

Sławomir SPADŁO, Piotr MŁYNARCZYK, Wojciech DEPCZYŃSKI

## WYBRANE WŁASNOŚCI STOPOWEJ WARSTWY WIERZCHNIEJ NA BAZIE WOLFRAMU, WYTWORZONEJ TECHNIKĄ ESD

### Streszczenie

W pracy przedstawiono krótką analizę mikroosadzania elektroiskrowego z użyciem elektrody wolframowej. Metoda osadzania elektroiskrowego (ESD) jest metodą obróbki wykonywaną na obrabiarkach EDM wykorzystującą także elektrody stopowe. Elektroda jest wykonana z materiału, który ma być osadzony na powierzchni części obrabianej. Zwrócono uwagę na możliwości stosowania hybrydowego stopowania (wyładowania elektrycznego z oddziaływaniem mechanicznym) jako proces doskonalenia powierzchni dla skomplikowanych części maszyn. Powłoki przeciwwyżyciowe nałożono na stal węglową C45 z wykorzystaniem mikrowyładowań elektrycznych pomiędzy powierzchnią stopowaną i drutem elektrody. Szczególną uwagę zwrócono na możliwości stosowania metody w zwiększaniu odporności na ścierania narzędzi, form wtryskowych i części maszyn. Dokonano oceny rozkładu pierwiastków w warstwie wierzchniej. Wyniki badań wykazały, że istnieje możliwość uzyskania zadowalającej jakości połączenia pomiędzy stalą C45 i nanoszoną warstwą wolframową.

### WSTĘP

Z uwagi na aktualne tendencje w budowie maszyn, często stosowane są stopy o specjalnych właściwościach. Materiały te charakteryzują się trwałością mechaniczną i dużą odpornością na ścieranie i korozję. Wytwarzanie z nich całości konstrukcji jest związane z wysokimi kosztami, a zatem często warstwa wierzchnia jest poddawana modyfikacji [1,2,3].

Istnieje wiele metod modyfikacji warstwy wierzchniej. Przykładem może być osadzanie elektroiskrowe (ESD). Osadzanie elektroiskrowe wykorzystuje krótkie wyładowania elektryczne. Podczas impulsów tworzy się łuk elektryczny i z elektrody zostaje przeniesiony materiał stopowy. Krótki czas trwania impulsu elektrycznego pozwala na bardzo szybkie krzepnięcie materiału osadzanego i powoduje tworzenie jednorodnej powłoki o strukturze amorficznej [4,5,6].

Proces mikroosadzania elektroerozyjnego stosuje się do poprawy właściwości wytrzymałościowych i reologicznych a co za tym idzie podniesienie odporności na korozję. Elektroda wolframowa została wybrana jako źródło materiału warstwy osadzonej na stali C45 w doświadczalnym procesie ESD.

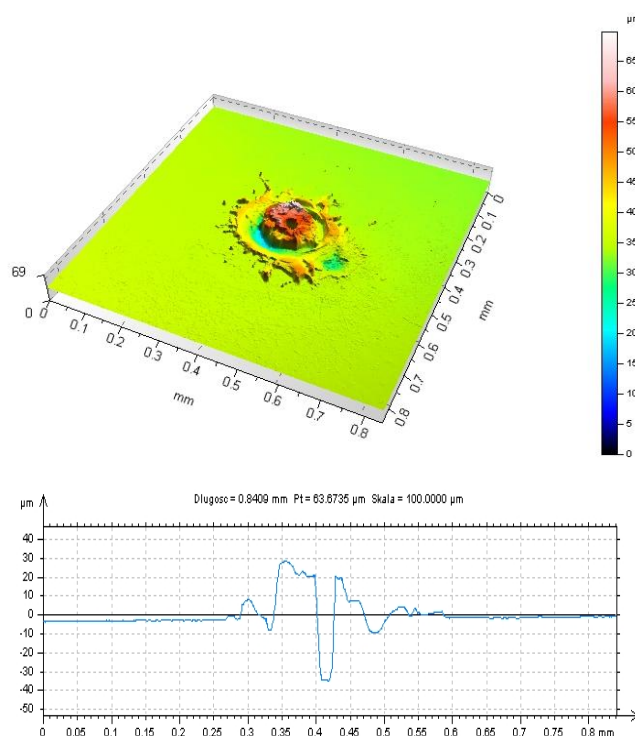
ESD może być realizowane z wykorzystaniem generatora tranzystorowego lub generatora prądu stałego. Proces osadzania przy użyciu elektrody drutowej odbywa się w osłonie nafty lub gazów obojętnych, takich jak argon, dwutlenek węgla itp. [7,8]. Interakcja elektrody (druku) z podłożem jest determinowana właściwościami fizycznymi i geometrycznymi tego procesu.

### 1. TOPOGRAFIA POWIERZCHNI PO OBRÓBCE ESD

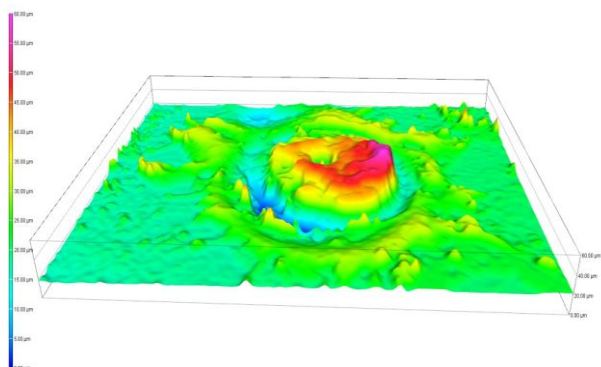
Za materiał bazowy posłużyły próbki ze stali C45, na które została naniesiona warstwa wolframu podczas wyładowań elektroiskrowych (ESD), z zastosowaniem generatora RC do pojedynczego rozładowania. Eksperyment miał miejsce w obecności gazu obojętnego - argon.

Wyniki badania pojedynczych śladów wyładowań elektrycznych obrabianej powierzchni zostały zarejestrowane. Analizę wykonano za pomocą profilometru Talysurf CCI Lite - firmy Taylor Hobson [9], umożliwiającego pomiar parametrów struktury geometrycznej powierzchni oraz wymiarów i objętości struktur powierzchniowych. Typowe obrazy 3D warstwy wierzchniej z kraterem, powstałym

w wyniku pojedynczego wyładowania elektroiskrowego, zaprezentowano na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Pojedynczy krater na powierzchni stopowanej  
a) widok stereometryczny (powiększenie 1000×)  
b) profil chropowatości

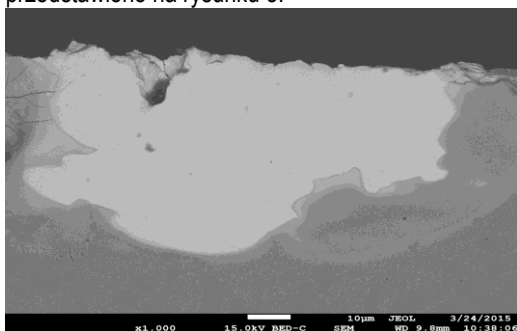


**Rys. 2.** Widok 3D pojedynczego krateru na powierzchni stopowanej (powiększenie 1000x)

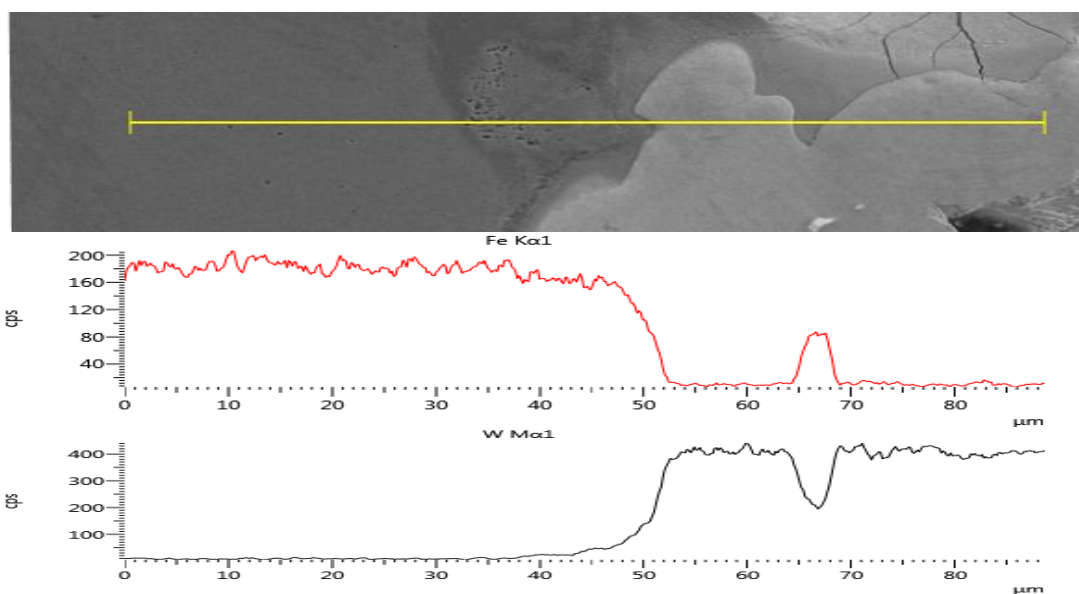
Analiza struktury warstwy wierzchniej wykazała, że stosowanie podczas ESD elektrody w postaci drutu z wolframu, powoduje wzrost Ra o 30µm. Uzyskana geometria mikrokrateru posiada korzystny rozkład szczytów i płaskich wypływek powstałych pod wpływem wyładowania elektrycznego.

## 2. STRUKTURA METALOGRAFICZNA I MIKROTWARDOŚĆ PO ESD

Celem zilustrowania zmian powstałych w strukturze warstwy wierzchniej stali C45 w wyniku procesu ESD, z zastosowaniem elektrody wolframowej, wykorzystano mikroskop optyczny Nikon Eclipse MA 200 z systemem analizy obrazu NIS 4.20. Uzyskany obraz przekroju poprzecznego przez osadzoną warstwę w obszarze krateru przedstawiono na rysunku 3.

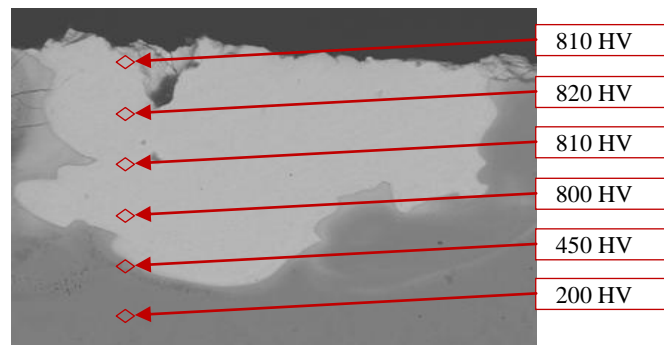


**Rys. 3.** Mikrofotografia SEM przekroju poprzecznego przez warstwę osadzoną metodą ESD (powiększenie 1000x)



**Rys. 5.** Liniowy rozkład pierwiastków uzyskany po procesie ESD na przekroju poprzecznym prostopadle do powierzchni.

Zmiana mikrotwardości jest jednym z podstawowych wskaźników zmiany składu chemicznego i strukturalnego. Pomiary mikrotwardości warstwy wierzchniej i materiału rodzimego zostały wykonane przy użyciu mikrotwardościomierza Matsuzawa Vickers MX 100, przy obciążeniu 100G (0,98 N). Pomiary zostały przeprowadzone w równych odstępach na powierzchni przekroju, przeprowadzonego poprzez krater, prostopadle do powierzchni obrabianej. Na rysunku 4 przedstawiono rozkład mikrotwardości.



**Rys. 4.** Dystrybucja mikrotwardości na powierzchni przekroju przedstawionego na rysunku 3. Mikrofotografia SEM powiększenie 1000x

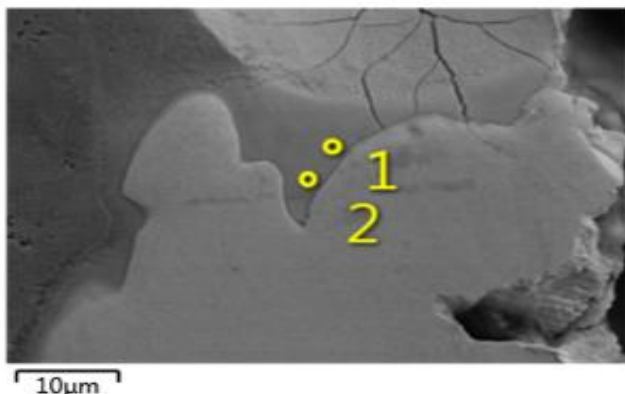
Najwyższa wartość twardości została zaobserwowana w przy powierzchniowej warstwie naniesionego materiału; można też zaobserwować strefę dyfuzyjną, w której twardość spada blisko o połowę w stosunku do naniesionej warstwy, ale też jest ponad dwa razy większa niż twardość materiału rodzimego.

## 3. ANALIZA EDS NANIESIONEJ WARSTWY

Analizę metodą EDS (Energy Dispersive Spectrometry) wykonano za pomocą mikroskopu elektronowego JEOL JSM 7100F z emisją polową (Schottky'ego) i analizatorem OXFORD XRD. Analiza liniowa w przekroju warstwy wierzchniej, otrzymanej po procesie ESD (U = 25V) elektrodą wolframową, została przedstawiona na rysunku 5.

Z powodu chwilowych bezpośrednich kontaktów elektrody i materiału przedmiotu obrabianego dochodzi do modyfikacji warstwy wierzchniej i dyfuzji materiału elektrody narzędzia. Może wystąpić także dyfuzja z gorącej elektrody do materiału rdzenia. Rentgenow-

ska analiza dyfrakcyjna wykazała, że rdzeń bezpośrednio pod warstwą wolframową zawiera 60 - 68% W.



Pierwiastki	1 Wt %	2 Wt %
Fe	31.97	38.40
W	68.03	61.60
Suma:	100.00	100.00

Rys. 6. Punktowa analiza składu chemicznego w warstwie dyfuzyjnej (Wt %- procent wagowy)

## PODSUMOWANIE

Warstwy stopowe mogą mieć grubość kilkudziesięciu do kilkuset mikrometrów

Badania procesu osadzania elektroiskrowego z użyciem elektrody wolframowej wykazały, że:

- Warstwa powierzchniowa poddaje się procesowi osadzania – składniki chemiczne z elektrody przenoszone zostają na powierzchnię stali.
- Analiza rentgenowska stopowanej warstwy wykazuje wzrost zawartości wolframu do 68%.
- Struktura metalograficzna warstwy wierzchniej ujawnia właściwości typowe dla tego rodzaju obróbki.
- Właściwości fizyczne gorącej elektrody oraz poziom napięcia znacząco wpływają na wyniki procesu.

Jeżeli proces osadzania elektroiskrowego jest dobrze sterowany możliwe jest podniesienie twardości warstwy wierzchniej oraz zwiększenie jej odporności na ścieranie i korozję.

## BIBLIOGRAFIA

1. Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S.: The Method of Production Superficial Layer Using Electrical Discharges. Patent PL 183045, (In Polish) 2002.
2. Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S.: The superficial layer of parts machined by brush electro-discharge mechanical machining (BEDMM). Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture, Vol. 218, No. 1, str. 9-15, 2004.
3. Nowicki B., Dmowska A., Podolak-Lejtas A.: A new method of investigating crater and flash made by individual discharge using scanning profilometers. Wear, Vol. 270 (3-4), str. 121-126, 2011.
4. Kurth J.P., Van Humbeeck, Stevens L.: Micro structural investigation and metallographic analysis of the white layer of a surface machined by Electro Discharge Machining, Proc. ISEM XI, str. 849 - 862, Losanna 1995.
5. Mola R., Jagielska-Wiaderek K.: Formation of Al-enriched surface layers through reaction at the Mg-substrate/Al-powder in-

terface, Surface and Interface Analysis Tom: 46, Zeszyt: 8, str. 577-580

6. Miyake H. at all.: Improvement of Tool Life Through Surface Modification by Electrical Discharge Machining. Proc. 12-th ISEM, Aachen, str. 261- 270, 1998.
7. Spadło S.; Kozak J., Młynarczyk P.: Mathematical modelling of the electrical discharge mechanical alloying process. Proceedings of the Seventeenth CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM), Vol. 6, str. 422-426, 2013.
8. Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S.: Comparative Investigation Into The Brush Electrodischarge Alloying With the Electrodes of Alloy Steel and Tungsten. International Journal For Manufacturing Science And Technology Vol. 4, No.(1), str. 44-54, 2003.
9. Janecki D., Stępień K., Adamczak S.: Problems of measurement of barrel- and saddle-shaped elements using the radial method; Measurement, Vol. 43/5, str. 659-663, 2010.

## INVESTIGATION OF THE SELECTED PROPERTIES OF SUPERFICIAL LAYER ALLOYED WITH THE TUNGSTEN ELECTRODES USING ESD TECHNIQUE

### Abstract

The paper presents a brief study of micro-electrospark deposition (ESD) with use of a tungsten electrode. The electro-discharge alloying with wire electrodes is machining method performed using EDM machine with the help of alloy electrode. Electrode is made of material which is to be deposited on the part surface. Attention has been paid to the possibilities of applying hybrid alloying (electrical discharge deposition with mechanical interaction) as a surface improvement process for complex shape parts. The anti-wear coatings were applied on carbon steel C45 with use of micro electrical discharges between alloying surface and wire electrode. Special attention has been paid to the possibilities of applying mentioned method to increase abrasive wear resistance of tools, injection moulds and machine parts. Evaluation of elements distribution in the superficial layer was made. The results of investigations showed that there is a possibility to obtain the satisfying quality of joint between the carbon steel C45 and tungsten layer.

Autorzy:

dr hab. inż. **Sławomir Spadło** prof. PŚK – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Technik Komputerowych i Uzbrojenia, Zakład Materiałoznawstwa i Technologii Amunicji, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, sspadło@tu.kielce.pl

mgr inż. **Piotr Młynarczyk** – Politechnika Świętokrzyska, p.mlynarczyk@tu.kielce.pl

dr inż. **Wojciech Depczyński** – Politechnika Świętokrzyska, wdep@tu.kielce.pl