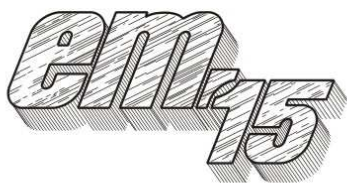


## XII Międzynarodowa Konferencja - Electromachining 2015



UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Zakład Inżynierii Produkcji  
STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW  
MECHANIKÓW POLSKICH – Koło Uczelniane UTP

85-789 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7  
tel. (0 52) 340-87-47, fax. (0 52) 340-82-45,  
e-mail: tomasz.paczkowski@utp.edu.pl

## Wysokowydajne drążenie elektroerozyjne głębokich otworów w materiałach o małej przewodności cieplnej

### High-performance Electrical Discharge Machining of deep hole in materials with low thermal conductivity

ŁUKASZ SOSINOWSKI<sup>1</sup>  
MAREK ROZENEK<sup>2</sup>

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu czasu impulsu  $t_{on}$ , przy ustalonych pozostałych parametrach obróbki EDM, na wybrane parametry struktury geometrycznej obrabianej powierzchni.

**SŁOWA KLUCZOWE:** drążenie elektroerozyjne, przewodność cieplna, chropowatość powierzchni, struktura geometryczna powierzchni.

*The paper presents the results of the influence of the pulse time  $t_{on}$ , at the fixed others parameters of Electrical Discharge Machining, on selected parameters of the geometric structure of the treated surface.*

**KEYWORDS:** Electrical Discharge Machining, thermal conductivity, surface roughness, geometric structure of surface.

#### Wprowadzenie

Obróbka elektroerozyjna (EDM) polega na usunięciu materiału z przedmiotu obrabianego wskutek wyładowań elektrycznych zachodzących pomiędzy materiałem obrabianym, a elektrodą roboczą, które zanurzone są w cieczy dielektrycznej. Metoda ta wykorzystywana jest do obróbki przedmiotów o złożonych kształtach wykonanych z materiałów trudnoobrabialnych, których przewodność elektryczna jest większa od 0,01 S/cm. Przepływający w szczeliny międzyelektrodowej prąd powoduje topnienie i parowanie materiału obrabianego i elektrody roboczej, w wyniku czego powstają wgłębienia zwane kraterami. Materiał wyrzucony z karterów zastęga w dielektryku tworząc produkty obróbki. Część materiału, która nie została usunięta z krateru ponownie zastęga

na powierzchni [1]. Wydajność i stan warstwy wierzchniej zależą między innymi od przewodnictwa cieplnego materiału obrabianego.

Przewodnictwo ciepła polega na transporcie energii bez obserwowanego ruchu makroskopowego ciał biorących udział w przenoszeniu energii, transport energii zachodzi dzięki mikroskopowym zderzeniom cząstek. Mechanizm przewodzenia ciepła w ciałach stałych zależy od rodzaju ciała. W przypadku ciał nieprzeźroczystych przewodzenie jest wyłącznym sposobem transportu ciepła. Przewodność cieplna jest zdolnością do wyrównywania energii wewnętrznej. Największe współczynniki przewodzenia ciepła mają metale. Ich przewodność cieplna maleje wraz ze wzrostem temperatury. Metale, które są najlepszymi przewodnikami ciepła, są równocześnie najlepszymi przewodnikami elektryczności [2].

Chropowatość powierzchni jest cechą powierzchni ciała stałego, oznacza rozpoznawalne optyczne lub wyczuwalne mechanicznie nierówności powierzchni, niewynikające z jej kształtu, lecz przynajmniej o jeden rząd wielkości drobniejsze. Chropowatość w przeciwieństwie do innej podobnej cechy – falistości powierzchni, jest pojęciem odnoszącym się do nierówności o relatywnie małych odległościach wierzchołków. Wielkość chropowatości powierzchni zależy od rodzaju materiału i przede wszystkim od rodzaju jego obróbki. W budowie maszyn najczęściej stosuje się dwa parametry Ra i Rz, które można uznać za podstawowe. Określają one:

- Ra - Średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej,
- Rz - Wysokość chropowatości według dziesięciu punktów profilu.

Stosowane w praktyce metody sprawdzania i pomiaru chropowatości powierzchni można podzielić na trzy zasadnicze grupy [3]:

<sup>1</sup>mgr inż. Łukasz Sosinowski (lukasz.sosinowski@wp.pl)

<sup>2</sup>dr hab. inż. Marek Rozenek (mrozenek@meil.pw.edu.pl)

- porównanie z wzorcami,
- pomiar metodami optycznymi,
- pomiar metodą stykową.

### Metodyka badań

Przeprowadzono badania doświadczalne w celu sprawdzenia wpływu czasu impulsu  $t_{on}$ , przy stałych pozostałych parametrach EDM, na strukturę geometryczną powierzchni po obróbce elektroerozyjnej [4]. Badania zostały wykonane na drążarce elektroerozyjnej Charmilles Drill 20, widocznej na rys. 1.



Rys. 1. Drążarka elektroerozyjna Drill 20 firmy Charmilles.

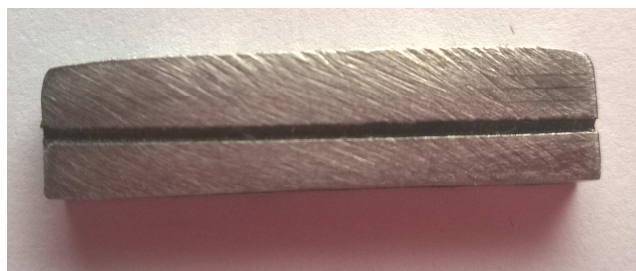
Wykonano 9 przelotowych otworów w płaskowniku o grubości 40 mm ze stali nierdzewnej – kwasoodpornej OH18N9. Stal ta charakteryzuje się niską przewodnością cieplną wynoszącą  $\lambda = 15 \text{ W/mK}$ . Do tego celu użyto elektrod rurkowych, mosiężnych (Cu-Zn) o średnicy 1 mm. Proces odbywał się w obecności dielektryka (woda demineralizowana i dejonizowana). W poniższej tabeli przedstawiono parametry obróbki z jakimi były realizowane badania.

Tab. 1. Parametry obróbki realizowane w badaniu

Parametry wejściowe	
▪ czas impulsu $t_{on}$ w przedziale	19 – 99 $\mu\text{s}$
Parametry wejściowe ustalone	
▪ napięcie wyładowania U	6 V
▪ amplituda natężenia prądu I	25 ~30 A
▪ czas przerwy między impulsami $t_{off}$	19 $\mu\text{s}$
Parametry wyjściowe	
▪ średnica wydrążonych otworów d	
▪ chropowatość powierzchni Ra, Rz	

Po wykonaniu otworów przecięto je równoległe do ich osi za pomocą elektroerozyjnej wycinarki drutowej Robofil 190. Zabieg przecinania przeprowadzono w sposób nie wpływa-

jący na wyniki badań. Widok jednej z przygotowanych do pomiarów próbek został pokazany na rys. 2.



Rys. 2. Widok jednej z próbek pomiarowych

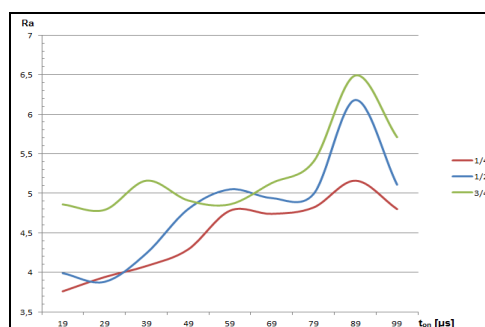
Po przygotowaniu próbek podzielono każdą z nich na trzy strefy: górną, środkową i dolną. W każdej ze stref wykonano pomiary na profilometrze Talysurf 10, przedstawionym na rys. 3.



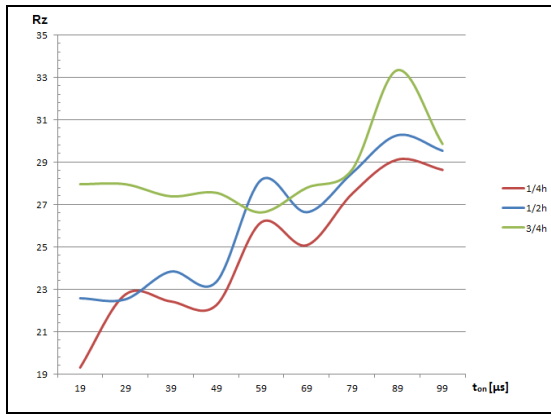
Rys. 3. Profilometr Talysurf 10 firmy Taylor Hobson

### Wyniki badań

Chropowatość powierzchni oraz dokładność wymiarowo – kształtowa są to jedne z najważniejszych użytkowych cech charakteryzujących obróbkę EDM. Chropowatość powierzchni obrabianych elektroerozyjnie jest wynikiem wzajemnie nakładających się kraterów. W rezultacie wysokość nierówności jest tym większa, im większa jest energia poszczególnych impulsów [5], [6]. W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczono zależność chropowatości Ra i Rz powierzchni obrabianej od czasu trwania impulsu  $t_{on}$ . Zależność parametru chropowatości Ra od czasu trwania impulsu  $t_{on}$  przedstawia rys. 4, zaś zależność Rz od  $t_{on}$ , została pokazana na rys. 5.



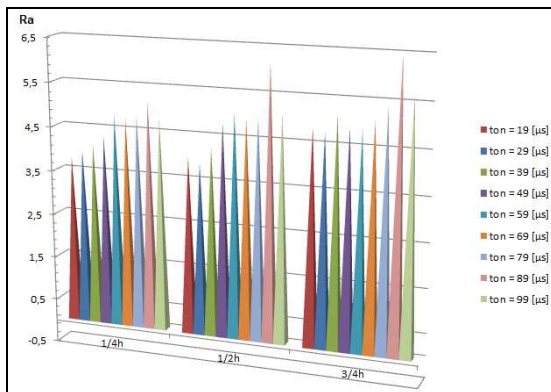
Rys. 4. Zależność parametru chropowatości powierzchni Ra od czasu trwania impulsu  $t_{on}$



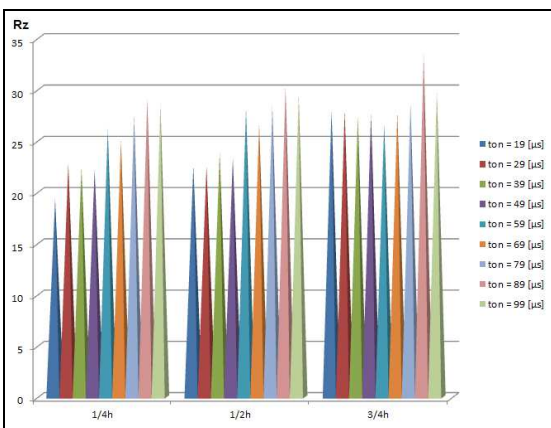
Rys. 4. Zależność parametru chropowości powierzchni Rz od czasu trwania impulsu  $t_{on}$ .

Na podstawie zależności parametru chropowości powierzchni Ra od czasu trwania impulsu  $t_{on}$ , można zaobserwować, że wraz ze wzrostem czasu impulsu parametr chropowości nieznacznie wzrasta. Otrzymane wartości znajdują się w tej samej (4 – 5) klasie chropowości.

Kolejną rzeczą, którą zauważono był fakt, iż wraz ze wzrostem głębokości drążonego otworu h, parametry chropowości Ra i Rz wzrastają. Przyczyną takiego zjawiska mogą być: zmiana właściwości dielektryka, zmiana ciśnienia dielektryka, gorsze odprowadzanie produktów obróbki lub większa bezwładność elektrody roboczej. Zależności parametrów chropowości Ra i Rz od głębokości drążonych otworów h zostały zobrazowane odpowiednio na rys. 6 i 7.

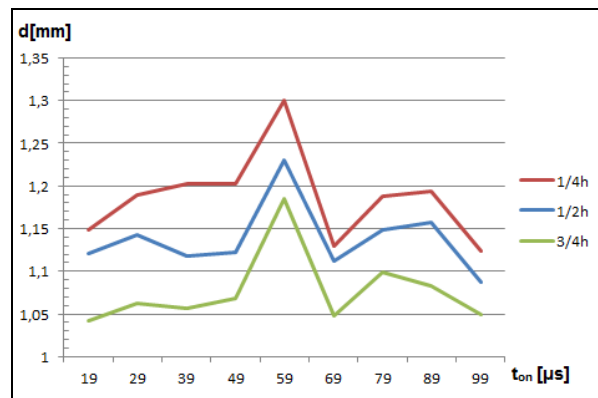


Rys. 5. Zależność parametru chropowości powierzchni Ra od głębokości drążonego otworu h



Rys. 6. Zależność parametru chropowości powierzchni Rz od głębokości drążonego otworu h

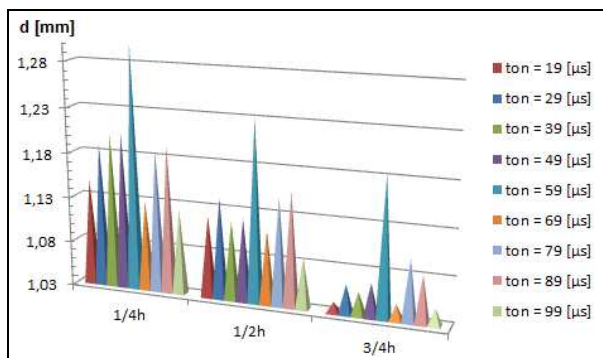
Na podstawie wyników badań wyznaczono także zależność średnicy drążonych otworów d od czasu trwania impulsu  $t_{on}$ , którą przedstawiono na rys. 8.



Rys. 7. Zależność średnicy wydrążonych otworów d od czasu trwania impulsu  $t_{on}$ .

Z zależności średnicy wydrążonych otworów od czasu impulsu wynika, że czas ten w niewielkim stopniu wpływa na średnicę drążonych otworów. Tylko w jednym przypadku widoczny jest większy wzrost średnicy przy  $t_{on}$  równym 59  $\mu$ s.

Następnym spostrzeżeniem jest fakt, iż wraz ze wzrostem głębokości drążonego otworu zmniejsza się jego średnica. Powody takiego zachowania mogą być takie same jak w przypadku parametru chropowości. Zależność średnicy wydrążonych otworów d od głębokości otworów h została przedstawiona na rys. 9.



Rys. 8. Zależność średnicy wydrążonych otworów d od głębokości otworu h

## Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań wpływu czasu impulsu  $t_{on}$  na parametry chropowości powierzchni Ra i Rz oraz średnicę drążonych otworów d, można sformułować następujące wnioski:

- wraz ze wzrostem głębokości drążonych otworów h, parametry chropowości Ra i Rz wzrastają,
- chropowość obrabianych powierzchni minimalnie zwiększa się wraz ze wzrostem czasu trwania impulsu  $t_{on}$ ,
- przy tym samym czasie trwania impulsu  $t_{on}$  średnica drążonych otworów d zmniejsza się wraz ze wzrostem ich głębokości h,

- czas trwania impulsu  $t_{on}$  ma minimalny wpływ na średnicę drażonych otworów  $d$ ,
- przy czasie trwania impulsu  $t_{on}$ , krótszym od czasu przerwy  $t_{off}$ , zauważono, że elektroda robocza ulega nadmiernemu zużyciu, a średnica drażonego otworu wraz ze wzrostem jego głębokości znacznie maleje.

Należy przeprowadzić dalsze badania w celu wyznaczenia wpływu jaki mają: zmiana dielektryka, zmiana ciśnienia dielektryka oraz zmiana średnicy elektrody roboczej na wyniki obróbki elektroerozyjnej.

#### LITERATURA

1. Dąbrowski L., Marciniak M., Nowicki B., Obróbka skrawaniem, ścierna i erozyjna, Warszawa, 2007.
2. Bejan A., Heat Transfer, Wiley, New York, 1993.
3. Zawora J., Nowicki B., Metrologia wielkości geometrycznych, Warszawa, 2001.
4. Oczóś K. E., Liubimov V., 2003, Struktura geometryczna powierzchni. Oficyna Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
5. Lee H.T., Tai T.Y., Relationship between EDM parameters and surface crack formation. Journal of Materials Processing Technology 142, 2003, 678(683).
6. Tai T., Lee H., Hsu F., The influence of working parameters and size effect on surface roughness during EDM process. 15<sup>th</sup> ISEM, Pittsburgh, 2007, 93(97).