

Badania wpływu przepłukiwania szczeliny roboczej na efekty obróbki elektroerozyjnej (EDM)

Investigation of the influence of flushing the working gap on the effects of electrodischarge machining (EDM)

SŁAWOMIR SPADŁO
DOMINIK DUDEK *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.1.20>

W artykule przedstawiano wyniki badań dotyczących oceny wpływu przepłukiwania szczeliny roboczej na efekty obróbki elektroerozyjnej. Badania przeprowadzono dla drążenia trepanacyjnego z uwzględnieniem dwóch wariantów podawania cieczy roboczej do strefy obróbki, tj. włączania i odsysania. Zbadano wpływ sposobu przepłukiwania szczeliny roboczej na wydajność obróbki i stan warstwy wierzchniej.

SŁOWA KLUCZOWE: drążenie elektroerozyjne, topografia powierzchni, warstwa wierzchnia

This paper discusses experimental results of research on the assessment of the impact of working gap flushing effects processing. The study was conducted for drill trepanation at two variants feed fluid in the treatment zone (injection and extraction working fluid). The influence of productivity, surface topography.

KEYWORDS: electrical discharge machining, surface topography

Obróbka elektroerozyjna jest jedną z metod obróbki materiałów trudnoobrabialnych. W tym procesie usuwanie mikroobjętości materiału z przedmiotu obrabianego następuje w wyniku wyładowań elektrycznych pomiędzy elektrodą roboczą a przedmiotem obrabianym. Proces obróbki przebiega w cieczy roboczej o właściwościach dielektryka. Elektroda robocza oddalona jest od przedmiotu obrabianego o pewną odległość nazywaną szczeliną roboczą. W warunkach poprawnie przebiegającego procesu nie występuje bezpośredni styk pomiędzy elektrodą roboczą a przedmiotem obrabianym (układy sterowania posuwem elektrody roboczej wykrywają stany przedzwarcia i powodują zmniejszenie prędkości posuwu lub wycyfywanie elektrody roboczej z obszaru obróbki), a po przekroczeniu napięcia granicznego pomiędzy elektrodą roboczą a przedmiotem obrabianym następuje uporządkowany ruch elektronów [5, 6]. Elektrony z elektrody zderzają się z atomami ośrodka międzyelektrodowego, powodując ich jonizację. W wyniku lawinowego narastania opisywanych zjawisk wytworzony zostaje wypełniony jonami i elektronami kanał plazmowy o wysokiej temperaturze. Oddziaływanie wysokiej temperatury na powierzchnię obrabianego przedmiotu powoduje topnienie mikroobjętości materiału oraz jej częściowe odparowywanie. Towarzyszące wyładowaniu elektrycznemu procesy gazodynamiczne powodują wyrzucanie z obszaru wyładowania strug roztopionego materiału, który zastyga w cieczy roboczej w postaci kulek (sfer). Końcowym efektem wyładowania na powierzchni przedmiotu obrabianego są krater [2, 3, 4].

Wyniki badań obróbki elektroerozyjnej są przedmiotem wielu publikacji. Z uwagi na brak modeli teoretycznych opisujących w zadowalający sposób zjawiska w szczelinie międzyelektrodowej prowadzone są badania mające na celu poszerzenie wiedzy o procesie EDM. Poszukiwane są rozwiązania, które umożliwiłyby zoptymalizowanie procesu przy zachowaniu wymagań dotyczących m.in. stanu warstwy wierzchniej, wydajnościowych wskaźników użytkowych obróbki elektroerozyjnej i ekonomiki procesu.

Metodyka badań

Celem przeprowadzonych badań doświadczalnych było określenie wpływu sposobu przepłukiwania szczeliny międzyelektrodowej w strefie obróbki elektroerozyjnej na wydajność procesu, topografię powierzchni oraz stan warstwy wierzchniej. Badano dwa sposoby podawania cieczy roboczej: włączanie oraz odsysanie.

■ **Przedmiot badań.** Przedmiotem badań były próbki wykonane ze stali 145Cr6 w postaci walców o średnicy 24,9 mm i wysokości 25 mm. Próbkę poddano obróbce cieplnej – hartowaniu i odpuszczaniu – i uzyskano twardość 62 HRC. Stal 145Cr6 jest stalą narzędziową do pracy na zimno. Charakteryzuje się niewielkim odkształceniem podczas hartowania oraz wysoką odpornością na ścieranie. Znajduje m.in. zastosowanie jako materiał na: matryce do głębokiego tłoczenia na zimno, wykrojniki (płyty tnące), przyrządy pomiarowe.

■ **Warunki badań.** Analizę porównawczą wykonano przy stałych parametrach prądowych (amplitudzie prądu 25 A, czasie impulsu 210 μ s, czasie przerwy 20 μ s) i dwóch wariantach podawania dielektryka (włączaniu i odsysaniu). Wskaźniki wydajnościowe określono na podstawie wyników trzech prób dla stałych parametrów prądowych oraz dla odsysania i włączania cieczy roboczej. Dielektryk w procesie drążenia stanowiła nafta kosmetyczna. Jako elektrodę roboczą zastosowano miedzianą rurkę o średnicy zewnętrznej 11,5 mm. Do pomiaru topografii powierzchni wykorzystano profilometr optyczny Talysurf CCI Lite. Obserwację mikrostruktury warstwy wierzchniej przeprowadzono na zglądach za pomocą mikroskopu metalograficznego odwróconego Nikon Eclipse MA 200.

Wyniki badań i ich analiza

Analizowano dwa wskaźniki wydajnościowe, tj. wydajność objętościową V_{ww} (zdefiniowaną jako stosunek objętości materiału usuniętego w wyniku erozji do czasu procesu) oraz współczynnik objętościowego zużycia elektrody roboczej ϑ (wyrażony w procentach i zdefiniowany jako

* Dr hab. inż. Sławomir Spadło prof. PŚk (sspadlo@tu.kielce.pl), dr inż. Dominik Dudek (dominik_dudek@op.pl) – Politechnika Śląska

stosunek objętościowego zużycia elektrody do objętości usuniętego materiału w wyniku erozji). Zestawienie użytych wskaźników wydajnościowych procesu zawarto w tabl. I.

TABLICA I. Wyniki pomiarów wskaźników wydajnościowych dla wariantu z odsysaniem oraz z wtlaczaniem cieczy roboczej (CR)

| Nr próby | Odsysanie CR | | Wtlaczanie CR | |
|----------------------|---------------------------------|------------|---------------------------------|------------|
| | V_{ww} , mm ³ /min | η , % | V_{ww} , mm ³ /min | η , % |
| 1 | 31,49 | 2,97 | 64,07 | 6,18 |
| 2 | 31,15 | 2,75 | 63,42 | 6,12 |
| 3 | 30,75 | 3,13 | 64,23 | 6,15 |
| Średnia arytmetyczna | 31,13 | 2,95 | 63,91 | 6,15 |

Analiza wyników badań wskazuje, że w wariacie z wtlaczaniem cieczy roboczej do strefy obróbki uzyskano dwukrotnie większą wydajność objętościową niż w przypadku odsysania. Dla przypadku wtlaczania cieczy roboczej współczynnik objętościowego zużycia elektrody roboczej wzrósł ok. dwukrotnie. Zależność ta spowodowana jest znacznie krótszym czasem obróbki w przypadku wtlaczania cieczy roboczej. W wariacie tym łatwiej było usuwać produkty erozji, w wyniku czego intensywność drażenia była dużo wyższa niż w wariacie pierwszym przepłukiwania.

Oceny topografii powierzchni dokonano na podstawie pomiarów 3D. Pomiary wykonano w trzech punktach wydrążonego otworu, tj. w jego górnej, środkowej i dolnej części. Przeanalizowano trzy parametry: Sp – wysokość najwyższego wierzchołka powierzchni o ograniczonej skali, Sv – głębokość najniższego dołu powierzchni o ograniczonej skali oraz Sa – średnią arytmetyczną wysokość powierzchni o ograniczonej skali. W tabl. II zamieszczono uzyskane wyniki pomiarów dla wariantu z odsysaniem cieczy roboczej [1].

TABLICA II. Wyniki pomiarów parametrów chropowatości 3D dla wariantu z odsysaniem cieczy roboczej

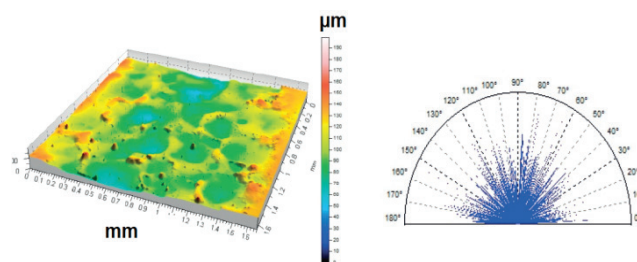
| Miejsce pomiaru | Sp , μm | Sv , μm | Sa , μm |
|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Góra otworu | 98,77 | 100,50 | 15,30 |
| Środek otworu | 97,23 | 98,13 | 15,27 |
| Dół otworu | 141,31 | 117,86 | 18,20 |

Analiza wyników pokazuje, że w wariacie z odsysaniem cieczy roboczej uzyskano większe wartości parametrów chropowatości powierzchni. Jest to spowodowane trudnościami z usuwaniem produktów erozji ze szczeliny międzyelektrodowej. W warunkach odsysania cieczy roboczej, z uwagi na możliwość wywołania niewielkich spadków ciśnienia w szczelinie międzyelektrodowej, wydajność (a więc i prędkość przepływu) jest ograniczona. Dodatkowo te trudności nasilają się wraz ze wzrostem długości kanału (głębokości drażenia).

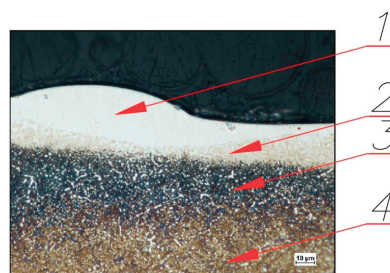
Badania topografii powierzchni uzupełniono mapami wysokościowymi profili chropowatości oraz wykresami biegunowymi jej rozkładu.

Przykładowe wykresy topografii powierzchni 3D dla wariantu z odsysaniem cieczy roboczej z obszaru obróbki dla górnej części próbki przedstawiono na rys. 1.

Analiza wykresów chropowatości 3D wskazuje, że w badanych punktach na różnych wysokościach wykonanego otworu powierzchnie charakteryzują się izotropowością rozkładu chropowatości. Brak kierunkowości struktury geometrycznej powierzchni jest typową cechą powierzchni po obróbce elektroerozyjnej [1].



Rys. 1. Topografia powierzchni 3D oraz wykres biegunowego rozkładu chropowatości dla wariantu z odsysaniem cieczy roboczej – górna część otworu próbki ($I_w = 25 \text{ A}$; $t_i = 210 \mu\text{s}$; $t_o = 20 \mu\text{s}$)



Rys. 2. Mikrofotografia (pow. 500 \times) warstwy zmienionej powierzchni obrabianej elektroerozyjnie ($I_w = 25 \text{ A}$; $t_i = 210 \mu\text{s}$; $t_o = 20 \mu\text{s}$) w wariacie z wtlaczaniem cieczy roboczej do strefy obróbki: 1 – warstwa biała, 2 – strefa wpływów cieplnych, 3 – warstwa odpuszczona, 4 – materiał rodzimy. Materiał obrabiany: 145Cr6

Na rys. 2 przedstawiono przykładową mikrofotografię struktury metalograficznej warstwy wierzchniej. Analiza uzyskanych mikrofotografii pozwala zaobserwować na obrabianej powierzchni charakterystyczną dla obróbki elektroerozyjnej mikrostrukturę metalograficzną.

Na mikrofotografiach dla wariantu z wtlaczaniem cieczy roboczej w strefę obróbki można zauważyć warstwę białą pozbawioną mikropęknięć na badanym odcinku powierzchni. Taki stan może wynikać z mniejszej intensywności oddziaływań cieplnych w strefie obróbki. W przypadku wtlaczania cieczy roboczej w strefę obróbki następuje bardziej efektywne (ze względu na większy wydatek przepływu) przepłukiwanie szczeliny międzyelektrodowej w porównaniu z przypadkiem odsysania cieczy roboczej.

Podsumowanie

Kierunek podawania cieczy roboczej w strefę obróbki jest istotnym elementem procesu obróbki elektroerozyjnej. Wtlaczanie cieczy roboczej do szczeliny międzyelektrodowej umożliwia pokonywanie oporów hydraulicznych wynikających z lepkości, co z kolei skutkuje intensywniejszym przepłukiwaniem szczeliny i odprowadzaniem produktów erozji. Ma to bezpośredni wpływ m.in. na wydajność procesu, zużycie elektrody roboczej, topografię powierzchni oraz stan warstwy wierzchniej po obróbce elektroerozyjnej.

LITERATURA

- Adamczak S. „Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość”. Warszawa: WNT, 2008.
- Albiński K. „The Polarity of Electrodes in Electro-Discharge Machining”. *Proc. ISEM - XI*, Lausanne, 1995: s. 95–104.
- Ruszaj A. „Niekonwencjonalne metody wytwarzania elementów maszyn i narzędzi”. Kraków: Instytut Obróbki Skrawaniem, 1999.
- Siwczyk M. „Obróbka elektroerozyjna: poradnik technologa”. Firma Naukowo-Techniczna „Mieczysław Siwczyk”, 2005.
- Spadło S., Dudek D. „Investigation of the shape accuracy of cylindrical holes machined by EDM process. Non-conventional machining processes”. *Journal of Machine Engineering*. 12, 2 (2012): s. 98–104.
- Spadło S., Dudek D. „Badania dokładności geometrycznej otworów drążonych metodą EDM”. *Mechanik*. 12 (2015): s. 23–28.