

# Wpływ wybranych parametrów obróbki elektroerozyjnej na stan warstwy wierzchniej elementów ze stali narzędziowej i nierdzewnej

prof. dr hab. inż. E. Feldshtein, mgr inż. A. Gmur

W procesie obróbki elektroerozyjnej (EDM) usunięcie materiału spowodowane jest wyładowaniami elektrycznymi pomiędzy elektrodą roboczą a przedmiotem obrabianym. Naddatek jest usuwany z przedmiotu obrabianego w wyniku oddziaływania zjawisk fizycznych spowodowanych wyładowaniami elektrycznymi. Najbardziej efektywnym obszarem zastosowania obróbki elektroerozyjnej jest obróbka materiałów o małej skrawalności. Na podstawie analizy literaturowej można stwierdzić, że największy wpływ na wydajność procesu EDM i jakość powierzchni obrabianej wielu materiałów konstrukcyjnych mają parametry elektryczne oraz niektóre inne parametry procesu.

Celem badań było określenie wpływu natężenia prądu, czasu impulsu wyładowania i przerw między impulsami na wybrane parametry używane do opisu stanu powierzchni stali narzędziowych i nierdzewnych.

W procesie obróbki elektroerozyjnej (EDM) usuwanie materiału odbywa się dzięki wyładowaniom elektrycznym między elektrodą roboczą a przedmiotem obrabianym. Kształt i geometria powierzchni uzyskane po obróbce zależą wówczas głównie od parametrów obróbki i geometrii elektrody roboczej (narzędzia). Naddatek jest usuwany z przedmiotu obrabianego w wyniku oddziaływania zjawisk fizycznych spowodowanych wyładowaniami elektrycznymi: wydzielaniem ciepła, a następnie wzrostem temperatury, topieniem i parowaniem materiału w obszarze pomiędzy przedmiotem obrabianym a narzędziem będącym elektrodą.

Szczelina międzyelektrodowa wypełniona cieczą dielektryczną, zapewnia warunki do zachodzenia wyładowań elektrycznych, a jej przepływ – usunięcie produktów erozji (cząsteczek ponownie

zakrzepłego materiału) z przestrzeni międzyelektrodowej.

Obecnie są trzy obszary zastosowania obróbki elektroerozyjnej: wytwarzanie wyrobów w formie brył o skomplikowanym kształcie; wycinanie elementów o złożonych kształtach w blachach i płytach za pomocą elektrody drutowej oraz mikroobróbka. Najbardziej efektywnym obszarem zastosowania obróbki elektroerozyjnej jest obróbka materiałów o małej skrawalności, gdy obróbka skrawaniem jest mało efektywna.

Na skuteczność obróbki elektroerozyjnej ma wpływ wiele czynników – parametry elektryczne i czasowe elektrodrażenia, materiał elektrody, skład zastosowanej cieczy dielektrycznej itp., oddziaływanie których na proces opisano w literaturze [1, 2, 4÷10]. W pracy [10] opisano badania wpływu następujących parametrów elektrycznych: amplitudy natężenia prądu

w impulsie, czasu impulsu oraz współczynnika wypełnienia impulsu na przebieg obróbki i stan powierzchni po obróbce kompozytów aluminiowych na osnowie Al+20%Si+3%Cu+1%Mg z fazą umacniającą w postaci cząstek SiC. Wykazano, że wydajność obróbki zwiększa się ze wzrostem wartości natężenia prądu i współczynnika wypełnienia impulsu. Wpływ czasu impulsu na wydajność obróbki zaobserwowano tylko przy dużych wartościach natężenia prądu. Największe wartości parametrów chropowatości  $R_a$  i  $R_z$  odnotowano przy dużych natężeniach prądu i dużym współczynniku wypełnienia impulsu. W pracy [5] przedstawiono analizę wpływu energii pojedynczego impulsu elektrycznego na stan powierzchni obrabianej i ustalono, że wraz z jego wzrostem występowanie takich skaz powierzchni, jak krater, wgłębienia, nadtopienia, wypłytki, pęknięcia czy sfero-



idy istotnie zwiększa się. Jednocześnie zwiększają się parametry  $S_a$ ,  $S_t$ ,  $S_q$ ,  $S_{pk}$ ,  $S_k$  i  $S_{vk}$  chropowatości powierzchni obrabianej stali narzędziowej. W opracowaniu [6] ustalono decydujący wpływ czasu impulsu wyładowania, przerw między impulsami, napięcia oraz natężenia prądu na wydajność obróbki elektroerozyjnej elementów ze stali nierdzewnej 304. W pracy [4] przedstawiono analizę wpływu wartości natężenia prądu impulsowego, czasu impulsu wyładowania i czasu przerw między impulsami na szybkość usuwania materiału obrabianego podczas EDM stali nierdzewnej 316LN oraz na stosunek objętości materiału usuniętego z elektrody do objętości materiału zdjętego z obrabianego przedmiotu w ciągu minuty. Zgodnie z wnioskami sformułowanymi w pracy [8], niejednorodności powierzchni powstałe wskutek EDM stali nierdzewnej 316L, takie jak pory, kraterki czy pęknięcia znacząco wpływają na odporność na korozję wżerową i szczelinową, natomiast struktura i niejednorodności chemiczne utworzonej warstwy białej zmieniają odporność na korozję międzykrystaliczną. Badania przedstawione w [2] potwierdziły, że przy obróbce elementów ze stali nierdzewnej En41b natężenie i napięcie prądu, czas impulsu wyładowania oraz przerw między impulsami, a także współczynnik wypełnienia impulsów zapewniają możliwość kontrolowania procesu EDM i osiągnięcia maksymalnej jego wydajności przy minimalnym zużyciu elektrody, optymalnej średniej arytmetycznej rzędnych profilu  $R_a$  oraz twardości HRB elementu obrabianego. W opracowaniu [9] ustalono wpływ amplitudy natężenia prądu w impulsie, czasu impulsu wyładowania oraz czasu przerw między impulsami na czas realizacji obróbki i parametry profilu chropowatości (średnia arytmetyczna rzędnych profilu  $R_a$ , średnia szerokość rowków elementów profilu  $R_{sm}$ ) przy obróbce stali narzędziowej HTCS. Na podstawie uzyskanych wyników z przeprowadzonych badań doświadczalnych opracowano modele regresyjne. W pracy [7] stwierdzono istotny wpływ natężenia prądu, czasu impulsu wyładowania i przerw między impulsami na wydajność obróbki, intensywność zużycia elektrod, chropowatość powierzchni obrabianej oraz dokładność wymiarową elementów ze stali nierdzewnej 316L. Na podstawie badań przedstawionych w [1] ustalono szczególne oddziaływanie natężenia prądu

(amplitudy natężenia prądu w impulsie), czasu impulsu wyładowania i przerw między impulsami na kształtowanie topografii powierzchni ze stali szybko tnącej SW7M.

### Obróbka stali 56NiCrMoV7

Stal 56NiCrMoV7 wg PN-EN jest narzędziową stalą stopową przeznaczoną do pracy na gorąco, wykorzystywaną w produkcji narzędzi do kucia i wytłaczania na gorąco, o dużej odporności na odpuszczanie i obciążenia dynamiczne oraz do wytwarzania płyt formujących do form ciśnieniowych. Skład chemiczny stali przedstawiono w tab. 1.

Badania realizowano na elektrodrażarce ACTSPARK Seria SE (Rys. 1). Elektrody użyte w badaniach zostały wykonane z miedzi.

Badano wpływ natężenia prądu impulsowego  $I$ , czasu impulsu wyładowania  $t_{on}$  i czasu przerw między impulsami  $t_{off}$  na parametry chropowatości powierzchni  $R_a$ ,  $R_q$  i  $R_z$  oraz stan powierzchni obrabio-

nej. Doświadczenia realizowano zgodnie z metodą planów całkowitych typu  $2^3$  [3]. Macierz planu badań przedstawiono w tab. 2.

Parametry chropowatości i profilogramy powierzchni rejestrowano za pomocą przenośnego chropowatościomierza TR-200. Stan powierzchni po obróbce elektroerozyjnej oceniano przy zastosowaniu mikroskopu optycznego VXIO OBSERVER A1mZ.

Na podstawie obróbki statystycznej wyników badań z wykorzystaniem oprogramowania STATISTICA 12 wyznaczono równania regresji w postaci wielomianu typu:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3, \quad (1)$$

gdzie:

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}$  – współczynniki regresji,

$X_1, X_2, X_3$  – kodowane wartości natężenia prądu impulsowego  $I$ , czasu im-

Tabela 1. Skład chemiczny stali 56NiCrMoV7

C, %	Si, %	Cr, %	Mn, %	Mo, %	Ni, %	V, %
0,5–0,6	0,1–0,4	1,0–1,2	0,65–0,95	0,45–0,55	1,5–1,8	0,07–0,12



Rys. 1. Obrabiarka elektroerozyjna wgłębna ACTSPARK Seria SE.

Tabela 2. Parametry obróbki elektroerozyjnej

Lp.	Natężenie prądu [A]		Czas impulsu wyładowania, $t_{ON}$ [ $\mu s$ ]		Czas przerwy, $t_{OFF}$ [ $\mu s$ ]	
	Kod X1	Wartość	Kod X2	Wartość	Kod X3	Wartość
1	—	2,4	—	24	—	7,5
2	+	18,4	—	24	—	7,5
3	—	2,4	+	320	—	7,5
4	+	18,4	+	320	—	7,5
5	—	2,4	—	24	+	100
6	+	18,4	—	24	+	100
7	—	2,4	+	320	+	100
8	+	18,4	+	320	+	100

pulsu wyładowania  $t_{on}$  i czasu przerw między impulsami  $t_{off}$ .

Kodowanie wartości X1, X2, X3 przeprowadzono za pomocą wzorów:

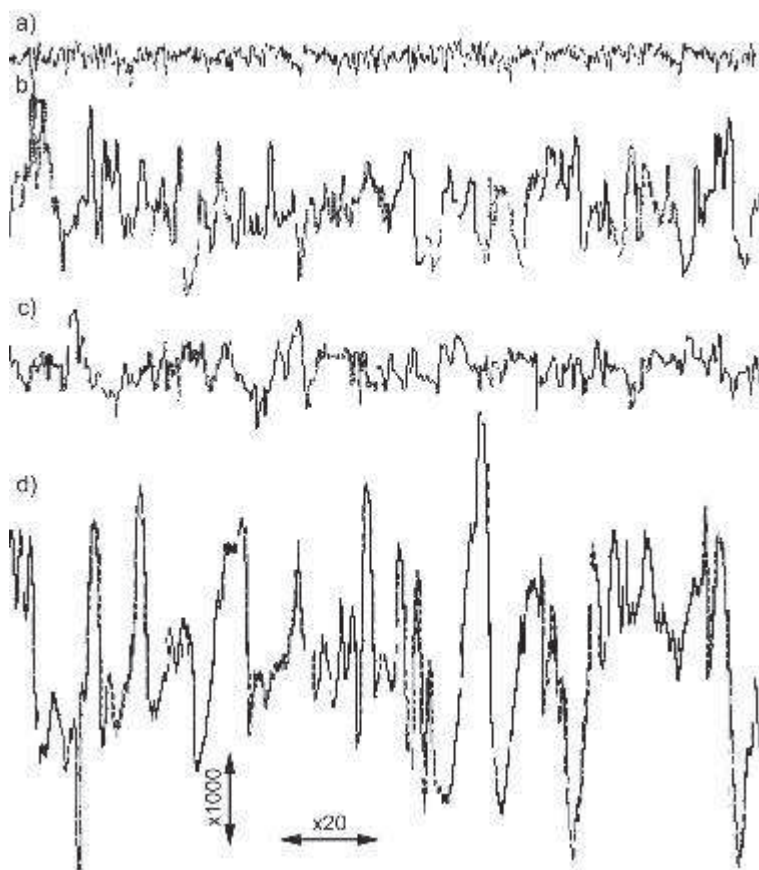
$$Xi = \frac{Xi - \bar{Xi}}{mi};$$

$$\bar{Xi} = \frac{Xi_{max} + Xi_{min}}{2};$$

$$mi = \frac{Xi_{max} - Xi_{min}}{2}$$

gdzie

$\bar{Xi}$  – wartość średnia czynnika  $i$ ,  
 $mi$  – skok wartości.



Wybrane profilogramy powierzchni po obróbce elektroerozyjnej przedstawiono na Rys. 2, natomiast obrazy powierzchni na Rys. 3. Łatwo zauważyć znaczący wpływ badanych parametrów na wskaźniki struktury geometrycznej powierzchni. Wzrost wartości natężenia prądu nie tylko znacząco pogarsza chropowatość powierzchni, lecz także wywołuje powstawanie mikropęknięć wskutek dużych temperatur w strefie wyładowania. O znaczących wartościach temperatur świadczy występowanie różnokolorowych barw nalotowych. Czas impulsu wyładowania wpływa podobnie, lecz w mniejszym stopniu.

Na podstawie obróbki statystycznej określono istotne współczynniki równań regresji służących do obliczeń parametrów chropowatości, które przedstawiono w tab. 3. Z analizy równań wynika, że czasy przerw między impulsami nie wykazują wpływu na parametry chropowatości powierzchni. Wizualizację wyników analizy statystycznej przedstawiono na Rys. 4.

**Podsumowanie**

Podczas obróbki EDM stali narzędziowej 56NiCrMoV7 wartości natężenia prądu impulsowego i czasu impulsu wyładowania mają istotny wpływ na stan powierzchni obrobionej. Wzrost tych parametrów procesu nie tylko znacząco pogarsza chropowatość powierzchni obrobionej, lecz także wywołuje powstawanie mikropęknięć wskutek wysokich temperatur w strefie wyładowania. Czasy przerw między impulsami nie wykazały wpływu na parametry chropowatości powierzchni i jej topografię.

Rys. 2. Przykłady profilogramów powierzchni obrobionej po obróbce elektroerozyjnej wgłębnej (oznaczenia a–d są właściwe do warunków 1–4 tab. 2).

Tabela 3. Wartości współczynników regresji do obliczeń parametrów Ra, Rq i Rz

Parametr, $\mu m$	Współczynniki (z dokładnością 0,01)						
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$
Ra	5,15	3,16	2,12	—	—	—	—
Rq	6,49	3,90	2,62	—	—	—	—
Rz	33,52	15,59	13,04	—	3,56	—	—

# MACH-TOOL

Poznań, 6-9 czerwca 2017

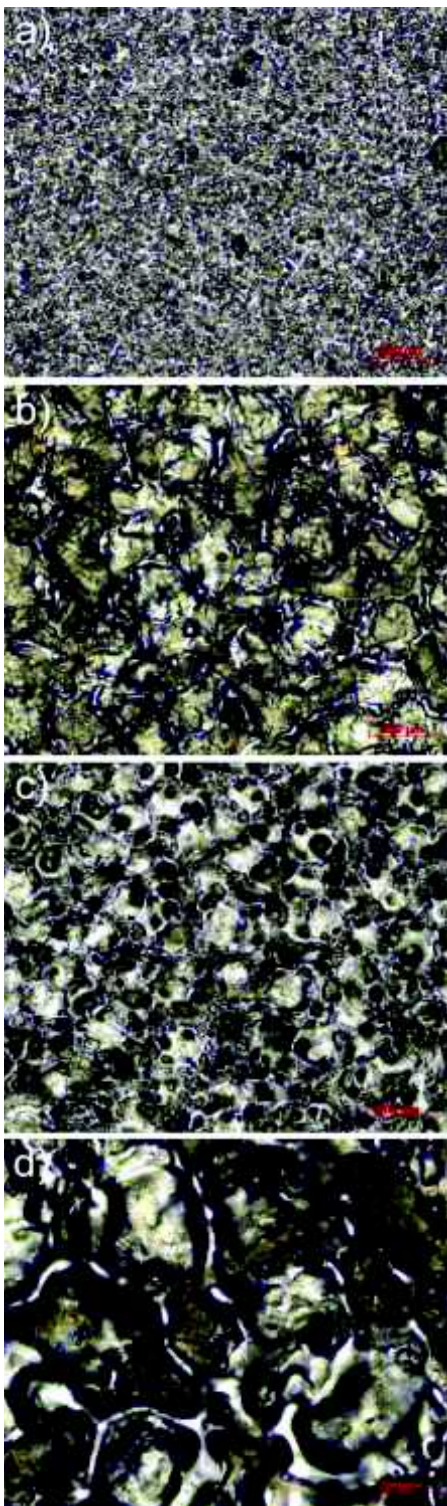
PAWILON 3A STOISKO NR 40



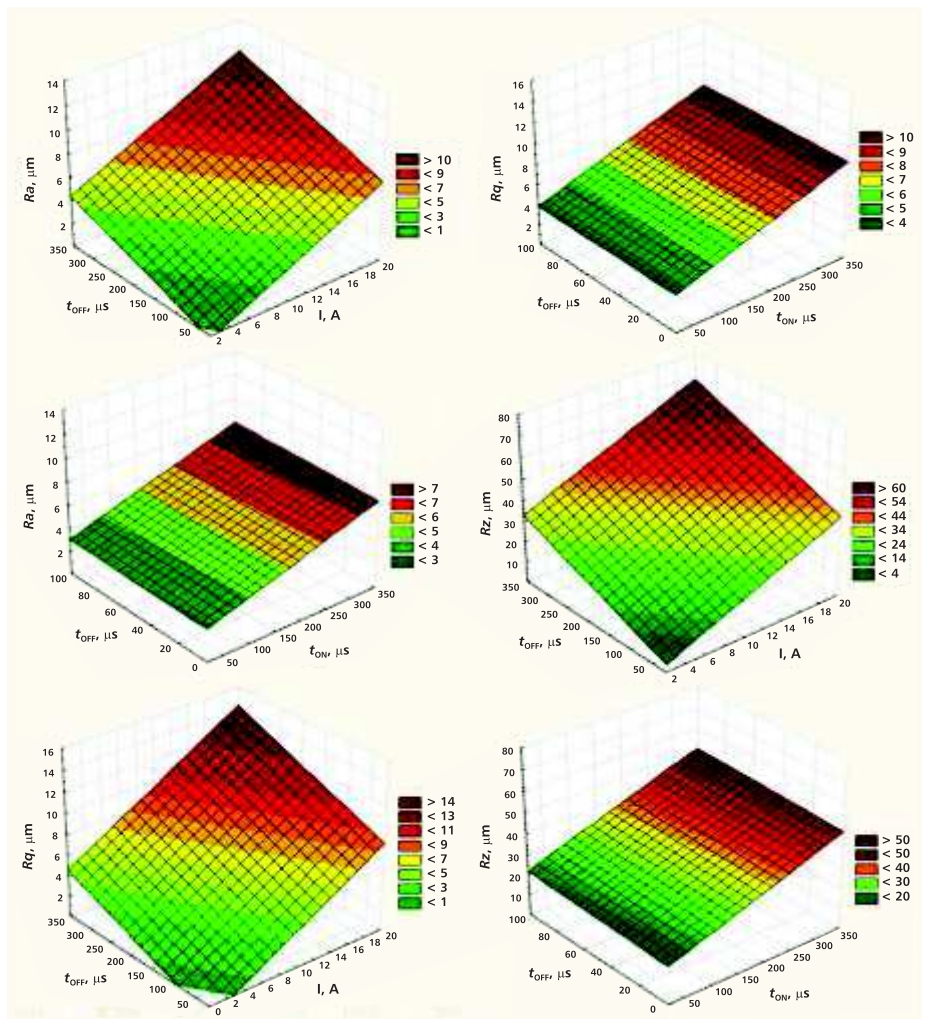
ZAPRASZAMY NA NASZE JUBILEUSZOWE STOISKO.  
ODWIEDŹ NAS NA TARGACH I ŚWIĘTUJ Z NAMI  
20 LAT FIRMY PERSCHMANN W POLSCE.



 **Hoffmann Group**  
Tools to make you better  
**Perschmann**



Rys. 3. Powierzchnie obrabiane po obróbce elektroerozyjnej wgłębnej (oznaczenia a–d są właściwe do warunków 1–4 tab. 2).



Rys. 4. Wpływ natężenia prądu impulsowego  $I$ , czasu impulsu wyładowania  $t_{on}$  i czasu wyłączenia impulsu  $t_{off}$  na parametry chropowatości powierzchni

**Literatura**

1. Aich U., Banerjee S.: Characterizing Topography of EDM Generated Surface by Time Series and Autocorrelation Function. *Tribology International*, 111, 2017, pp. 73–90.  
 2. Dastagiri M., Hemantha Kumar A.: Experimental Investigation of EDM Para-

meters on Stainless Steel En41b. *Procedia Engineering*, 97, 2014, pp. 1551–1564.  
 3. Korzyński M.: *Metodyka eksperymentu. Planowanie, realizacja i statystyczne opracowanie wyników eksperymentów technologicznych*. PWN Warszawa, 2006.  
 4. Majumder A. Process Parameter Optimization during EDM of AISI 316 LN Stainless Steel by Using Fuzzy Based Multi-objective PSO. *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 27, 7, 2013, pp. 21432151.  
 5. Niemczewska-Wójcik M.: Wpływ wybranych parametrów obróbki elektroerozyjnej na cechy powierzchni obrabianej. *Tribologia*, 2011, nr. 6, p. 151–159.  
 6. Rajmonah T., Prabhu R., Subba Rao G., Palanikumar K.: Optimization of Machining Parameters in Electrical Discharge Machining (EDM) of 304 Stainless Steel. *Procedia Engineering*, 38, 2012, pp. 1030–1036.

7. Sharif S., Safiei W., Mansor A.F., Isa M.H.M., and Saad M.: Experimental Study of Electrical Discharge Machine (Die Sinking) on Stainless Steel 316L Using Design of Experiment. *Procedia Manufacturing*, 2, 2015, pp. 147–152.  
 8. Sidhom H., Ghanem F., Amadou T., Gonzalez G. Braham C.: Effect of Electrodischarge machining (EDM) on the AISI 316L SS White Layer Microstructure and Corrosion Resistance. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65, 2013, pp. 141–153.  
 9. Świercz R., Oniszczyk-Świercz D.: Wpływ parametrów obróbki elektroerozyjnej na właściwości użytkowe stali o wysokiej przewodności cieplnej. *Mechanik*, 2015, nr 1, ss. 29–34.  
 10. Trzaska M., Perończyk J., Biało D.: Wpływ parametrów elektrycznych obróbki elektroerozyjnej na stan powierzchni kompozytów aluminiowych. *Kompozyty (Composites)*, vol. 5, nr 3, 2005, pp. 51–56.