



Organizator:
Politechnika Warszawska
Instytut Techniki Wytwarzania

Przewodniczący:
Lucjan Dąbrowski
ld@meil.pw.edu.pl
http://snoe.meil.pw.edu.pl

Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych

SNOE

Artykuły naukowe z 2014 r.

Patronat naukowy: SEKCJA PODSTAW TECHNOLOGII KOMITETU BUDOWY MASZYN POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Nowy sposób stopowania elektroiskrowego oraz modyfikacja warstwy wierzchniej metodą roto peen

A new way of electro-discharge alloying and modification of the surface layer by roto peen

AGNIESZKA DMOWSKA*
ANNA PODOLAK - LEJTAS*

Artykuł prezentuje badania dotyczące nowego sposobu prowadzenia obróbki stopowaniem elektroiskrowym, a także późniejszą modyfikację WW obróbką powierzchniową zgniotem typu roto peen. Własności użytkowe warstwy uzyskanej po sekwencji tych obróbek w tym badanie odporności na różne formy zużycia.

SŁOWA KLUCZOWE: stopowanie elektroiskrowe, obróbka elektroerozyjna, roto peen, warstwa wierzchnia.

The paper presents research on a new way of electro discharge alloying treatment, as well as subsequent surface layer modification by cold work surface treatment of roto peen type. Functional properties of surface layer obtained after a sequence of treatments including its resistance to various forms of wear.

KEYWORDS: Electro-discharge alloying, electro discharge machining, roto peen, surface layer.

Stan warstwy wierzchniej w istotny sposób wpływa na eksploatację maszyn. Jest ona narażona w sposób bezpośredni na oddziaływanie współpracujących elementów. Koncentrują się w niej a następnie rozprzestrzeniają na pozostałe warstwy pęknięcia zmęczeniowe i inne formy zużycia dając powody do poszukiwań metod poprawy właściwości WW [1].

Stopowanie elektroiskrowe podobnie, jak obróbka elektroerozyjna EDM wykorzystuje zjawisko wyładowań elektrycznych, jakie zachodzą między przedmiotem obrabianym, a elektrodą roboczą. Podczas EDA transport masy jest dwukierunkowy. Zachodzi erozyjne usuwanie materiału

obrabanego oraz nasycenie warstwy wierzchniej pierwiastkami stopowymi pochodzącymi z elektrody roboczej. Są one przetapiane z materiałem rodzimym przedmiotu obrabianego tworząc nową specyficzną warstwę [2,3]. Poprzez modyfikowanie WW stopowaniem elektroiskrowym możliwe jest tworzenie warstw wierzchnich o specyficznych strukturach o grubości rzędu kilkudziesięciu mikrometrów, co jest trudne do osiągnięcia innymi metodami, podwyższenie twardości warstwy wierzchniej obrabianego elementu, poprawa jego odporności na różne formy zużycia:

- zużycie ściernie,
- korozję,
- erozję.

Stopowanie elektroiskrowe stosowane jest do obróbki powierzchni łożysk pomp do skroplonych gazów, tłoków urządzeń do odlewania pod ciśnieniem a także elementów pomp narażonych na zużycie erozyjne spowodowane piaskiem i zanieczyszczeniami.

Poza wymienionymi zaletami, WW przedmiotów obrobionych stopowaniem elektroiskrowym EDA posiada także wady takie, jak wysoka chropowatość, mikropęknięcia oraz niekorzystne naprężenia rozciągające. Powodują one obniżenie właściwości użytkowych obrobionych części maszyn.

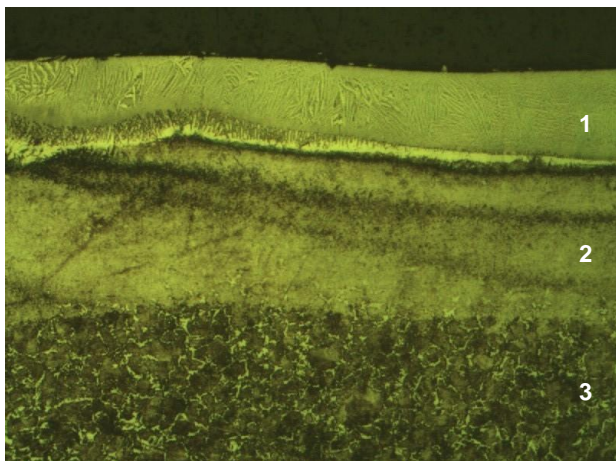
Na końcowy stan WW wpływają trzy procesy. Jest to proces cieplny w wyniku, którego zachodzą zmiany temperatury, następują przemiany strukturalne, powstają naprężenia rozciągające i mikropęknięcia w WW. Proces metalurgiczny, w którym następują przemiany fazowe. Jego efektem jest nowa struktura metalograficzna, oraz zmiany stanu naprężeń WW. Za zmiany naprężeń oraz umocnienie WW odpowiadają procesy mechaniczne. Procesami typowymi dla obróbki EDA są proces cieplny i metalurgiczny. Mogą one wpływać negatywnie na właściwości użytkowe elementu. Aby zniwelować skutki obróbki stopowaniem elektroiskrowym stosuje się kolejne procesy. Jednym ze sposobów obróbki mechanicznej powodujących kompensację tych negatywnych cech jest obróbka powierzchniowa zgniotem z zastosowaniem głowicy roto peen [4,7].

*mgr inż. Agnieszka Dmowska (agdmowska@meil.pw.edu.pl),

*dr inż. Anna Podolak – Lejtas (apodolak@meil.pw.edu.pl),

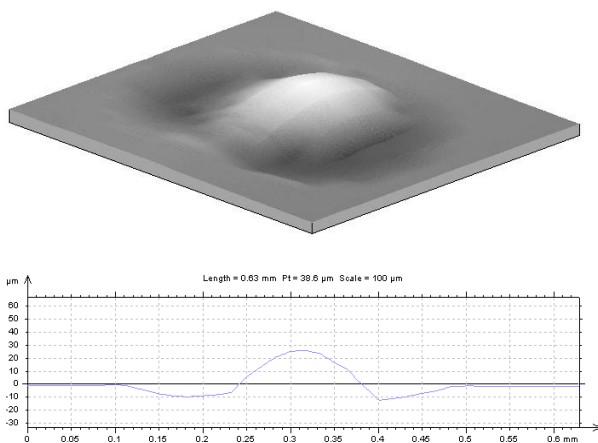
Klasyczną obróbkę stopowaniem elektroiskrowym prowadzi się na urządzeniach z generatorem RC. Odbywa się ona w ośrodku gazowym z użyciem wibratora i elektrody przeciskowej. W pracy zaproponowano nowy sposób obróbki na urządzeniach z generatorem tranzystorowym, prowadzoną w ośrodku ciekłym z użyciem elektrod monolitycznych z materiałów o odmiennych właściwościach.

Warstwa wierzchnia po EDA składa się z trzech charakterystycznych stref [2,3]: przetopionej – zwanej białą, składającą się z materiału zakrzepłego na powierzchni katody i zmieszanego z nim materiału anody, strefy wpływów cieplnych i materiału rodzimego. Struktura warstwy przetopionej ma strukturę krystaliczną o ogólnym kierunkowym, zgodnym z kierunkiem odprowadzenia ciepła położeniem ziaren. Igły kryształów są ukierunkowane prostopadle do stopowanej powierzchni.



Rys. 1. Zdjęcie zglądu metalograficznego WW po EDA. 1) Warstwa biała, 2) Strefa wpływów cieplnych, 3) materiał bazowy.

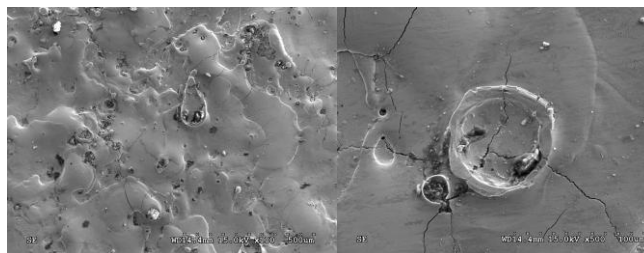
Wstępny etap badań umożliwił poznanie morfologii śladów pojedynczych wyładowań w procesie stopowania elektroiskrowego. Badania prowadzone były na centrum elektroerozyjnym ROBOFORM 30 firmy Charmilles Technologies [5,6] według eksperymentu planowanego pięciopozomowego dwuczynnikowego. Dla badań nad morfologią śladów pojedynczych wyładowań zastosowano parametry na następującym poziomie: $U = 160 \text{ V}$, $I = 1,5 \div 32 \text{ A}$, $T_i = 3,2 \div 800 \mu\text{s}$. Jako parametry wyjściowe uzyskano cechy geometryczne takie, jak: średnica krateru, średnica wypłytki, głębokość krateru, wysokość wzniesienia (materiału naniesionego z elektrody roboczej do wnętrza krateru), objętość wzniesień i objętość krateru.



Rys. 2. Obraz śladu pojedynczego wyładowania wraz z profilogramem

Przeprowadzone badania pozwoliły na zaobserwowanie dwukierunkowego transportu masy czego wynikiem były występujące na obrabianej powierzchni krateru z umiejscowionymi we wnętrzu wzniesieniami z materiału elektrody roboczej. Zaobserwowano znaczną nieregularność w budowie i wielkości śladów.

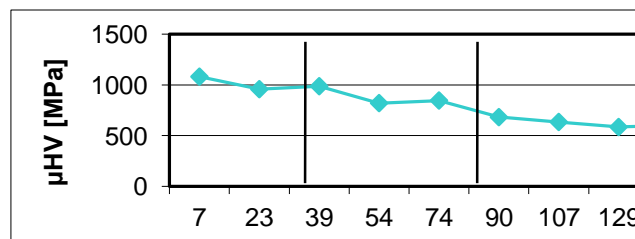
Kolejne badania prowadzono dla elektrod monolitycznych ze stali stopowej 1H18N9, wolframowej i z węgla wolframu z zastosowaniem parametrów wejściowych w następujących zakresach: $U = 160 \text{ V}$, $I = 16 \div 48 \text{ A}$, $T_i = 25 \div 3200 \mu\text{s}$. Uzyskane dane wyjściowe dotyczyły struktury metalograficznej, struktury geometrycznej SGP, zawartości pierwiastków stopowych i ich rozkładu w WW, zmiany mikrotwardości. Zbadano także odporność na zużycie ściernie.



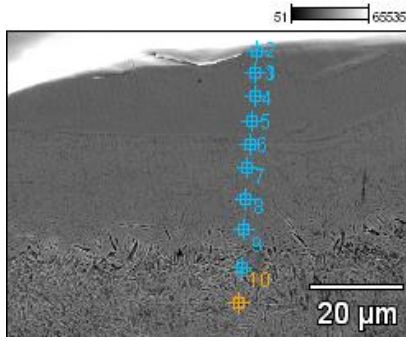
Rys. 3. Zdjęcia powierzchni po stopowaniu elektroiskrowym elektrodą 1H18N9 w nafcie, $I = 32 \text{ A}$, $T_i = 25 \mu\text{s}$, pow. odpowiednio $\times 100$ i $\times 500$.

Na podstawie zglądów metalograficznych otrzymanych WW przeprowadzono pomiary warstwy przetopionej. Grubość otrzymanej warstwy różni się w zależności od zastosowanych parametrów prądowych, jak również materiału zastosowanej elektrody. Uzyskane średnie grubości „warstwy białej” dla elektrody 1H18N9 wynoszą od około $30 \mu\text{m}$ dla $I = 32 \text{ A}$, $T_i = 25 \mu\text{s}$ do niemal $100 \mu\text{m}$ dla $I = 48 \text{ A}$, $T_i = 1600 \mu\text{s}$. Analiza wyników wskazuje na proporcjonalny wzrost średniej grubości warstwy przetopionej ze wzrostem prądu impulsu.

Dla wszystkich prób zostały również przeprowadzone pomiary mikrotwardości w poszczególnych strefach WW. Pomiarów dokonano na zglądach metalograficznych prostopadłych do obrabianej powierzchni wykonanych przy zastosowaniu typowych metod obróbki ścierniej, polerowania i trawienia stosowanych w badaniach struktur metalograficznych. Pomiar przeprowadzany był metodą Vickers'a w 3 rzędach po 9 „odcisków” w głąb próbki. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, iż w warstwie przetopionej następuje wzrost mikrotwardości do ok. 700 do 1200 MPa stosunku do mikrotwardości 600 MPa w materiale rodzimym. Mikrotwardość przy powierzchni jest zwykle największa i stopniowo zmniejsza się w funkcji odległości od powierzchni. Mikrotwardość strefy wpływów cieplnych jest niższa od mikrotwardości strefy przetopionej a wyższa od mikrotwardości rdzenia.

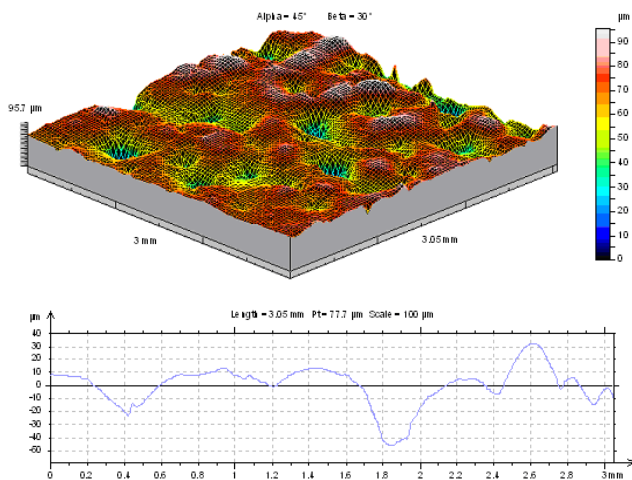


Rys. 4. Przykładowy wykres mikrotwardości w funkcji odległości od krawędzi próbki dla elektrody wolframowej.

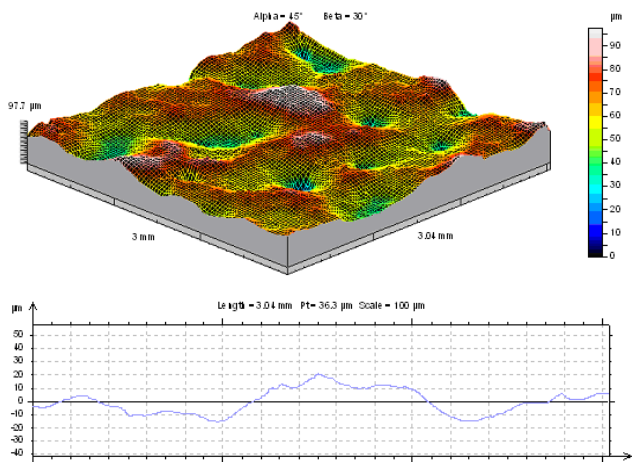


Rys. 5. Fot. SEM z zaznaczeniem punktów przebiegu analizy chemicznej.

Analiza składu chemicznego obejmowała warstwę stopowaną, jak również strefę wpływów cieplnych. Realizowana była ona w próżni wzdłuż linii prostopadłej do powierzchni próbki w głąb WW. Z analizy tej wynika, że grubość warstwy przetopionej o wysokiej zawartości pierwiastków stopowych wynosi około 100 μm , udział wagowy w stopowanej warstwie przetopionej dla elektrody 1H18N9 jest na poziomie: żelazo (84,2 %), chrom (Cr – 5,7%), nikiel (Ni – 2,6 %). Nikiel oraz chrom pochodzą z materiału elektrody natomiast węgiel w części z ropy, a pozostała część z rodzimego materiału próbki.



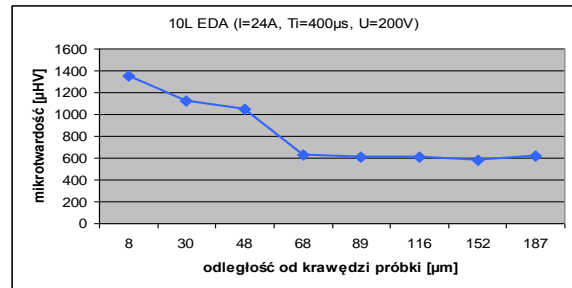
Rys. 6. Mapa warstwicowa i profilogram próbki stopowanej elektrochromowo EDA: $I=24\text{A}$, $T_i=400\mu\text{s}$.



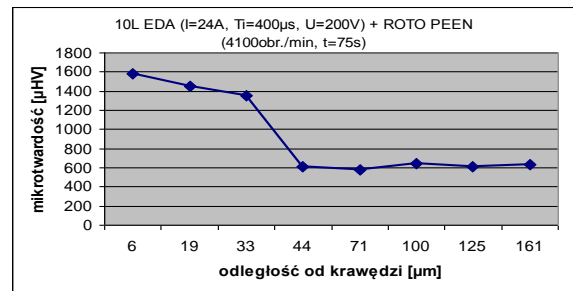
Rys. 7. Mapa warstwicowa i profilogram próbki stopowanej elektrochromowo EDA: $I=24\text{A}$, $T_i=400\mu\text{s}$, roto peen 4100 obr./min., $t = 150\text{ s}$.

Sekwencję obróbek EDA i roto peen przeprowadzono na wybranych parametrach stopowania elektrochromowego z eksperymentu planowanego dwuczynnikowego, pięcioparametrowego. Dobrano prędkość obrotową roto peen aby uzyskać najbardziej efektywną obróbkę zadany czas t . Przebadano uzyskaną strukturę metalograficzną, cechy struktury geometrycznej, mikrotwardość oraz wybrane właściwości użytkowe.

Zastosowanie obróbki powierzchniowej zgniotem typu roto peen daje możliwość trzykrotnego obniżenia wysokości chropowatości. Zmienia także korzystnie jej cechy. Nadaje wierzchołkom duże wartości promieni zaokrąglenia oraz powoduje małe pochylecia nierówności i duży udział nośny.

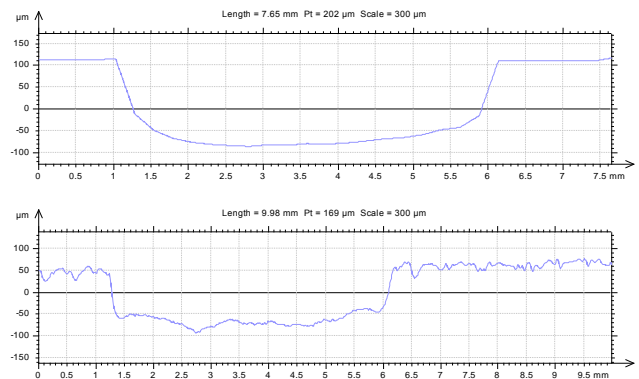


Rys. 8. Wykres mikrotwardości w funkcji odległości od krawędzi dla próbki obrabianej elektrodą wolframową następującymi parametrami: $I = 24\text{ A}$, $T_i = 400\ \mu\text{s}$



Rys. 9. Rozkład mikrotwardości w funkcji odległości od powierzchni próbki stopowanej EDA; elektroda wolframowa $I = 24\text{ A}$. $T_i = 400\ \mu\text{s}$ i obrabianej roto peen $n = 4100\text{ obr./min}$, $t = 75\text{ s}$.

Zastosowanie obróbki powierzchniowej zgniotem typu roto peen wpływa na zwiększenie mikrotwardości warstwy po stopowaniu EDA. Zmienia stan naprężeń z rozciągających na ściskające. Powoduje wzrost odporności uzyskanej WW na różne formy zużycia. Przykładem jest tu odporność na zużycie ściernie erozyjne.



Rys. 10. a) Przykład zużycia ściernie erozyjnego w stali C45 powierzchnia po szlifowaniu; b) Przykład zużycia ściernie erozyjnego próbki stopowanej elektrodą wolframową przy parametrach $I = 32\text{ A}$, $T_i = 25\ \mu\text{s}$

Podsumowanie

Transport masy ma charakter dwukierunkowy w wyniku czego na powierzchni tworzony jest krater wewnątrz którego znajduje się wzniesienie utworzone z materiału anody.

Stopowanie elektrodami monolitycznymi na elektroerozyjnych centrach obróbkowych daje możliwość nasycenia WW pierwiastkami chemicznymi pożądanymi dla wzrostu odporności danego materiału na różne formy zużycia.

Zastosowanie obróbki ROTO PEEN po EDA skutkuje obniżeniem chropowatości, zwiększeniem mikrotwardości i zanikiem mikropęknięć w WW.

Obróbka ROTO PEEN po EDA zwiększa odporność ścierno-erozyjną warstwy uzyskanej tą metodą.

Stopowanie elektroiskrowe daje możliwość uzyskania warstw wierzchnich będących alternatywą dla innych droższych metod stopowania.

LITERATURA

1. Burakowski T., Wierzchoń T., „Inżynieria powierzchni metali”, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1995.
2. Kurth J.P., Van Humbeeck J., Stevens L., Lauwers B., Study of the white layer of a surface machined by die- sinking electro-discharge machining. Ann. Cirp 44(1), 169-172,(1995).
3. Kruth J. P., Van Humbeeck J., Stevens L., “Micro structural investigation and metallographic analysis of the white layer of a surface machined by Electro Discharge Machining”. ISEM XI, 1995
4. Nakonieczny A., Dynamiczna powierzchniowa obróbka plastyczna kulowanie shot peening. Instytut Mechaniki Precyzyjnej, Warszawa 2002.
5. Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S., „Comperative Investigation Into the Brush Electrodischarge Alloying with the Electrodes of Alloy Steel and Tungstan. Int. Journal for Manufacturing Science and Technology. Nr 12.2003
6. Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S., „The Surface Layer of Parts Machined by Brush Electrodischarge Mechanical Machining (BEDMM). Journal of Engineering Manufacturing, Nr 12.2003
7. Przybylski W., Technologia obróbki nagniataniem. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1987.