

# Mikrostruktura warstwy wierzchniej stali po obróbce elektroerozyjnej

## Microstructure of steel after electrical discharge machining

DOROTA ONISZCZUK-ŚWIERCZ  
RAFAŁ ŚWIERCZ\*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.12.566

Przedstawiono analizę mikrostruktury stali po obróbce elektroerozyjnej. Scharakteryzowano właściwości zmienionej struktury wraz z jej defektami. Wyznaczono mikrotwardość zmienionych warstw.

**SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka elektroerozyjna, EDM, mikrostruktura materiału, warstwa biała, mikrotwardość, mikropęknięcia

*The article presents an analysis of the microstructure of steel after electrical discharge machining (EDM). Properties of changed layers (micro hardness and occurrence micro cracks) have been described.*

**KEYWORDS:** electrical discharge machining, EDM, microstructure, white layer, micro hardness, micro cracks

Obróbka elektroerozyjna charakteryzuje się usuwaniem materiału w wyniku oddziaływań cieplnych wywołanych przez powtarzające się wyładowania elektryczne. W trakcie pojedynczego wyładowania elektrycznego szacowana wartość temperatury wewnątrz utworzonego kanału plazmowego wynosi od 8000 do 12000°C [2, 5]. Oddziaływanie procesów termicznych prowadzi do gwałtownego, lokalnego topnienia i parowania materiału obrabianego oraz – w mniejszym stopniu – elektrody roboczej. Dotychczasowe badania doświadczalne procesu erozji elektrycznej wykazują występowanie charakterystycznych zmian w mikrostrukturze obrabianego materiału [3, 6].

### Cel badań

Celem badań była analiza wpływu parametrów i warunków obróbki elektroerozyjnej na mikrostrukturę obrabianego materiału (przyjęto parametry energetyczne impulsów stosowane w obróbce wykończeniowej stali).

### Badania doświadczalne

Badania doświadczalne procesu drążenia elektroerozyjnego prowadzono na obrabiarce Charmilles Form 2LC ZNC. Obróbce elektroerozyjnej (EDM) poddano szlifowane próbki o wymiarach 12 × 12 mm. Równoległość czynnej powierzchni elektrody roboczej do próbki była każdorazowo ustawiana z użyciem czujnika zegarowego firmy Mitutoyo. Odchyłka równoległości powierzchni obrabianej próbki w stosunku do powierzchni czynnej elektrody nie przekraczała 2 μm. W trakcie badań rejestrowano rzeczywiste przebiegi napięciowo-prądowe na opracowanym stanowisku pomiarowym. Wyniki pomiarów wykazały stabilność wyładowań elektrycznych. Warunki badań:

- materiał obrabiany: stal 1.2713 (WNL) (po obróbce cieplnej – twardość 50 HRC),
- parametry obróbki: amplituda natężenia prądu  $I$  w impulsie 3–14 A, czas impulsu  $t_{on}$  10–400 μs,

\* Dr inż. Dorota Oniszczyk-Świercz (doo@meil.pw.edu.pl), dr inż. Rafał Świercz (rsw@meil.pw.edu.pl), – Instytut Techniki Wytwarzania Politechniki Warszawskiej

- dielektryk: nafta,
- głębokość drążenia: 0,2 mm.

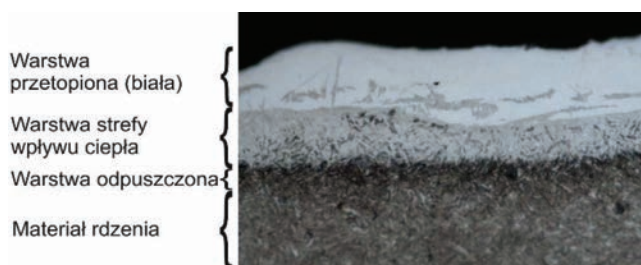
Badania mikrostruktury przeprowadzono na próbkach po obróbce EDM elektrodą miedzianą, zgodnie z przedstawionymi parametrami. Przygotowane próbki (przecięte prostopadle do obrabianej powierzchni) zainkludowano w żywicy i poddano szlifowaniu, a następnie polerowaniu. Poddano je trawieniu chemicznemu nitalem 5% w celu ujawnienia mikrostruktury materiału. Badania struktury metalograficznej powierzchni realizowano z użyciem mikroskopu optycznego NIKON Eclipse LV 150 sprzężonego z komputerowym analizatorem obrazu NIS-Elements BR 3.0.

### Wyniki badań

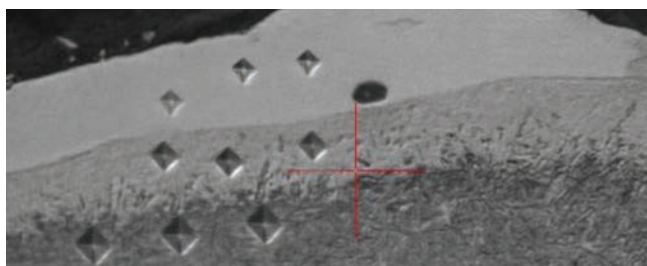
Wyładowania elektryczne podczas obróbki prowadzą do lokalnych procesów topnienia, odparowania materiału, usunięcia produktów obróbki i szybkiego ponownego krzepnięcia nieusuniętej części roztopionego metalu, który na skutek zastygania tworzy warstwę przetopioną (białą). Warstwa przetopiona nie podlega trawieniu klasycznymi odczynnikami – trawiona jest na kolor biały (stąd pochodzi jej nazwa).

Analiza zglądów metalograficznych (rys. 1) wykazuje kierunkowość zmian powstałych w strukturze obrabianego materiału, która jest wynikiem szybkiego chłodzenia tych stref (prostopadle do materiału rdzenia). Warstwa przetopiona charakteryzuje się obecnością pierwiastków zarówno materiału rdzenia, jak i elektrody roboczej. Bezpośrednio pod warstwą białą znajduje się strefa wpływu ciepła, o podwyższonej twardości w stosunku do materiału rdzenia. Zbudowana jest z martenzytu listkowego i austenitu szczątkowego. Pod warstwą zahartowaną znajduje się strefa odpuszczona, która powstaje na skutek resztkowego oddziaływania strumienia ciepła na materiał rdzenia.

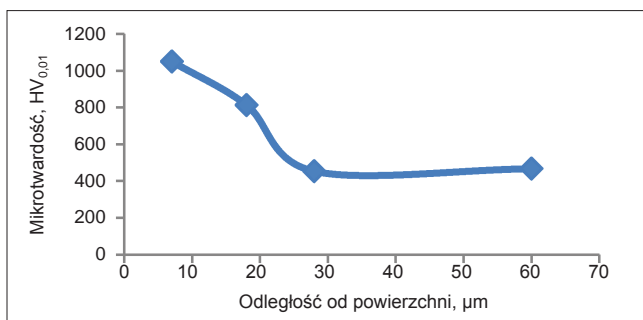
Z punktu widzenia właściwości mechanicznych obrabianych powierzchni istotna jest twardość zmienionych warstw. W większości analizowanych zglądów metalograficznych warstwa przetopiona jest niemal trzykrotnie twardsza od materiału rdzenia (rys. 2, 3). Typowa mikrotwardość warstwy białej dla stali zawiera się w przedziale  $HV_{0,01} = 700\text{--}1200$  (dla materiałów poddanych wcześniejszej obróbce cieplnej) [1, 4]. Wzrost mikrotwardości warstwy przetopionej może być spowodowany dyfuzją cząstek węgla powstałych z pirolizy nafty podczas wyładowań



Rys. 1. Struktura metalograficzna stali 1.2713 po obróbce elektroerozyjnej



Rys. 2. Struktura metalograficzna stali WNL po obróbce elektroerozyjnej – badanie mikrotwardości warstw zmienionych

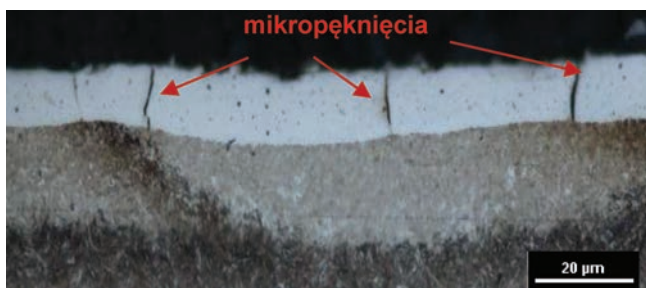


Rys. 3. Rozkład mikrotwardości w analizowanej próbce

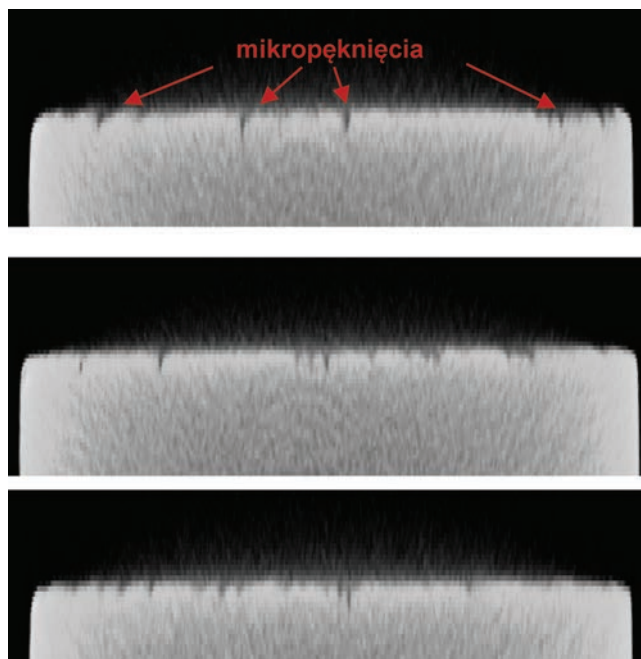
elektrycznych. Warstwa strefy wpływu ciepła charakteryzuje się również podwyższoną (dwukrotnie) twardością w stosunku do materiału rdzenia (rys. 3). Warstwa odpuszczona natomiast ma zbliżoną twardość do materiału rdzenia, która w analizowanym przypadku wynosi ok. 450 HV<sub>0,01</sub>.

Obserwowane zmiany twardości warstwy zahartowanej i odpuszczonej wynikają z oddziaływania strumienia ciepła w trakcie wyładowań elektrycznych. Strumień ciepła jest katalizatorem przemian fazowych w mikrostrukturze obrabianego materiału.

Oddziaływanie procesów termicznych zachodzących podczas obróbki EDM nie tylko powoduje zmiany w mikrostrukturze materiału, ale również jest źródłem typowych defektów mikrostruktury. Mikropęknięcia generowane są na skutek naprężeń cieplnych powstałych w wyniku oddziaływania efektów termicznych wyładowania elektrycznego. Roztopiony materiał jest wyrzucany z kanału plazmowego, przy czym pozostaje cienka warstwa roztopionego metalu na powierzchni rdzenia materiału o znacznie niższej temperaturze. W wyniku chłodzenia i krzepnięcia roztopionej warstwy powstaje skurcz, któremu przeciwdziała materiał rdzenia, a w konsekwencji generowane są naprężenia rozciągające. Przekroczenie dopuszczalnej wytrzymałości na rozciąganie materiału jest zatem przyczyną powstawania mikropęknięć (rys. 4). Mikropęknięcia są efektem niepożądanym, powodującym m.in. zmniejszenie wytrzymałości zmęczeniowej i odporności na korozję.



Rys. 4. Mikropęknięcia w warstwie białej dla parametrów obróbki:  $U = 25 \text{ V}$ ;  $I = 3,2 \text{ A}$ ;  $t_{on} = 400 \text{ μs}$ ;  $t_{off} = 11 \text{ μs}$



Rys. 5. Mikropęknięcia zarejestrowane na zdjęciach (przekrojach) wykonanych tomografem komputerowym; parametry obróbki:  $U = 25 \text{ V}$ ;  $I = 3,2 \text{ A}$ ;  $t_{on} = 400 \text{ μs}$ ;  $t_{off} = 11 \text{ μs}$

Przy użyciu tomografu komputerowego wykonano zdjęcia w przekrojach dwóch próbek co 0,1 mm (rys. 5). Analiza zdjęć wykazała, że mikropęknięcia występują w większości badanych próbek na ich całej powierzchni.

Defekty mikrostruktury (mikropęknięcia) są powiązane z uzyskaną grubością warstwy przetopionej. Przy parametrach odpowiadających obróbce wykończeniowej uzyskano najmniejszą grubość warstwy przetopionej, ale również zaobserwowano najwięcej mikropęknięć. Może to wynikać z koncentracji naprężeń rozciągających tuż pod warstwą białą, które prowadzą do jej pęknięcia.

## Podsumowanie

Mikrostruktura stali 1.2713 po obróbce elektroerozyjnej kształtowana jest w wyniku oddziaływania gwałtownych lokalnych procesów termicznych, które determinują przemiany fazowe w materiale. Charakterystyczne dla badanego procesu jest występowanie mikropęknięć w warstwie białej, co skutkuje obniżeniem wytrzymałości zmęczeniowej materiału.

## LITERATURA

- Cusanelli G., Hassler-Wyser A., Bobard F., "Microstructure at submicron scale of the white layer produced by EDM machining". *Journal of Materials Processing Technology*. 149 (2004): pp. 289–295.
- Perez R., Boccadoro M. et al. "Advanced strategies for improving the surface integrity in electroerosion machining". *ISEM*. 2010: pp. 163–168.
- Spadło S., Dudek D. „Badania dokładności geometrycznej otworów drążonych metodą EDM”. *Mechanik*. Nr 12 (2015): s. 23–28.
- Santos R.F., Silva E.R., Sales W.F., Raslan A. „Analysis of the surface integrity when nitriding AISI 4140 steel by the sink electrical discharge machining (EDM) process”. *Procedia CIRP*. Vol. 45 (2016): pp. 303–306.
- Sidhom H. et al. "Effect of electro discharge machining (EDM) on the AISI316L SS white layer microstructure and corrosion resistance". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 65, Iss. 1 (2013): pp. 141–153.
- Żyra A., Skoczypiec S. „Wpływ dielektryka na cechy strukturalne i morfologiczne stali austenitycznej po obróbce elektroerozyjnej”. *Mechanik*. Nr 1 (2016): s. 26–28.