

# Obróbka elektroerozyjna – badanie impulsów elektrycznych napięcia i natężenia prądu

## EDM – analyses of current and voltage waveforms

DOROTA ONISZCZUK-ŚWIERCZ  
 RAFAŁ ŚWIERCZ \*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.2.29>

W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych monitorowania przebiegów napięciowo-prądowych w warunkach obróbki elektroerozyjnej. Określono wpływ parametrów procesu erozji na stabilność obróbki.

**SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka elektroerozyjna, napięcie, natężenie, przebiegi

*The article presents results of monitoring current and voltage waveforms in EDM process. The relations between process parameters and stability of electrical erosion have been determined.*

**KEYWORDS:** electrical discharge machining (EDM), current, voltage, waveforms

Rozwój obróbki elektroerozyjnej jest bezpośrednio związany z rozwojem technologii budowy generatorów obrabiarek i ich układów sterowania. W procesie erozji elektrycznej materiałów najważniejszym czynnikiem wpływającym na stan warstwy wierzchniej, dokładność i wydajność usuwania materiału oraz zużycie elektrod jest charakter impulsów prądu i napięcia elektrycznego (kształt impulsów, wartość amplitudy napięcia elektrycznego i prądu, czas impulsu i przerwy) [4, 5]. W warunkach obróbki elektroerozyjnej nie wszystkie impulsy są efektywne, co wynika z różnego rodzaju zaburzeń w szczelinie międzyelektrodowej. Kumulacja wyerodowanego materiału w szczelinie międzyelektrodowej może prowadzić do powstawania seryjnych wyładowań łukowych i tym samym do zmniejszenia efektywności procesu usuwania materiału. Monitorowanie procesu jest więc istotne ze względu na optymalizację parametrów procesu. Najnowsze publikacje [1–3, 6] wskazują na potrzebę dalszego rozwoju zarówno systemów monitorujących przebiegi prądu, jak i napięcia elektrycznego w celu zapewnienia odpowiedniej stabilności i wydajności obróbki. Prowadzone są prace nad konstrukcją nowych zasilaczy i obwodów pozwalających na uzyskanie najkorzystniejszych charakterystyk impulsów.

### Badania doświadczalne

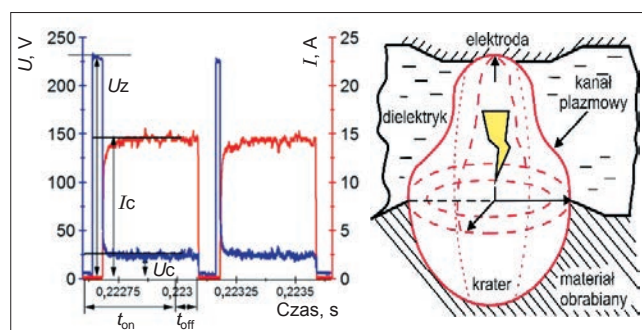
Celem badań było monitorowanie rzeczywistych przebiegów napięcia i natężenia prądu w warunkach obróbki elektroerozyjnej oraz wyznaczenie obszarów stabilności procesu erozji.

Opracowano tor pomiarowy, który pozwolił na wyznaczenie charakterystyki generatora obrabiarki. Rejestrowano rzeczywiste przebiegi prądu i napięcia elektrycznego w warunkach ciągłej obróbki elektroerozyjnej EDM. Pomiar natężenia prądu był realizowany metodą pośrednią – na podstawie spadku napięcia elektrycznego na boczniku bezindukcyjnym. Maksymalna wartość spadku napięcia dla nastawianych wartości prądu nie przekraczała 3 V,

zatem sygnał podawany był bezpośrednio do karty oscyloskopowej. Pomiaru napięcia wyładowania elektrycznego dokonano przez wpięcie w układ sondy 10-krotnie zmniejszającej. Poszczególne połączenia między elementami wykonano z przewodów koncentrycznych ekranowanych zakończonych wtykami BNC lub z użyciem zacisków. Opracowano aplikację w środowisku LabView, która umożliwiała sterowanie pracą karty oscyloskopowej. Zarejestrowane dane przekazywane były bezpośrednio na dysk twardy komputera. Przetwarzanie i analiza uzyskanych wyników pomiarów odbywały się w programie DIAdem firmy National Instruments. Wyznaczenie rzeczywistych przebiegów natężenia prądu i napięcia elektrycznego wymagało zastosowania odpowiednich przeliczników (0,187 V/1 A – dla pomiaru prądu, 10-krotne zwiększenie wartości amplitudy dla pomiaru napięcia elektrycznego).

Obróbka elektroerozyjna następuje w momencie spadku napięcia zasilania  $U_z$  do napięcia wyładowania  $U_c$  i wzrostu natężenia prądu wyładowania  $I_c$  w czasie impulsu  $t_{on}$  (rys. 1). Napięcie elektryczne doprowadzone z generatora do elektrod zanurzonych w dielektryku wytwarza niejednorodne i zmienne w czasie pole elektryczne (rzędu 110 V/m). Przy dostatecznym natężeniu pola elektrycznego i określonym napięciu  $U_g$ , zwanym napięciem granicznym, następuje emisja elektronów z katody. Elektrony zderzają się z atomami ośrodka i powodują ich lawinową jonizację udarową, wskutek czego tworzy się kanał plazmowy. Prąd przepływający przez kanał powoduje topnienie i parowanie materiału obrabianego i elektrody roboczej, w wyniku czego powstają wgłębienia, zwane kraterami.

Zakończenie cyklu pracy generatora, spadek napięcia elektrycznego i natężenia prądu powodują implozyjne zamknięcie kanału plazmowego i pęcherza gazowego. Materiał wyrzucony z kraterów zastyga w dielektryku, tworząc produkty obróbki. Część materiału, która nie została usunięta z krateru, ponownie na nim zastyga. Następuje stabilizacja warunków w szczelinie, po czym proces powtarza się cyklicznie. Ilość erodowanego materiału w trakcie pojedynczego impulsu istotnie wpływa na wydajność objętościową drążenia, która jest jednym z podstawowych parametrów związanych z ekonomią wykorzystania EDM w procesach produkcyjnych.



Rys. 1. Rzeczywiste przebiegi napięcia i natężenia prądu oraz schemat procesu erozji

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

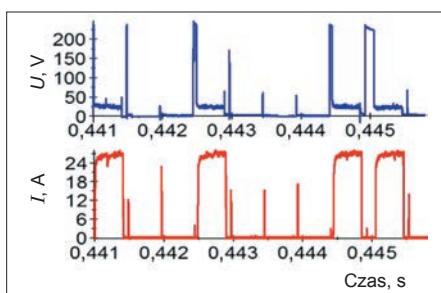
Napięcie wyładowania  $U_c$  ma decydujący wpływ na zjawisko jonizowania kanału, przez który płynie prąd. Dla wyższego napięcia wyładowania możliwe jest ustawienie większej wartości szczeliny międzyelektrodowej i tym samym ułatwienie jej płukania oraz odprowadzania produktów przez dielektryk. Wzrost napięcia wyładowania powoduje jednocześnie wzrost chropowatości powierzchni i wydajności usuwania materiału.

Natężenie wyładowania  $I_c$  bezpośrednio wpływa na ilość erodowanego materiału. Maksymalne wartości natężenia prądu stosowane są w obróbce zgrubnej, aby zapewnić odpowiednią wydajność procesu. W zależności od rodzaju materiału elektrody roboczej maksymalna wartość gęstości prądu nie powinna przekraczać 15 A/cm<sup>2</sup> dla elektrod miedzianych i 25 A/cm<sup>2</sup> dla elektrod grafitowych.

Czas impulsu  $t_{on}$  w powiązaniu z natężeniem prądu decyduje o ilości energii cieplnej dostarczonej do obrabianego materiału. Wraz ze wzrostem czasu impulsu i natężenia prądu zwiększa się zarówno średnica, jak i głębokość kraterów powstałych w wyniku wyładowania elektrycznego. Czas przerwy  $t_{off}$  odpowiada za stabilizację warunków w szczelinie międzyelektrodowej (odprowadzenie produktów obróbki, dejonizację kanału wyładowania).

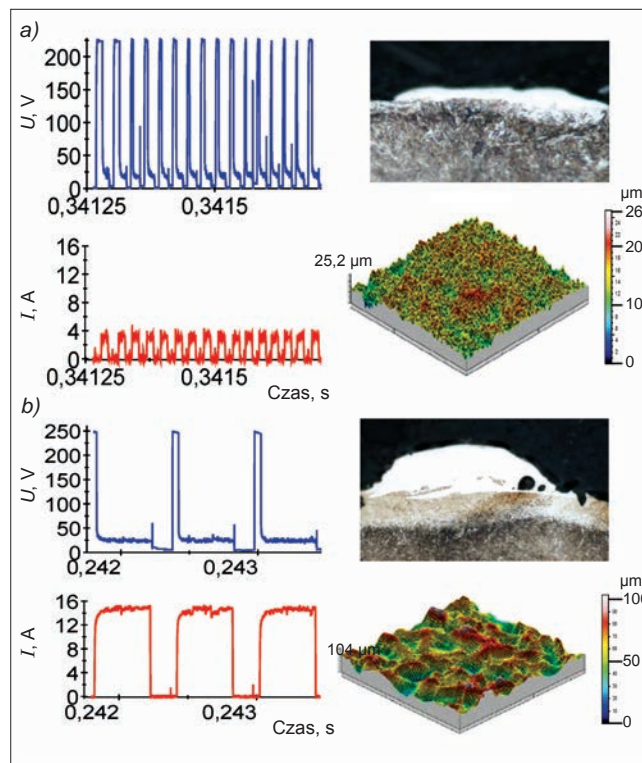
Wykonano ponad 100 prób drążenia, w których rejestrowano rzeczywiste przebiegi napięcia elektrycznego i natężenia prądu w zakresie:  $I_c$  – od 1,7 do 36 A,  $t_{on}$  – od 6 do 1200  $\mu$ s,  $t_{off}$  – od 6 do 600  $\mu$ s. Badania obejmowały analizę odchylenia wartości wymienionych parametrów nastawianych w stosunku do rzeczywistych zmierzonych. Analiza uzyskanych przebiegów napięciowo-prądowych wykazała, że dla najwyższych nastawianych wartości natężenia prądu i czasu impulsu oraz minimalnych wartości czasu przerwy w większości przypadków dochodzi do wyładowań łukowych lub zwarc. Dla krótkich czasów przerwy  $t_{off}$  kanał plazmowy może nie zostać całkowicie zdejonizowany, przez co zwiększa się prawdopodobieństwo powstania kolejnego wyładowania w tym samym miejscu. Nieodprowadzone produkty obróbki powstałe w wyniku erozji materiału powodują obniżenie oporności ośrodka (dielektryka) i następuje destabilizacja warunków w szczelinie. Istnieje wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia zwarcia. Układ sterowania obrabiarki przeciwdziała opisanym zjawiskom poprzez zwiększenie szczeliny międzyelektrodowej (chwilowe podniesienie elektrody) i jednocześnie wydłuża czas przerwy (rys. 2).

Prawidłowa praca układu sterowania generatora zapewnia powtarzalność energetyczną wyładowań. W związku z tym przedstawione zaburzenia nie mają istotnego wpływu na jakość obrabianych powierzchni. Niemniej jednak źle dobrane zakresy nastawianych parametrów mogą znacząco wpływać na wydajność procesu. Wyniki badań doświadczalnych potwierdzają gaussowski rozkład gęstości mocy wyładowania, zależny od charakteru impulsów elektrycznych. Dla krótkich czasów impulsów i najmniejszych wartości natężenia prądu struktura geometryczna powierzchni charakteryzuje się dużym zagęszczeniem



Rys. 2. Zarejestrowane przebiegi prądu i napięcia elektrycznego

wierzchołków nierówności. W wyniku oddziaływania strumienia ciepła następują zmiany w mikrostrukturze materiału – pojawiają się: warstwa przetopiona, strefa wpływu ciepła czy warstwa odpuszczona (rys. 3). Wzrost natężenia prądu i czasu impulsu powoduje zwiększenie średnicy i mocy kanału wyładowania, co skutkuje generowaniem chropowatości o znacznie większej wysokości i odległości między poszczególnymi wierzchołkami. Czas oddziaływania źródła ciepła ma decydujący wpływ na grubość warstwy strefy wpływu ciepła. Wraz ze wzrostem czasu impulsu rośnie ilość energii cieplnej dostarczonej do materiału obrabianego (poprzez kondukcję), w wyniku czego następują przemiany fazowe.



Rys. 3. Przebiegi prądowo-napięciowe wraz z obrazami stereometrycznymi powierzchni po obróbce elektroerozyjnej i zdjęciami zglądów metalograficznych powierzchni stali WNL 60 HRC: a)  $U_c = 25$  V,  $I_c = 3,2$  A,  $t_{on} = 13$   $\mu$ s,  $t_{off} = 11$   $\mu$ s; b)  $U_c = 25$  V,  $I_c = 14,3$  A,  $t_{on} = 400$   $\mu$ s,  $t_{off} = 150$   $\mu$ s

## Podsumowanie

Proces erozji EDM zależy głównie od charakteru impulsów elektrycznych, tj. wartości natężenia prądu wyładowania, czasu impulsu, napięcia wyładowania i przebiegu impulsu. Parametry te definiują wartość energii dostarczonej do materiału obrabianego oraz wielkość i kształt kanału wyładowania.

## LITERATURA

- Li C.J. et al. "Discharge current shape control method and experiment in wire EDM". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 87 (2016): s. 3271–3278.
- Chaojiang Li et al. "Gap current voltage characteristics of energy-saving pulse power generator for wire EDM". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 77 (2015): s. 1525–1531.
- Dongbo Wei et al. "Analyzing of discharge wave oscillation mechanism in electrical discharge machining". *Procedia CIRP*. 42 (2016): s. 23–27.
- Leppert T. „Proekologiczne trendy w obróbce elektroerozyjnej”. *Mechanik*. 4 (2015): CD, s. 134–141.
- Ruszaj A., Skoczypiec S. „Tendencje rozwojowe wybranych niekonwencjonalnych procesów wytwarzania”. *Mechanik*. 4 (2015): CD, s. 1–8.
- Yinsheng Fan et al. "Research on maintaining voltage of spark discharge in EDM". *Procedia CIRP*. 42 (2016): s. 28–33.