopy z ceramiki, tarcie, zużycie.

### 1. Wstęp

Węglik spiekane są to cermetale składające się w 70 ÷ 96 % z węglików metali trudnotopliwych (np. wolframu, tantalu, niobu) oraz osnowy wiążącej, która jest zwykle kobalt, czasami molibden, nikiel, a niekiedy żelazo. Węglik spiekane obecnie są bardzo popularne jako materiał do wytwarzania ostrz skrawających, szczególnie w operacjach toczenia i frezowania [1].

Węglik spiekane dzieli się na poszczególne gatunki w zależności od ich składu chemicznego lub od rozmiarów cząstek WC. Węglik spiekane typu WC-Co podzielono według rozmiarów cząstek WC na następujące grupy [2]:

- gruboziarniste - o średniej średnicy 3 ÷ 30 μm;
- standardowe - o średniej średnicy 1,5 ÷ 3 μm;
- drobnoziarniste - o średniej średnicy 0,5 ÷ 1,5 μm;
- ultradrobnoziarniste - o średniej średnicy mniejszej od 0,5 μm.

Rozmiar ziarna WC ma olbrzymi wpływ na właściwości ostrzy z węglików spiekanych, a szczególnie na ich wytrzymałość na zginanie i twardość. Gdy średnica cząstek WC jest większa od 1,5 μm, obserwuje się wzrost wytrzymałości na zginanie i spadek twardości ostrza z węglika spiekanego wraz ze wzrostem rozmiarów ziaren WC. W przypadku gdy ziarna WC mają średnice mniejszą od 1,5 μm, obserwuje się jednoczesny wzrost wytrzymałości na zginanie i twardości ostrza z węglika spiekanego tym większy im mniejsze jest ziarno WC. Obserwacja ta stanowi jeden z przykładów, na podstawie których nastąpił przełom w poglądach, że wzrost twardości musi powodować spadek własności plastycznych np. ciągliwości [2].

Zastosowanie ceramicznych materiałów narzędziowych w porównaniu do węglików spiekanych jest niewielkie, ale ciągle wykazuje dynamikę wzrostu. Według szacunków około 5 % ostrzy narzędzi skrawających wykonuje się z tej grupy materiałów. Do najbardziej popularnych materiałów służących do wytwarzania ceramicznych materiałów narzędziowych możemy zaliczyć:

- jednofazowy tlenek glinu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;
- azotek krzemu Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>;
- wielofazowe mieszaniny Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> z twardymi węglnikami, azotkami i tlenkami.

Dość interesująco przedstawia się możliwość wytwarzania obróbką elektroiskrową przeciwwyżyciowych powłok węglkowo-ceramicznych, elektrodami wykonanymi metodami metalurgii proszków [3]. Supertwarde powłoki mogą być nanoszone na ostrza skrawające narzędzi, takich jak np. noże tokarskie, frezy, dłutaki czy gwintowniki. Przypuszcza się, że w/w powłoki mogą być z powodzeniem stosowane na elementach maszyn, które pracują w ekstremalnych warunkach np. intensywne zużycie ściernie, obciążenia udarowe.

Dodatkową zaletą zachęcającą do stosowania supertwardych powłok elektroiskrowych jest wątek ekologiczny. Obróbkę elektroiskrową cechuje brak szkodliwych oddziaływań na środowisko.

Proces osadzania elektroiskrowego charakteryzują wyładowania impulsowe generowane pomiędzy elektrodą i podłożem [4 ÷ 6]. Podczas obróbki elektroiskrowej następuje jonizacja powietrza do obszarów wysokotemperaturowych i wysokociśnieniowych pól, w efekcie czego następuje tworzenie się stopu. Stopowanie elektroiskrowe jest technologią obróbki powierzchniowej i cechuje się intensywnym dopływem ciepła i bardzo wąską strefą wpływu ciepła (SWC), również przy nakładaniu powłok z trudnotopliwych kompozytów [7 ÷ 9].

## 2. Metodyka badań

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 4 mm × 6 mm metodą elektroiskrową na próbki wykonane ze stali C45. Powłoki nanoszono w osłonie argonu.

Do nanoszenia powłok elektroiskrowych użyto urządzenie produkcji ukraińskiej, model EIL-8A (rys. 4.10). Opierając się na zdobytych doświadczeniach własnych przyjęto następujące parametry nanoszenia powłok elektroiskrowych:

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

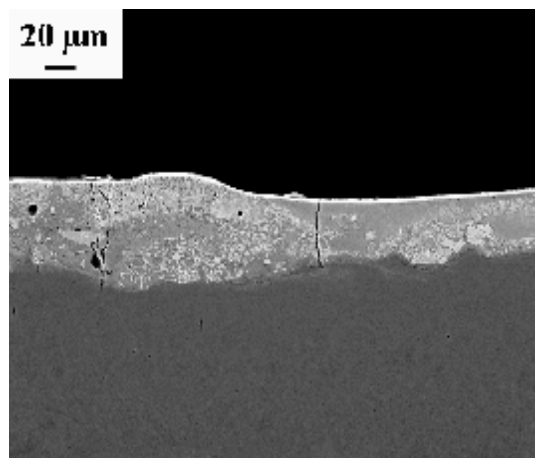
Badania powłok węglkowo-ceramicznych skupiły się na: obserwacji i analizie mikrostruktury, pomiarach struktury geometrycznej powierzchni, mikrotwardości i przyczepności oraz badaniach tribologicznych.

Obserwacje mikrostruktury prowadzono w elektronowym mikroskopie skaningowym Joel typ JSM-5400. Pomiar chropowatości przeprowadzono za pomocą przyrządu Topo L120 przy wykorzystaniu programu PROFILOMETR. Mikrotwardość mierzono na mikrotwardościomierzu Microtech MX3 przy obciążeniu 40 G, przyłożonym na 15 s. Pomiar przyczepności wykonano metodą zarysowania (z ang. scratch test), stosując przyrząd REVETEST. Testy tribologiczne wykonano na testerze tribologicznym T-01M typu kulka - tarcza.

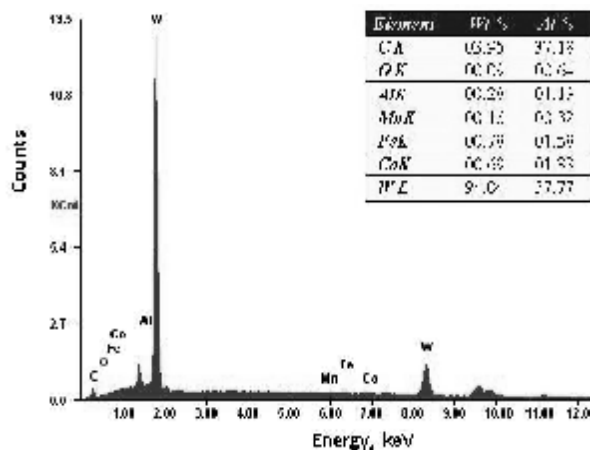
## 3. Wyniki badań i ich omówienie

### 3.1. Badania morfologii powłok

W procesie elektroiskrowego tworzenia warstw powierzchniowych na katodzie następuje wzajemne oddziaływanie znajdujących się w stanie ciekłym materiałów elektrod. Powstają tu nowe związki chemiczne, zachodzą procesy samo- i heterodyfuzji oraz następuje tworzenie stopów i pseudostopów. Proces konstytuowania warstwy wierzchniej zachodzi w skrajnie nierównowagowych warunkach sprzyjających powstawaniu form drobnodispersyjnych. W strefie działania wyładowania struktura jest bardzo rozdrobiona, obserwuje się znaczne naprężenia wewnętrzne oraz ślady deformacji ziaren. Działanie wysokich ciśnień i temperatur znacznie przewyższających temperaturę topnienia i wrzenia materiałów elektrod, a także duża szybkość odprowadzania ciepła powodują, że powstają specyficzne struktury o unikalnych własnościach np. twardość powłoki ma zwykle znacznie większą wartość niż twardość materiału elektrod. W składzie warstwy mogą występować fazy nie występujące w wyjściowych materiałach elektrod. Osobliwe własności jak i struktura powstałej powłoki są rezultatem przebiegu procesu.



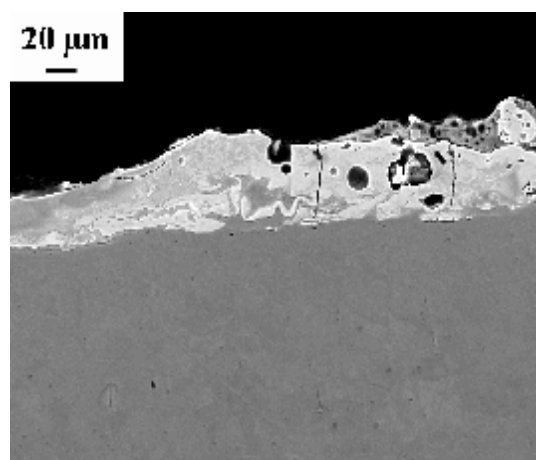
Rys. 1 – Mikrostruktura powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



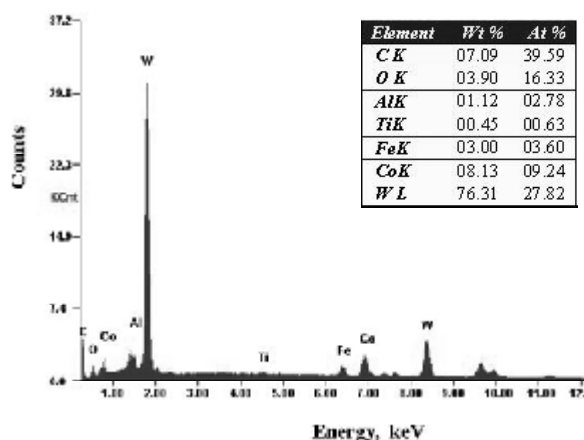
Rys. 2 – Widmo charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego dla powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

W procesie wyładowania iskrowego na katodę przenoszone są materiały anody, w tym również azot z powietrza. Krople płynnego metalu i azot pod wpływem wysokich temperatur, wywołanych wyładowaniem, dyfundują w powierzchnię detalu tworząc w metalicznym podłożu mocno przetopioną azotkowo-węglkową warstwę o wysokiej twardości i odporności na zużycie. Przy czym utrzymuje się, że o twardości warstwy decyduje obecność azotu. Wychodząc z analizy metalograficznej zglądów można stwierdzić, że efekt umocnienia polega głównie na zjawiskach dyfuzyjnych. W wyniku wyładowania na katodzie powstaje bardzo cienka warstwa, przy czym podłoże nie rozgrzewa się. Ponadto proces ten zachodzi bardzo szybko. Ogólnie warstwa nałożona elektroiskrowo składa się z dwóch stref: zewnętrznej (białej trudnotrawiącej się, jednorodnej) i wewnętrznej (o charakterze dyfuzyjnym i zmiennym składzie). Często obserwuje się też trzecią - strefę wpływu ciepła.

Na przykładowej fotografii (rys. 1) przedstawiono przykładowy widok mikrostruktury powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> stopowanej elektroiskrowo. W oparciu o uzyskane wyniki stwierdzono, że maksymalna grubość powłoki wyniosła 64 μm, natomiast minimalna grubość około 34 μm. W przypadku powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> (rys. 2) grubość wyniosła od 29 ÷ 68 μm. Głębokości SWC w głąb materiału podłoża dla obu powłok były porównywalne i wyniosły ok. 23 ÷ 31 μm.



Rys. 3 – Mikrostruktura powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub>



Rys. 4 – Widmo charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego dla powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub>

Obserwacje mikrostruktury (rys. 1 i 3) powłok WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oraz WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> wykazały występowanie niekorzystnych zjawisk w postaci porów i mikropełnięć oraz nierównomierną grubość.

Jedną z przyczyn uzyskania nierównomiernej grubości powłok było zastosowanie do ich nanoszenia urządzenia o ręcznym posuwie elektrody. Ponadto efekt ten można rozpatrywać od fizycznej strony przebiegu wyładowania elektrycznego między elektrodami. Energia dostarczana w impulsie elektrodom powoduje erozję anody (erody) jak i również katody (materiału podłoża). Powłokę tworzy nie tylko stopiony materiał erody, ale również stopiony materiał podłoża w efekcie czego tworzą się tzw. wspólne obszary powłokowe.

Przeprowadzona analiza punktowa w górnej części powłok (rys. 2 i rys. 4) pokazała dużą intensywność pików pierwiastków wchodzących w skład zastosowanych elektrod. W przypadku powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zawartość W wyniosła około 57,77 % at. oraz 39,59 % at. C. Ponadto stwierdzono obecność Al (około 1,19 % at.) oraz kobaltu (około 1,33 % at.). Natomiast w przypadku powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> stwierdzono 27,82 % at. W i 9,24 % at. Co. Na rysunku 4 stwierdzono również obecność pików aluminium (około 2,78 % at.) oraz tytanu (około 0,63 % at.).

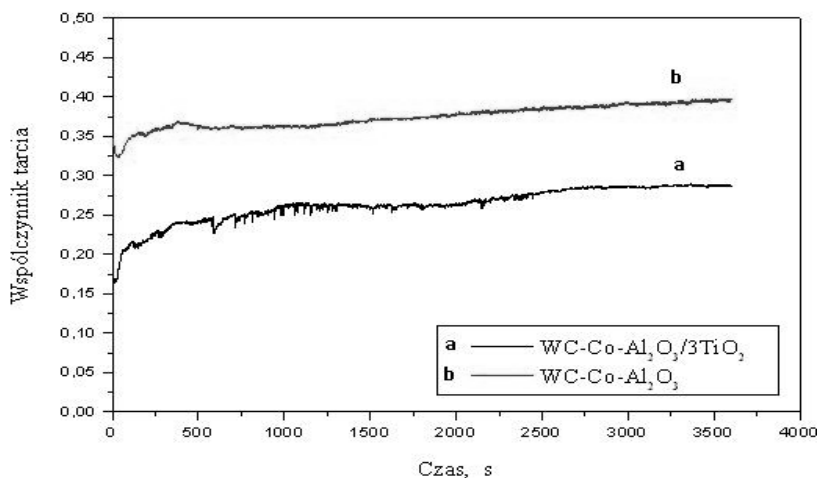
### 3.2. Badania tribologiczne

Badania oporów tarcia (tarcie technicznie suche) przeprowadzono na próbkach w kształcie pierścienia wykonanych ze stali węglowej wyższej jakości C45 (w stanie normalizowanym), 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>. Przeciwpórką 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; 9,8 N; 14,7 N.

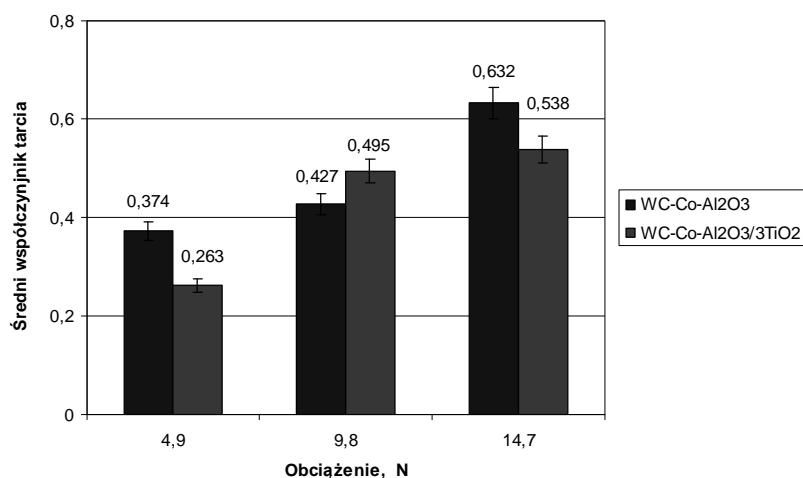
Przykładowe wyniki badań przedstawiono na wykresie (rys. 5), który ilustruje przebiegi współczynnika tarcia w funkcji czasu próby przy obciążeniu 4,9 N.



Rys. 5 – Wykres zmian współczynnika tarcia w funkcji czasu:  
a – powłoka WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub>;  
b – powłoka WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

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 przeciwwyżyciowej warstwy powierzchniowej (PWP).

Na przebiegu (rys. 5, a) można zaobserwować, że stabilizacja współczynnika tarcia następuje po upływie około 2500 sekund, a wartość jego oscyluje na poziomie 0,27 ÷ 0,3.



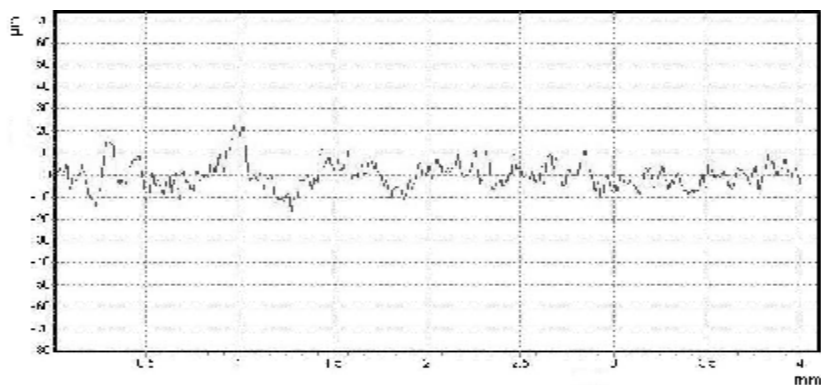
Rys. 6 – Średnie wartości współczynnika tarcia

Dla powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (rys. 5, b) współczynnik tarcia stabilizuje się po upływie około 3100 sekund, a jego wartość wynosi 0,38±0,4. Wartości średnie współczynnika tarcia powłok węglkowo-ceramicznych przedstawiono na wykresie (rys. 6). Z wykresu (rys. 6) wynika, że wartości średnie współczynnika tarcia rosną proporcjonalnie do zwiększającego się obciążenia. Przy czy mniejsze wartości średnich współczynników tarcia występują dla powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub>. Wyjątkiem jest obciążenie 9,8 N, przy którym mniejsza wartość średniego współczynników tarcia wystąpiła dla powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

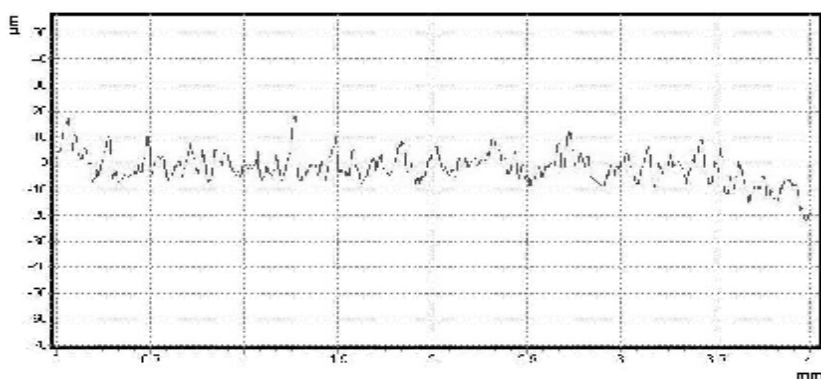
### 3.3. Pomiary mikrogeometrii

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  $R_a$  dla danej powłoki. Powłoki  $WC-Co-Al_2O_3$  posiadały chropowatość  $R_a = 6,16 \div 7,79 \mu m$ , natomiast w przypadku powłok  $WC-Co-Al_2O_3/3TiO_2$  parametr  $R_a = 4,18 \div 4,58 \mu m$ . Próbki ze stali C45, na które nanoszono powłoki miały chropowatość  $R_a = 0,38 \div 0,41 \mu m$ . Przykładowe wykresy pomiarów parametrów mikrogeometrii badanych próbek przedstawiono na rys. 7 i 8.



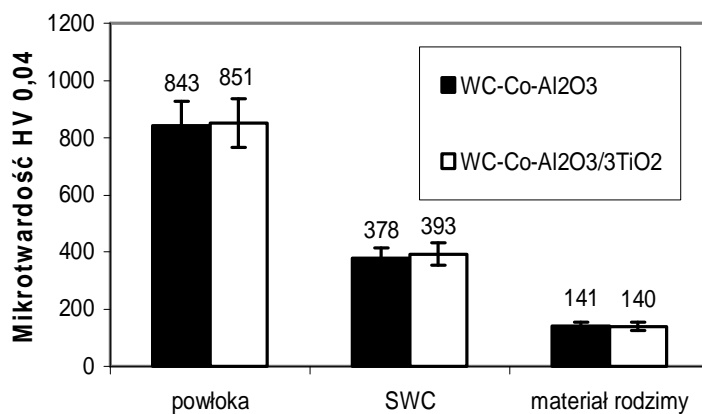
Rys. 7 – Przykładowe wyniki pomiarów parametrów mikrogeometrii powłoki  $WC-Co-Al_2O_3$



Rys. 8 – Przykładowe wyniki pomiarów parametrów mikrogeometrii powłoki  $WC-Co-Al_2O_3/3TiO_2$

### 3.4. Pomiar mikrotwardości

Pomiary mikrotwardości przeprowadzono metodą Vickersa. Odciski penetratorem wykonano na zglądach prostopadłych w trzech strefach: w powłoce (białej trudnotrawiącej się, jednorodnej), w strefie wpływu ciepła (SWC), jak również w materiale rodzimym. Wyniki badań mikrotwardości przedstawiono na wykresie (rys. 9).



Rys. 9 – Wyniki pomiarów mikrotwardości powłok

Zastosowanie obróbki elektroiskrowej spowodowało zmiany mikrotwardości w obrabianym materiale. Mikrotwardość materiału podłoża po obróbce elektroiskrowej wynosiła średnio około 141 HV0,04 (taka samą wartość mikrotwardości miał materiał w stanie wyjściowym). Nakładając obróbką elektroiskrową powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oraz WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> uzyskano znaczny wzrost mikrotwardości w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża.

Powłoka WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> posiadała średnią mikrotwardość 843 HV0,04 (nastąpił wzrost mikrotwardości średnio o 498 % w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża), a powłoka WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> około 851 HV0,04 (nastąpił wzrost mikrotwardości średnio o 504 % w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża). Mikrotwardość SWC po obróbce elektroiskrowej wzrosła o 168 % (powłoka WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) i o 179 % (powłoka WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub>) w stosunku do mikrotwardości materiału podłoża. Większa wartość mikrotwardości w SWC powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> w stosunku do powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> może być spowodowana powstaniem w niej węglików tytanu. Ta tematyka będzie przedmiotem dalszych badań.

### 3.5. Pomiary przyczepności

Pomiary przyczepności i oznaczenie innych symptomów uszkodzenia mechanicznego powłok WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oraz WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> wykonano zgodnie z normą [39]. Badania wykonano przy narastającej sile obciążającej od 0÷200 N i przy następujących parametrach pracy:

- szybkość wzrostu obciążenia - 39,8 N/min;
- prędkość przesuwu stolika z próbką - 1 mm/min;
- długość rysy - 5 mm;
- stożek diamentowy Rockwella o promieniu zaokrąglenia - 200 μm.

Test zarysowania polegał na wykonaniu rysy za pomocą odpowiednio dobranego penetratora (w tym przypadku stożek diamentowy - Rockwella) przy stopniowym wzroście siły normalnej (obciążającej ten penetrator) z jednoczesnym pomiarem siły oporu stawianego przez materiał (siły stycznej) i rejestracji sygnałów emisji akustycznej informujących o powstawaniu uszkodzeń warstwy w postaci pęknięć lub złuszczeń warstwy. Najmniejsza siła normalna powodująca utratę adhezji powłoki z podłożem, określana jest mianem siły krytycznej i jest przyjmowana za miarę tej adhezji.

Do oceny wartości siły krytycznej służy zapis zmian sygnałów emisji akustycznej i siły stycznej oraz obserwacje mikroskopowe (mikroskop optyczny wbudowany w aparat REVETEST). W przeprowadzonych badaniach wartości sił krytycznych oceniono na podstawie obserwacji mikroskopowych powstałych rys po przejściu penetratora, które odnoszono do przebiegów sygnałów emisji akustycznej. Wyniki badań przyczepności przedstawiono w tabeli 1.

Powłoki elektroiskrowe posiadały porównywalną przyczepność. Średnia wartość (z trzech pomiarów) siły krytycznej powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> wyniosła 6,33 N. Powłoka WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> posiadała średnią wartość siły krytycznej (z trzech pomiarów) na poziomie 6,64 N.

Tabela 1

**Wyniki pomiarów przyczepności powłok**

| Powłoka   | Siła krytyczna [N] |      |      | Wartość średnia [N] |
|---|--------------------|------|------|---------------------|
|   | numer pomiaru      |      |      |                     |
|   | 1                  | 2    | 3    |                     |
| WC-Co-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                    | 7,42               | 6,67 | 4,89 | 6,33                |
| WC-Co-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /3TiO <sub>2</sub> | 5,46               | 7,92 | 6,54 | 6,64                |

### 3.6. Aplikacje powłok węglkowo-ceramicznych

#### **Badania trwałości ostrzy skrawających noży tokarskich**

W badaniach trwałości ostrzy skrawających zastosowano noże tokarskie z wymiennymi płytkami wieloostrowymi ze stali szybko tnącej SW7M oraz węglików spiekanych S10 i H10. Badania porównawcze trwałości ostrzy skrawających wykonano dla dwóch grup noży tokarskich tj. z przeciwzuzyciowymi powłokami WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> naniesionym elektroiskrowo na w/w płytce oraz z płytkami niepokrytymi powłoką.

Jako kryterium stopienia ostrza przyjęto postać powstających wiórów, świadcząca o utracie właściwości skrawnych lub zużycie wytrzymałościowe objawiające się wyszczerbieniami, wyruszeniami bądź wyłamaniem ostrza.

Testy trwałościowe wykonano na tokarce TUB 32 wyprodukowanej w Zakładach Mechanicznych w Tarnowie, będącej na wyposażeniu Wydziału Z-5 Narzędziowo- Remontowego ZM MESKO w Skarżysku-Kamiennej. Obróbkę skrawaniem prowadzono w operacji toczenia wzdłużnego stali chromowej o wysokiej hartowności 40H. W czasie obróbki stosowano płyn obróbkowy MECAFLUID 137. Operację toczenia wraz z parametrami obróbki przedstawiono na rysunkach 10 ÷ 12.



Rys. 10 – Obróbka nożem z płytkami ze stali SW7M:  
 $n = 450 \text{ obr/min}$ ;  
 $p = 0,25 \text{ m/min}$



Rys. 11 – Obróbka nożem z płytkami z węgla spiekanego S10:  
 $n = 450 \text{ obr/min}$ ;  
 $p = 0,90 \text{ m/min}$



Rys. 12 – Obróbka nożem z płytkami z węgla spiekanego H10:  
 $n = 450 \text{ obr/min}$ ;  
 $p = 1 \text{ m/min}$

Analiza pracy poszczególnych noży tokarskich wykazała, że ostrza skrawające z przeciwzużyciową powłoką WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> wykazywały mniejsze zużycie w porównaniu do ostrzy noży niepokrytych powłoką.

Tabela 2

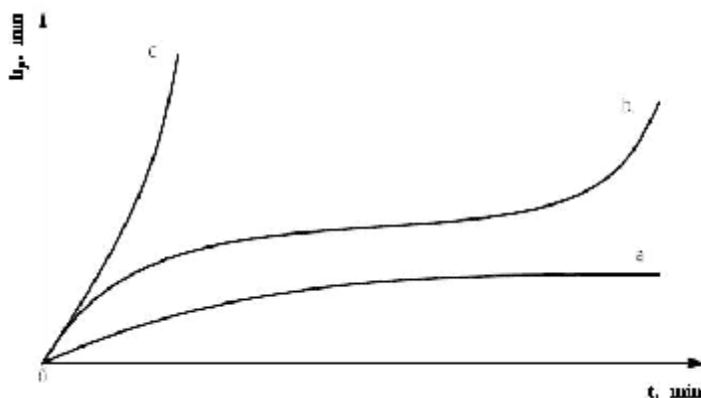
**Zestawienie czasu pracy ostrzy skrawających**

| Materiał płytek | Czas pracy ostrza noża z powłoką WC-Co-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /3TiO <sub>2</sub> [min] | Czas pracy ostrza noża bez powłoki [min] |
|-----------------|--|--|
| SW7M            | 438  | 189                                      |
| S10             | 202  | 277                                      |
| H10             | 476  | 218                                      |

Zastosowanie przeciwzużyciowej powłoki węglkowo-ceramicznej na ostrza skrawające wydłużyło czas ich pracy w niektórych przypadkach nawet dwukrotnie. Wyjątek stanowi płytka wieloostrowa z węgla spiekanego S10 z naniesioną powłoką WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub>, gdzie odnotowano krótszy czas pracy ( $t = 202 \text{ min.}$ ) w odniesieniu do płytki bez powłoki ( $t = 277 \text{ min.}$ ). Powodem tego efektu było wyszczerbienie płytki podczas operacji toczenia. Uszkodzenie płytki mogło być skutkiem wżerów w materiale po obróbce elektroiskrowej lub wadą spoiny płytki z materiałem rdzenia. Wyniki badań zamieszczono w tabeli 2.

Na rysunku 13 przedstawiono przykładowe krzywe zużycia ostrzy skrawających (wskaźnik zużycia powierzchni przyłożenia  $h_p$  w funkcji czasu  $t$ ).

Podsumowując uzyskane wyniki badań można stwierdzić, że ostrza noży z naniesioną powłoką przeciwzużyciową WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> mogą wykonywać toczenie z większymi prędkościami wrzeciona i większym posuwem, co w efekcie podniesie wydajność pracy.



Rys. 13 – Krzywe zużycia ostrzy skrawających:  
 a – płytka z węgla spiekanego H10 z powłoką WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub>;  
 b – płytka z węgla spiekanego H10 bez powłoki;  
 c – płytka z węgla spiekanego S10 z powłoką WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub>

Na krzywej (rys. 13, a) widoczne jest wstępne docieranie współpracujących powierzchni połączone z wyrównywaniem mikronierówności, co w efekcie prowadzi do ustabilizowanego procesu zużycia. Krzywa (rys. 13, b) przedstawia normalny proces zużycia, na której widoczne są trzy fazy: docieranie, zużycie ze stałą intensywnością oraz gwałtowny wzrost zużycia z całkowitą utratą możliwości skrawnych. Natomiast na krzywej (rys. 13c) obserwujemy szybkie zużycie wynikłe z błędu obróbki lub wadliwego materiału ostrza skrawającego.

#### **Badania trwałości gwintowników**

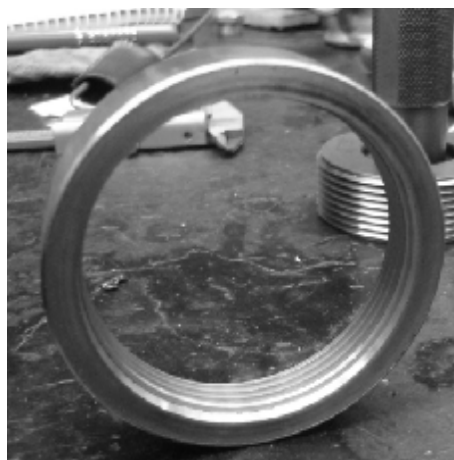
Do badań wybrano gwintowniki wykonane ze stali HSSE (stal szybko tnąca kobaltowa). Badania trwałości wykonano stosując trzy grupy gwintowników: z powłoką TiN naniesioną metodą PVD, z powłoką WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nałożoną obróbką elektroiskrową oraz gwintownik niepowleczoney żadną powłoką. Powłoki zostały naniesione na części robocze gwintownika.

Jako kryterium trwałości części roboczej gwintownika przyjęto postać zużycia ściernego lub wykruszenia materiału.

Testy trwałościowe wykonano na tokarce CNC firmy YDPM BML- 280, która znajduje się w firmie Kiel-inox pod Kielcami (rys. 14). Elementem testowym były mufy ze stali S235JR, które są wytwarzane w w/w zakładzie i stosowane w piecach CO (rys. 15). W czasie operacji gwintowania stosowano płyn obróbkowy EMULKOL PS. Trwałość gwintowników określano liczbą nagwintowanych muf.

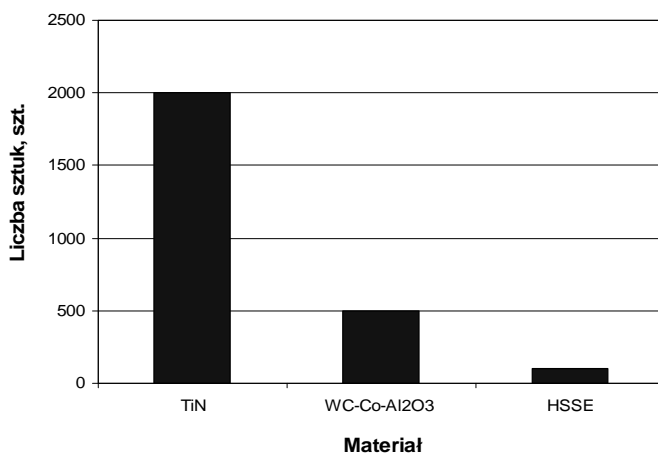


**Rys. 14 – Tokarka CNC z podajnikiem**



**Rys. 15 – Mufa z wykonanym gwintem**

Wyniki badań trwałości gwintowników przedstawia rysunek 16. W wyniku przeprowadzonych badań eksploatacyjnych okazało się, że największą trwałość wykazał gwintownik z powłoką TiN, przy pomocy którego wykonano gwinty w 2000 szt. muf. Gwintownikiem z przeciwzuzyciową powłoką WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> wykonano gwinty w 500 szt. muf. Najmniejszą liczbę gwintów (w 100 szt. muf) wykonano gwintownikiem ze stali HSSE (bez powłoki).



**Rys. 16 – Wykres ilość nagwintowanych muf w zależności od zastosowanego gwintownika**



Analiza zużytych części roboczych gwintowników po teście trwałości wykazała dominującą rolę zużycia ściernego. W mniejszym stopniu występowało wykruszenie bądź wyszczerbienie materiału.

Podsumowując uzyskane wyniki badań można stwierdzić, że gwintownik z naniesioną powłoką WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (obróbka elektroiskrowa) można być stosowany do wykonywania precyzyjnych gwintów na obrabiarkach CNC, choć wykona mniejszą liczbę gwintów w stosunku do gwintownika z powłoką TiN (metoda PVD).

### Wnioski

1. 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 ÷ 7,79 μm, natomiast chropowatość powłok WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> wyniosła Ra = 4,18 ÷ 4,58 μm.

2. Analizując mikrostrukturę stwierdzono, że grubość 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> mieściła się w zakresie 29 ÷ 68 μm, natomiast zasięg strefy wpływu ciepła w głąb materiału podłoża ok. 23 ÷ 31 μm. Ponadto powłoki posiadały mikropełknięcia oraz pory.

3. W wyniku obróbki elektroiskrowej otrzymano powłokę WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> o średniej mikrotwardości-wartości 843 HV0,04 oraz powłokę WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> o średniej mikrotwardości-wartości 851 HV0,04, podczas gdy mikrotwardość materiału podłoża (stali C45) wynosiła 350 HV0,04.

4. Przyczepność powłok węglkowo-ceramicznych do podłoża była porównywalna. Średnia wartość siły krytycznej powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> wyniosła 6,33 N, natomiast powłoka WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> posiadała średnią wartość siły krytycznej na poziomie 6,64 N.

5. Wyznaczone współczynniki tarcia w obydwóch przypadkach naniesionych powłok elektroiskrowych miały zbliżone wartości. Mniejsze wartości współczynników tarcia wystąpiły dla powłoki WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> i mieściły się w zakresie μ = 0,263 ÷ 0,538.

6. Przeprowadzone w rzeczywistych warunkach pracy badania trwałości ostrzy skrawających noży tokarskich i części roboczej gwintowników z powłoką WC-Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub>, dowiodły większą ich trwałość (od 2 do 5 razy) w porównaniu do ostrzy noży i gwintowników nie pokrytych powłoką.

### Literatura

1. <http://www.fanar.pl/katalogi.php>
2. Wysiecki M.: Nowoczesne materiały narzędziowe. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1997.
3. Konstanty J.: Powder metallurgy diamond tools. Elsevier, Oxford 2005.
4. Łazarenko B. R. Łazarenko N. I.: Elektroiskrowaja obrabotka tokoprovodiaszczih materialow. Akademia Nauk CCCP, Moskwa 1958.
5. DiBitonto D. D., Eubank P. T., Patel M. R., Barrufet M. A.: Theoretical models of the electrical discharge machining process. I-A simple cathode erosion model. Journal of Applied Physics 66/9 (1989), 123-131.
6. Ozimina D., Radek N., Styp-Rekowski M.: Modyfikowanie cech warstwy wierzchniej za pomocą obróbki elektroiskrowej. Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji vol. 24, Nr 2 (2004), 229-238.
7. Radek N.: Determining the operational properties of steel beaters after electrospark deposition. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, 4(2009), 10-16.
8. Miernikiewicz A.: Doświadczalno-teoretyczne podstawy obróbki elektroerozyjnej (EDM). Politechnika Krakowska - Rozprawy - nr 274 - Kraków 2000.
9. Galinov I.V., Luban R.B.: Mass transfer trends during electrospark alloying. Surface & Coatings Technology 79 (1996), 9-18.

*The work has been supported by the grant project APVV SK-PL\_0034-12: Research of Tribological Properties of Electro-spark Deposited Coatings*

Поступила в редакцію 13.11.2013

Radek N., Wzalka Z., Shalapko J., Bronchek J., Bilka I., Swiderski J. **Causing of carbon- ceramic coverages, properties and application.**

The subject of the study of morphological and tribological coatings were applied to the electrodes WC-Co- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (85% WC, 10% Co and 5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and WC-Co- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub> (85% WC, 10% Co and 5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/3TiO<sub>2</sub>) a cross-section of 4 mm x 6 mm by spark erosion of the sample made of C45 steel. The coatings were applied argon. A friction resistance test (dry friction) was performed on samples in the form of a ring made of carbon steel C45 higher quality (when normalized).

**Key words:** electrosparks alloying, hard alloys with ceramics, friction, wear.

### Reference

1. <http://www.fanar.pl/katalogi.php>
2. Wysiński M. Nowoczesne materiały narzędziowe. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1997.
3. Konstanty J. Powder metallurgy diamond tools. Elsevier, Oxford 2005.
4. Łazarenko B. R. Łazarenko N. I. Elektroiskrovaja obrabotka tokoprovodiaszczih materiałow. Akademia Nauk CCCP, Moskwa 1958.
5. DiBitonto D. D., Eubank P. T., Patel M. R., Barrufet M. A. Theoretical models of the electrical discharge machining process. I-A simple cathode erosion model. Journal of Applied Physics 66/9 (1989), 123-131.
6. Ozimina D., Radek N., Styp-Rekowski M. Modyfikowanie cech warstwy wierzchniej za pomocą obróbki elektroiskrowej. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji vol. 24, Nr 2 (2004), 229-238.
7. Radek N. Determining the operational properties of steel beaters after electrospark deposition. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, 4(2009), 10-16.
8. Miernikiewicz A. Doświadczalno-teoretyczne podstawy obróbki elektroerozyjnej (EDM). Politechnika Krakowska. Rozprawy - nr 274. Kraków 2000.
9. Galinov I.V., Luban R.B. Mass transfer trends during electrospark alloying. Surface & Coatings Technology 79 (1996), 9-18.