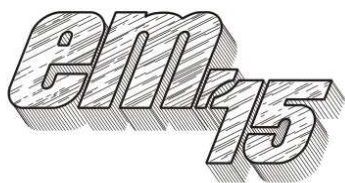


XII Międzynarodowa Konferencja - Electromachining 2015



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

Wpływ wybranych parametrów mechanicznych na dokładność i chropowatość przedmiotów po obróbce WEDM

Investigation into the impact of mechanical parameters on the accuracy and roughness of work piece machining after WEDM

MICHAŁ MARCZAK¹
DOROTA ONISZCZUK²
RAFAŁ ŚWIERCZ³

W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych na podstawie eksperymentu planowanego, dla którego zmiennymi były parametry mechaniczne w procesie wycinania elektroerozyjnego (wysokość materiału, prędkość przewijania drutu oraz prędkość przepływu dielektryka). Obróbkę przeprowadzano w dwóch przejściach (zmieniając parametry przejścia wykańczającego). Dla każdej powierzchni zostały statystycznie wyznaczone równania regresji oraz charakterystyki parametrów chropowatości i odchyłek kształtu.

SŁOWA KLUCZOWE: WEDM, wycinanie elektroerozyjne, wycinanie elektroerozyjne wykańczające, odchyłka kształtu po WEDM, chropowatość powierzchni po WEDM.

The article presents the results of studies based on the planned experiment, for which variables were mechanical parameters in EDM cutting process (material height, the wire speed and the velocity of dielectric fluid). Machining carried out in two offset passes and selected parameters related to the second pass (finishing). For each surface have been create statistically regression equation and characteristics of roughness and roundness and straightness.

KEYWORDS: wire electrical discharge machining, finishing wire electrical machining, accuracy after WEDM, surface roughness after WEDM.

Wycinanie elektroerozyjne elektrodą drutową (WEDM) jest procesem złożonym podczas którego zachodzi oddziaływanie wielu zjawisk fizyko-chemicznych oraz mechanicz-

nych. Istotną rolę odgrywają parametry prądowe, hydrodynamiczne oraz mechaniczne procesu tj. energia i częstotliwość wyładowania, prędkość przepływu dielektryka itd. Odpowiedni dobór parametrów wejściowych determinuje uzyskanie żądanej struktury geometrycznej powierzchni oraz jej dokładność.

Dotychczasowe badania wykazały, że czynnikiem wpływającym na powstawanie błędów podczas procesu jest przepływ dielektryka [3]. Przy dużej wartości ciśnienia podawania cieczy do szczeliny elektroda robocza jest wprowadzana w ruch drgający, który jest główną przyczyną powstawania błędów. Stwierdzono również, że krótszy czas przerwy zapewnia ciągłość obróbki, co również korzystnie wpływa na dokładność wykonania przedmiotów.

Daw [2] minimalizuje drgania elektrody roboczej poprzez przeprowadzenie obróbki w całkowitym zanurzeniu w dielektryku. Jego zdaniem główną przyczyną powstawania drgań drutu mogą być nierównomierności ciśnienia podawania dielektryka z dysz jak również zaburzenia jego przepływu.

Liang [4] przy użyciu szybko rejestrującej kamery CPA (Camera Picture Analysis) dokonał pomiaru ugięcia elektrody roboczej podczas procesu WEDM. Wykazał również, że wyeliminowanie całkowitego ugięcia elektrody nie jest możliwe, jednak można je zredukować. Dokonać można tego w drugim bądź trzecim przejściu elektrody po zaprogramowanym profilu.

Podjęty temat badań jest z jednej strony uzupełnieniem wyżej opisanego stanu wiedzy, a z drugiej strony kontynuacją prac badawczych prowadzonych w Zakładzie Obróbek Wykańczających i Erozyjnych Politechniki Warszawskiej [5]. Celem doświadczeń jest wykazanie zależności między do-

¹mgr inż. Michał Marczak (mim@meil.pw.edu.pl)

²dr inż. Dorota Oniszczyk (doo@meil.pw.edu.pl)

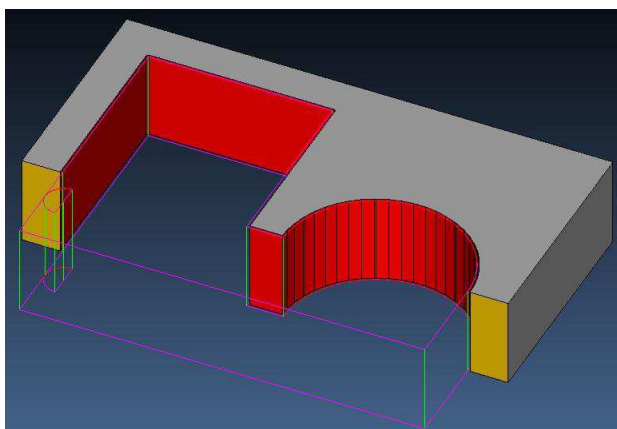
³dr inż. Rafał Świercz (rsw@meil.pw.edu.pl)

kładnością i chropowatością przedmiotu po obróbce WEDM, a parametrami wejściowymi w postaci prędkości przewijania elektrody drutowej W_s , prędkości wypływu dielektryka z górnej i dolnej głowicy V oraz wysokości materiału ciętego H , po drugim (wykańczającym) przejściu.



Rys. 1. Obrabiarka elektroerozyjna Robofil 440 SLP

Do badań wykorzystano zanurzeniową obrabiarkę elektroerozyjną Robofil 440SLP (rys. 1) z założonym drutem mosiężnym dacoCut o średnicy 0,25 mm i naciągu 500 N/mm².



Rys. 2. Model obróbkowy geometrii wycinanej

Obróbkę prowadzono w dwóch przejściach zgrubnym i wykańczającym. Po przejściu zgrubnym usuwano odpad materiału, modyfikowano parametry technologiczne zgodnie z eksperymentem planowanym i uruchamiano przejście wykańczające.

Badania przeprowadzono na podstawie trójpoziomowego, trójparametrowego eksperymentu planowanego (tab. 1), dla którego dobrano parametry obróbki (tab. 2).

Materiałem obrabianym była stal zahartowana do wartości 56 HRC. Każdą z próbek po obróbce pomierzono na profilometrze skaningowym FORM TALYSERF Series 2 firmy Taylor Hobson GB co pozwoliło uzyskać obrazy stereometryczne powierzchni oraz wartości parametrów chropowatości. Następnie przeprowadzono pomiary dokładności kształtu dla powierzchni płaskich oraz walcowych na 5-osiowej współrzędnościowej maszynie pomiarowej G80-C z głowicą pomiarową P20.

Tab. 1. Wartości zmiennych niezależnych zawartych w planowanym eksperymencie

Lp.	W_s	V_{H2O}	H
1	-1	-1	-1
2	-1	0	1
3	-1	1	0
4	0	1	-1
5	0	-1	1
6	0	0	0
7	1	-1	0
8	1	0	-1
9	1	1	1

Tab. 2. Wartości zmiennych wykorzystanych w eksperymencie

Ramię gwiazdne	-1	0	1
W_s [m/min]	2	5,5	9
V_{H2O} [l/min]	2	6	10
H [mm]	20	60	100

Na podstawie przeprowadzonych badań opracowano statystyczne modele matematyczne opisujące wpływ wybranych parametrów obróbki na parametry chropowatości oraz odchyłki kształtu (płaskości i walcowości). Wyznaczono w programie STATISTICA równania regresji opisane funkcją wielomianu stopnia drugiego. Dla każdego równania wyznaczono współczynnik korelacji R , odzwierciedlający zmienność badanej cechy oraz współczynnik determinacji R^2 . Istotność otrzymanego współczynnika korelacji (jego adekwatność na poziomie istotności $\alpha = 0,2$) sprawdzono testem Fishera-Snedecora, (jeżeli spełniona jest nierówność $F/F_{kr} > 1$, to współczynnik R jest istotny).

Równanie regresji dla chropowatości powierzchni walca R_a ($R = 0,94$, $R^2 = 0,88$, $F/F_{kr} = 0,795$)

$$Ra = 0,0296H - 0,00022H^2 - 0,00468V^2 - 0,00133 \cdot H \cdot Ws + 0,0124 \cdot Ws \cdot V + 1,811$$

Równanie regresji dla chropowatości powierzchni płaskiej R_a ($R = 0,93$, $R^2 = 0,87$, $F/F_{kr} = 1,03$)

$$Ra = 0,0199H - 0,00018H^2 - 0,0074Ws^2 + 0,0048Ws \cdot V + 2,04$$

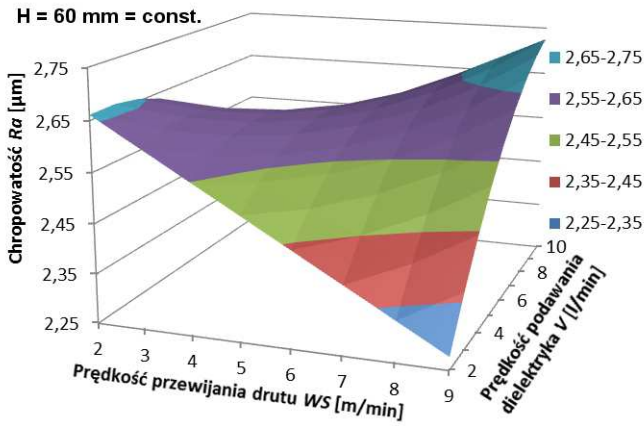
Równanie regresji dla chropowatości S_a ($R = 0,99$, $R^2 = 0,98$, $F/F_{kr} = 6,74$)

$$Sa = -0,0117H - 0,0724V - 0,0059Ws^2 + 0,001H \cdot V + 0,004 \cdot Ws \cdot V + 3,138$$

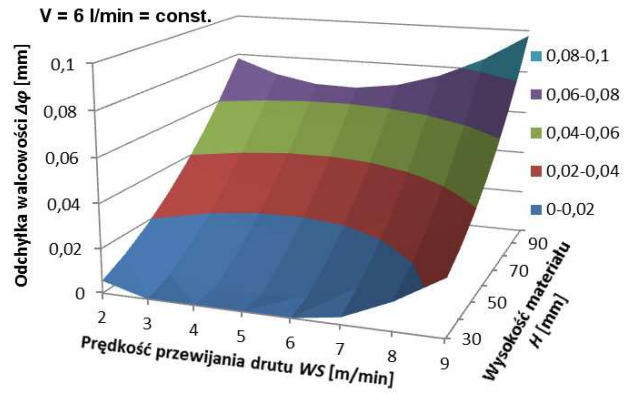
Równanie regresji dla odchyłki walcowości $\Delta\phi$ ($R = 0,99$, $R^2 = 0,99$, $F/F_{kr} = 11,26$)

$$\Delta\phi = 0,0016Ws^2 + 8 \cdot 10^{-6}H^2 + 7,6 \cdot 10^{-4}V^2 - 0,01V - 0,018Ws + 4,7 \cdot 10^{-4}Ws \cdot V + 0,0582$$

Dla wyznaczonych równań regresji stworzono charakterystyki, których przykłady przedstawiono na rys. 3 - 6.

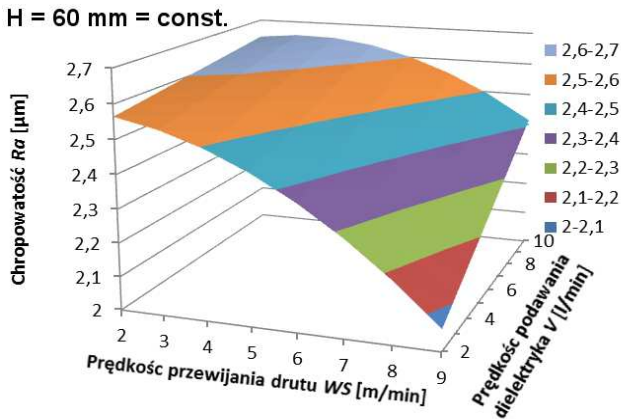


Rys. 3. Zależność chropowości Ra powierzchni walca od prędkości przewijania drutu WS i prędkości podawania dielektryka V po obróbce WEDM

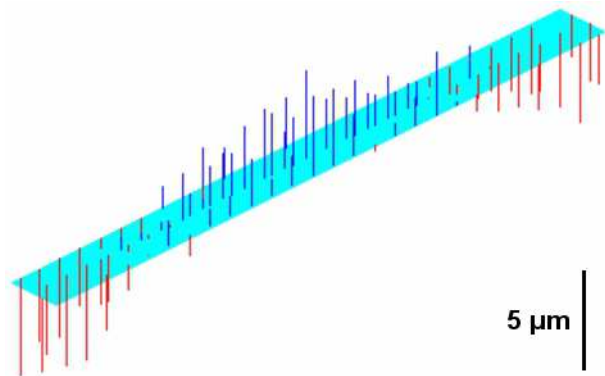


Rys. 6. Zależność odchyłki walcowości $\Delta\phi$ od prędkości przewijania drutu WS i wysokości ciętego materiału H

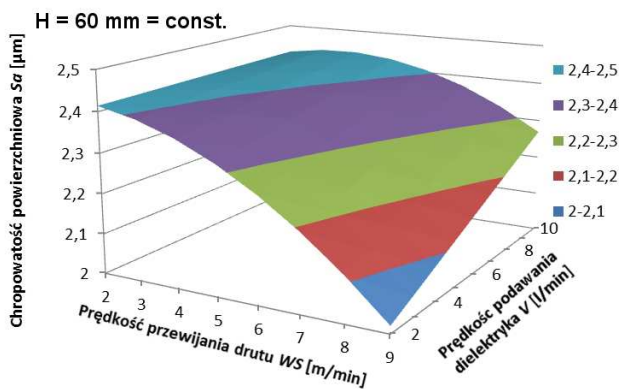
Przykładowe odchyłki płaskości dla dwóch badanych próbek przedstawiono na rysunkach 7 i 8. W pierwszym przypadku próbka była wycinana przy dużej prędkości przewijania drutu WS = 9 m/min oraz bardzo małej prędkości przepływu dielektryka V = 2 l/min, stąd nierównomierność powierzchni ma charakter „beczkowaty” z większym ubytkiem materiału na jego końcach, na których następowało lepsze wypłukiwanie produktów obróbki.



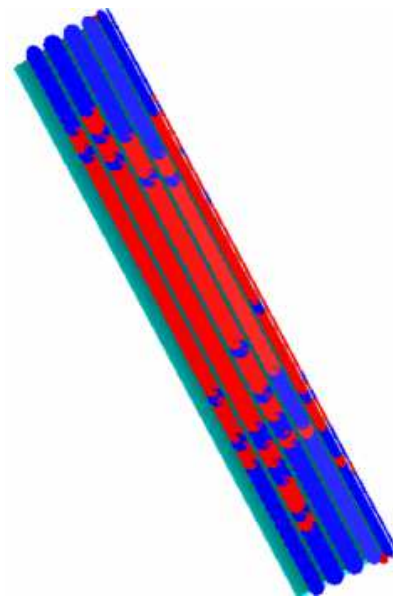
Rys. 4. Zależność chropowości Ra powierzchni płaskiej od prędkości przewijania drutu WS i prędkości podawania dielektryka V po obróbce WEDM



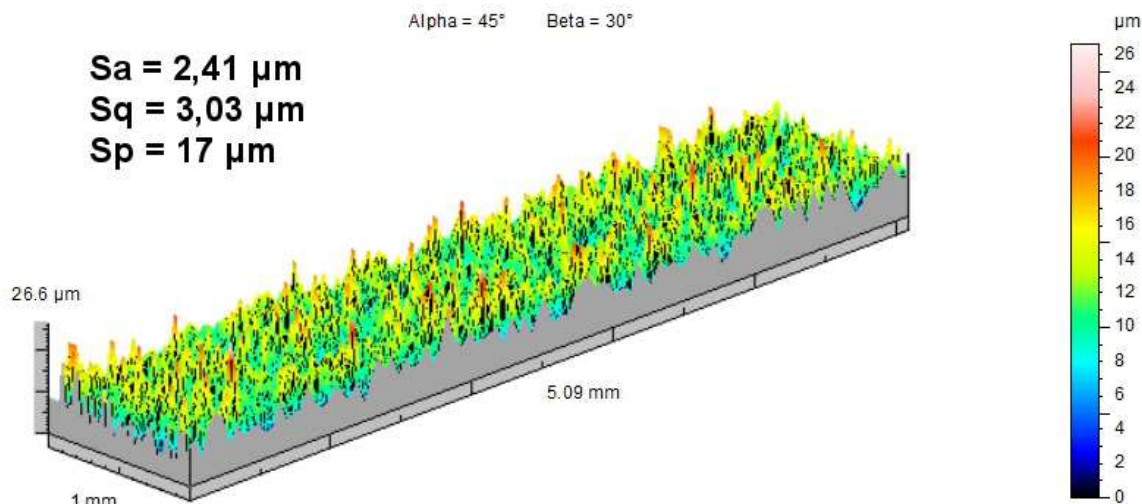
Rys. 7. Odchyłka płaskości $\Delta d = 9 \mu\text{m}$ dla parametrów: H = 60 mm, WS = 9 m/min, V = 2 l/min



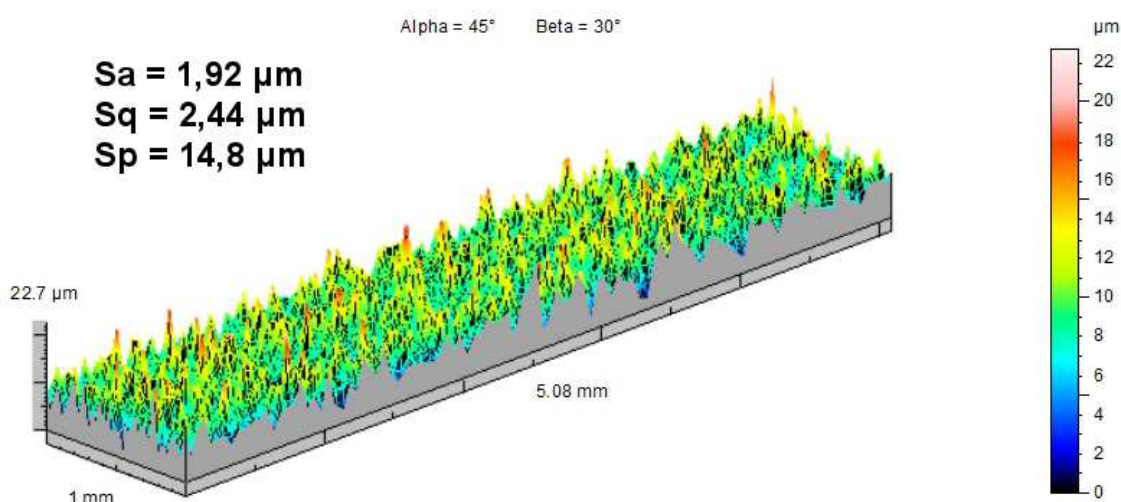
Rys. 5. Zależność chropowości Sa powierzchni walca od prędkości przewijania drutu WS i prędkości podawania dielektryka V po obróbce WEDM



Rys. 8. Odchyłka walcowości $\Delta\phi = 19 \mu\text{m}$ dla parametrów: H = 60 mm, WS = 5,5 m/min, V = 6 l/min



Rys. 9. Obraz stereometryczny powierzchni po WEDM dla parametrów: $H = 20$ mm, $WS = 5,5$ m/min, $V = 10$ l/min



Rys. 10. Obraz stereometryczny powierzchni po WEDM dla parametrów: $H = 100$ mm, $WS = 5,5$ m/min, $V = 2$ l/min

Natomiast rysunek 8 przedstawia charakter odchyłki powierzchni walcowej dla próbki wycinanej przy parametrach ze środka przedziału. Uzyskano często spotykaną w literaturze [1] odchyłkę kształtu z mocniej obrobioną częścią środkową próbki.

Podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzić można, że zarówno wartość chropowatości Ra jak i Sa maleje wraz ze wzrostem prędkości przewijania drutu, co może być efektem zmniejszającej się ilości wyładowań na jednostkę długości drutu. Jednocześnie spadek prędkości podawania dielektryka zmniejsza chropowatość wynikową. Należy pamiętać, że podawanie dielektryka następowało z górnej i dolnej głowicy w zanurzeniu, a wartości przepływu są znacznie mniejsze od wartości rejestrowanych w maszynach wykorzystujących system natryskowy. Potwierdzone zostały z kolei wyniki otrzymane przez współautorkę [5] dotyczące zależności spadku chropowatości względem zwiększania się wysokości materiału ciętego, co obrazują dwa obrazy stereometryczne powierzchni dla próbek o wysokości 20 mm (rys. 9) i 100 mm (rys. 10). Należy wspomnieć, że wcześniej przeprowadzone badania różniły się względem aktualnie prezentowanych systemem podawania dielektryka (natryskowym) do szczeliny obróbkowej.

Z kolei prędkość przewijania elektrody w minimalnym stopniu wpływa na odchyłkę płaskości i walcowości, natomiast istotnie wpływają na nią wysokość ciętego materiału oraz prędkość podawania dielektryka. Jest to zgodne z koniecznością usuwania produktów obróbki ze szczeliny obróbkowej.

LITERATURA

1. Dąbrowski L., Oniszczyk D.: „Modelowanie zjawisk fizycznych w szczelinie międzyelektrodowej podczas wycinania elektroerozyjnego”, *Inżynieria Maszyn*, R. 16, z. 3, 2011.
2. Dauw D. F., Sthioul H., Delpretti R., Tricarico C.: „Wire analysis and control for precision EDM cutting”, *CIRP Annals – Manufacturing Technology* Vol. 38, Issue 1, pp.:191 – 194, 1989.
3. Kuruvila N., Ravindra H. V.: „Parametric influence and optimization of wire DMof hot die steel”, *Machining Science and Technology*, Vol. 51, Issue 1, pp.:47 – 75, 2011.
4. Liang J. F., Tsai C. F., Lin M. H., Liao Y. S.: „Measurement of wire deflection in wire-cut EDM machining”, pp.:223 – 226, ISEM 2010.
5. Oniszczyk D., Rozprawa doktorska: „Określenie wpływu zjawisk fizycznych na cechy geometryczne przedmiotu po obróbce elektroerozyjnej WEDM”, Politechnika Warszawska, Warszawa 2013.