

# Zastosowanie obróbki przetłoczno-ścierniej w wykańczaniu powierzchni po obróbce elektroerozyjnej

## Abrasive flow machining – improve surface quality after electrical discharge machining

DOROTA ONISZCZUK-ŚWIERCZ  
 RAFAŁ ŚWIERCZ  
 LUCJAN DĄBROWSKI\*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.280

Stan warstwy wierzchniej jest jednym z podstawowych zagadnień adaptacji obróbki elektroerozyjnej w wytwarzaniu części maszyn. W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych zastosowania obróbki przetłoczno-ścierniej (AFM) na finalny stan struktury geometrycznej powierzchni przedmiotów po obróbce elektroerozyjnej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka przetłoczno-ścierna, chropowatość powierzchni, obróbka elektroerozyjna

*Surface layer quality after electrical discharge machining is one of the basic problems in adaptation EDM in manufacturing parts. The article present experimental investigation of application abrasive flow machining in improve surface quality after EDM.*

**KEYWORDS:** abrasive flow machining (AFM), surface quality, electrical discharge machining (EDM)

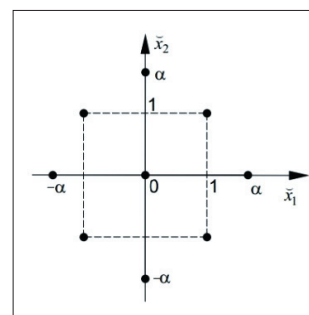
Stan warstwy wierzchniej jest jednym z podstawowych zagadnień adaptacji obróbki elektroerozyjnej w wytwarzaniu gniazd form wtryskowych, części dla przemysłu medycznego czy lotniczego. Jakość powierzchni po obróbce EDM nie zawsze spełnia określone wymagania. Potrzebne są zatem dodatkowe operacje technologiczne, aby nadać powierzchni pożądane właściwości. Podstawowe metody obróbki wykończeniowej, tj. szlifowanie, docieranie, dogładzanie czy polerowanie, pozwalają na uzyskanie niskiej chropowatości, jednak poważnym ograniczeniem ich zastosowania jest stopień skomplikowania geometrii obrabianych przedmiotów. Konieczne jest zatem wykorzystanie niekonwencjonalnych metod obróbki wykończeniowej, np. obróbki magneto-ścierniej, elektroerozyjno-ścierniej czy przetłoczno-ścierniej, które dzięki użyciu odpowiedniego oprzyrządowania nadają się do obróbki złożonych geometrii w krótkim czasie [3, 5].

Obróbka przetłoczno-ścierna jest zaawansowaną technologią wykorzystywaną do wygładzania powierzchni, usuwania zadziorów i zaokrąglania krawędzi w trudno-dostępnych miejscach złożonych geometrycznie przedmiotów [1, 2]. Materiał jest usuwany w wyniku kilkukrotnego przetłaczania (jedno- lub dwukierunkowego) pasty ścierniej przez powierzchnie obrabiane. Na efekty obróbki istotny wpływ mają właściwości past produkowanych na osnowie lepkosprężystego polimeru typu poliborosiloksan o konsystencji półstałej oraz udział ziaren ściernych  $Al_2O_3$ , SiC,  $B_4C$  o numerach od 16 do 1000 i koncentracji 30–80% [6]. Podczas przetłaczania w paście generowane są naprężenia ściskające, które prowadzą do koncentracji aktywnych ziaren ściernych wzdłuż powierzchni obrabianych. Proces mikroskrawania zależy od parametrów i wa-

runków, takich jak: liczba przetłoczeń pasty ścierniej, wielkość, materiał i koncentracja ziaren ściernych, lepkość polimeru (osnowy), temperatura pasty [2, 4].

### Cel i opis badań doświadczalnych

Celem badań było wyznaczenie wpływu parametrów obróbki AFM warunkujących proces usuwania materiału – tj. liczby cykli przetłaczania  $n$  i szerokości szczeliny  $s$  – na jej skutki jakościowe (wydajność procesu usuwania materiału i chropowatość  $Ra$ ). Badano próbki ze stali narzędziowej stopowej WNL (1.2713) (50 HRC) po obróbce elektroerozyjnej drążeniem wgłębnym, uwzględniającym przejścia obróbki zgrubnej i wykończeniowej (chropowatość końcowa  $Ra = 2,3 \mu m$ ). Badania doświadczalne przeprowadzono według planu ortogonalnego dwupozymowo gwiazdowego (rys. 1).



Rys. 1. Schemat planu

Przyjęto następujące warunki badań:

- obróbka dwukierunkowa,
- pasta ścierna z ziarnami SiC o numerze 80,
- zmienne niezależne: liczba przetłoczeń  $n = 5 \div 35$ , szerokość szczeliny  $s = 0,5 \div 3 \text{ mm}$ ,
- ciśnienie przetłaczania w siłowniku 7 MPa.

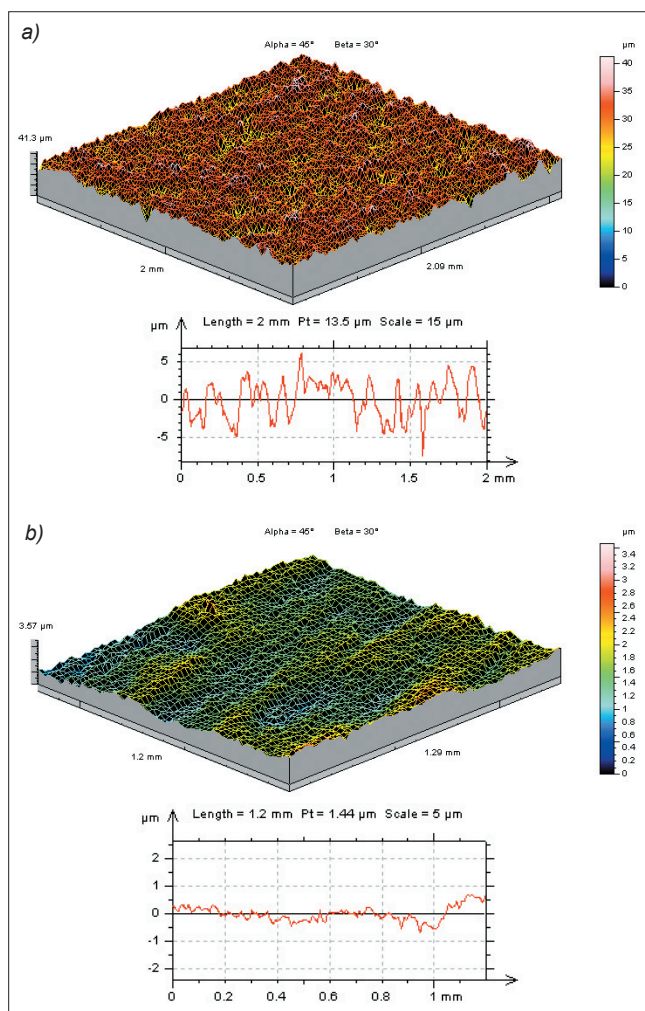
Jako parametry wynikowe badano parametry profilu chropowatości  $Ra$  (średnie arytmetyczne odchylenie rzędnych profilu).

### Wyniki badań

Badania struktury geometrycznej powierzchni (SGP) prowadzono na profilometrze skanującym FORMTALY-SURF Series 2 Taylor Hobson. Na rys. 2 przedstawiono obrazy stereometryczne powierzchni wraz z profilografami po obróbce EDM oraz próbkę po obróbce EDM+AFM.

Przeprowadzono analizy wybranych parametrów SGP. Średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości dla próbki 1 po EDM (rys. 2a)  $Sa$  wynosi  $2,46 \mu m$ , a średnie kwadratowe odchylenie profilu chropowatości powierzchni  $Sq = 3,29 \mu m$ . Różnica między parametrami

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



Rys. 2. Obrazy stereometryczne powierzchni wraz z profilografiami dla: a) obróbki EDM, b) obróbki EDM+AFM; parametry obróbki:  $s = 0,5$  mm,  $n = 20$

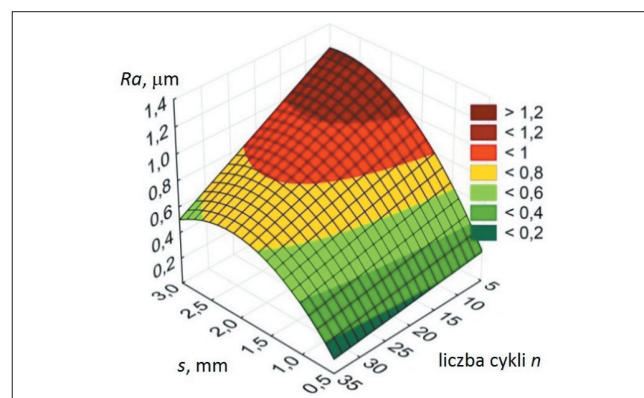
$S_t = 41,3$   $\mu\text{m}$  (wysokością nierówności między najwyższym a najniższym punktem) i  $S_z = 38,2$   $\mu\text{m}$  (dziesięciopunktową nierównością powierzchni) jest nieznaczna, co świadczy o stabilności wyładowań elektrycznych i równomiernym rozkładzie struktury na powierzchni badanej próbki. Gęstość powierzchniowa miejscowych wzniesień  $S_{ds} = 1353$  pks/mm<sup>2</sup>. Dla próbki po obróbce EDM+AFM (rys. 2b) zaobserwowano istotne różnice w wartościach poszczególnych parametrów w stosunku do obróbki EDM. Parametry 3D wysokościowe  $S_a = 0,23$   $\mu\text{m}$  i  $S_q = 0,29$   $\mu\text{m}$  są ok. 10-krotnie mniejsze. Nastąpiła 7-krotna zmiana gęstości powierzchniowej miejscowych wzniesień ( $S_{ds} = 7168$  pks/mm<sup>2</sup>). Udział przypadkowych wierzchołków i wgłębień jest pomijalnie mały, różnica pomiędzy wartościami parametrów  $S_t = 29$   $\mu\text{m}$  i  $S_z = 24,1$   $\mu\text{m}$  jest niewielka, co świadczy o równomierności obróbki pastą ścierną całej powierzchni.

Na podstawie wyników badań doświadczalnych opracowano statystyczne modele matematyczne określające wpływ wybranych parametrów obróbki na strukturę geometryczną powierzchni. W programie STATISTICA wyznaczono równania regresji opisane funkcją wielomianu stopnia drugiego. Dla każdego równania określono współczynnik korelacji  $R$ , odzwierciedlający zmienność badanej cechy. Istotność otrzymanego współczynnika korelacji (jego adekwatność na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ ) sprawdzano testem Fishera-Snedecora (dla  $F/F_{kr} > 1$  współczynnik  $R$  jest istotny). Dokonano również weryfikacji istotności współczynników równania regresji za pomocą

testu  $t$ -Studenta (na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  spełnia warunek:  $t_1, t_n, t_{n+1} > t_{kr}$ ). Wybraną zależność regresyjną przedstawiono w tabeli. Uzyskane równania charakteryzują się wysokim stopniem korelacji  $R$ , a stosunek  $F/F_{kr}$  jest znacznie większy od jedności. Graficzna prezentacja uzyskanych zależności znajduje się na rys. 3.

TABLICA. Zależność regresyjna

Równanie regresji	$R$	$F/F_{kr}$
$Ra = -0,25 + 1,1 s - 0,19 s^2 - 0,008 s n$	0,97	7,1



Rys. 3. Zależność chropowatości  $Ra$  od grubości szczeliny  $s$  i liczby cykli przetłaczania  $n$

Głównym czynnikiem wpływającym w procesie mikroskrawania na wartość parametru  $Ra$  (rys. 3) są siły oddziaływania na ziarna ściernie, wynikające z dławienia przepływu pasty ścierniej wzdłuż powierzchni obrabianej (ustawiane grubością szczeliny  $s$ ). Wzrost liczby cykli przetłaczania powoduje uzyskanie mniejszej chropowatości  $Ra$ , przy czym ta zależność nie jest proporcjonalna. Wynika to ze wzrostu temperatury pasty ścierniej w trakcie przetłaczania (do 55 °C), co prowadzi do zmiany lepkości pasty ścierniej.

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania doświadczalne wykazały, że zastosowanie obróbki AFM pozwala na kilkukrotne zmniejszenie parametrów chropowatości powierzchni po EDM. Ze względu na uniwersalność narzędzia dopasowującego się do obrabianej geometrii (za sprawą oprzyrządowania o odpowiedniej konstrukcji) może być szybkim sposobem wykończenia powierzchni poddanej uprzednio obróbce EDM.

## LITERATURA

- Bremerstein T., Potthoff A. et al. "Wear of abrasive media and its effect on abrasive flow machining results". *Wear*. Vol. 342-343 (2015): pp. 44-51.
- Jain V.K., Adsul S.G. "Experimental investigations into abrasive flow machining (AFM)". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 40 (2000): pp. 1003-1021.
- Marczak M. „Obróbka magnetyczno-ścierna w zastosowaniu do regeneracji kontaktów elektrycznych”. *Mechanik*. R. 88, nr 12 (2015): s. 71-73.
- Rajesh S., Venkatesh G., Sharma A.K., Kumar P. "Performance study of a natural polymer based media for abrasive flow machining". *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*. Vol. 17 (2010): pp. 407-413.
- Ruszaj A., Skoczypiec S. „Obróbka elektroerozyjno-ścierna – wybrane zagadnienia”. *Mechanik*. R. 88, nr 3 (2015): s. 210-215.
- Sankar M., Jain V.K., Ramkumar J., Joshi Y. "Rheological characterization of styrene-butadiene based medium and its finishing performance using rotational abrasive flow finishing process". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 51 (2011): pp. 947-957.