

Adam TROSZYŃSKI, Robert POLASIK

e-mail: adam.troszynski@utp.edu.pl

Zakład Inżynierii Produkcji, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

## Uwarunkowania techniczne wieloosiowej obróbki elektrochemicznej w aspekcie struktury geometrycznej powierzchni obrobionej

### Wstęp

Rozwój inżynierii materiałowej skutkuje stosowaniem do budowy elementów maszyn materiałów o wysokiej wytrzymałości mechanicznej. Dzięki tym właściwościom znajdują one zastosowanie m.in. w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym, elektronice i medycynie [Frankowski i Mielnicki, 2011; Pott, 1989; Ruszaj, 1988]. Innym aspektem, utrudniającym w znacznym stopniu obróbkę takich materiałów jest konieczność kształtowania złożonych rysów powierzchni obrabianych. Są to czynniki powodujące konieczność stosowania zaawansowanych, często niekonwencjonalnych lub hybrydowych technik obróbkowych, np. obróbki elektroerozyjnej, elektrochemicznej, elektrochemiczno-ściernej, plazmowej czy laserowej [Świątek i Polasik, 2018].

**Obróbka elektrochemiczna ECM (Electrochemical Machining).** Jej cechą szczególną jest fakt, iż dokładność obrabianej powierzchni jest tym większa im mniejsza jest odległość między elektrodą roboczą (ER) a przedmiotem obrabianym (PO). W przypadku obróbek precyzyjnych konieczne jest stosowanie grubości szczelin międzyelektrodowych poniżej 0,1 mm. Zwiększa to ryzyko wystąpienia stanu krytycznego ECM oraz wyładowań elektrycznych uszkadzających elektrodę roboczą i przedmiot obrabiany [Lubkowski, 1996].

Jedną z wielu metod umożliwiających pracę przy bardzo małych szczelinach międzyelektrodowych jest zastosowanie złożonego ruchu drgającego elektrody roboczej w płaszczyźnie posuwu. Odpowiednio dobrana kinematyka ruchu elektrody roboczej, jak i jej częstotliwość drgań również wpływa na dokładność obrabianej powierzchni [Paczkowski, 2012]. Efekty przeprowadzonej obróbki elektrochemicznej (ECM) oceniać można, między innymi, na podstawie struktury geometrycznej powierzchni obrobionej, poprzez pomiar wybranych parametrów chropowatości.

W niniejszej pracy przedstawiono efekty przeprowadzonej modernizacji klasycznego układu obróbki ECM, w aspekcie oceny ich wpływu na jakość powierzchni obrobionej. Jakość tę scharakteryzowano poprzez pomiar wybranych parametrów chropowatości oraz wizualizację za pomocą wykresów uzyskanych ze skanowania powierzchni.

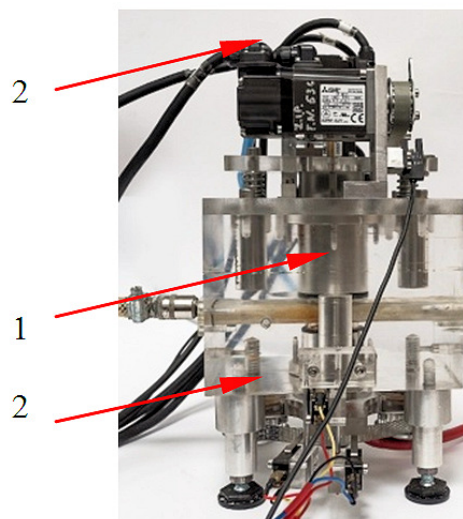
### Metodyka i technika eksperymentu

**Parametry obróbki elektrochemicznej.** Badania przeprowadzono na próbkach o średnicy 35 mm wykonanych ze stali narzędziowej NC6 w stanie ulepszonym cieplnie o twardości 55 HRC. Parametry wejściowe obróbki elektrochemicznej drażenia były następujące:

- napięcie międzyelektrodowe  $U = 14$  V,
- szczelina początkowa  $h = 0,1$  mm,
- prędkość ruchu posuwowego PO = 0,1 mm/min,
- temperatura elektrolitu: 293 K,
- rodzaj elektrolitu: NaNO<sub>3</sub> 15%,
- czas obróbki: 300 s,
- strumień objętości elektrolitu (wydatek)  $Q = 0,004$  m<sup>3</sup>/min,
- częstotliwość drgań poprzecznych = 10 Hz,
- amplituda drgań poprzecznych = 0,2 mm.

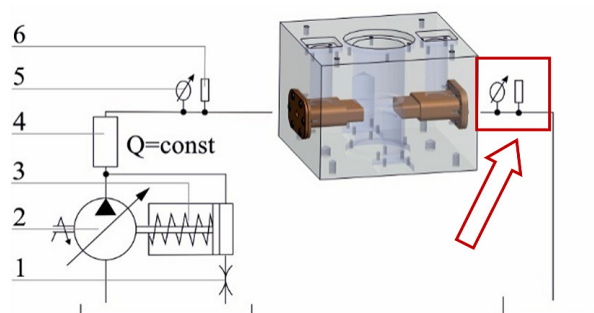
**Stanowisko badawcze** tworzyły :

- komórka obróbkowa (Rys. 1),
- zasilacz tyrystorowy prądu stałego *Elkor*,
- komputer PC, zasilacz serwo-silników,
- sterownik *Mitsubishi FX 3U*,
- zbiornik elektrolitu z zespołem regulacji przepływu i ciśnienia.



Rys. 1. Komórka obróbkowa ECM: (1), oraz napędy ruchów elektrody roboczej (2)

Schemat ideowy zasilania stanowiska badawczego w elektrolit przedstawiono na rys. 2. Stanowisko stanowi klasyczny układ do obróbki ECM z regulacją ciśnienia i przepływu elektrolitu na zasilaniu strefy obróbkowej.

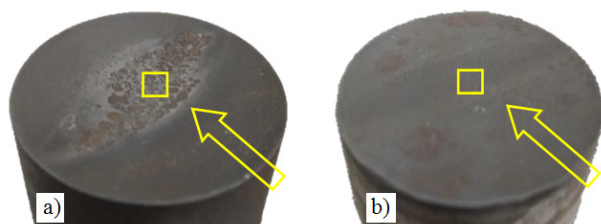


Rys. 2. Schemat zasilania komórki obróbkowej: 1 – dławik, 2 – pompa, 3 – układ sterujący ciśnieniem, 4 – regulator natężenia przepływu, 5 – reduktor ciśnienia wraz z manometrem zegarowym, 6 – czujnik ciśnienia (strzałką oznaczono wprowadzone zmiany)

Opracowana, oryginalna, komórka obróbkowa (Rys. 1) cechuje się niespotykanym, złożonym ruchem elektrody roboczej. Przeprowadzone prace eksperymentalne miały na celu weryfikację możliwości prowadzenia obróbki elektrochemicznej z wieloosiowym sterowaniem ruchu elektrody roboczej.

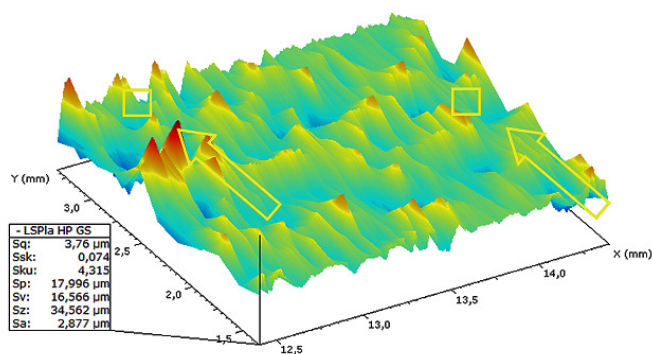
### Wyniki i ich analiza

Oceny efektów dokonano na podstawie obserwacji powierzchni obrobionych próbek okiem nieuzbrojonym (Rys. 3), a następnie pomiarów wybranych przestrzennych parametrów struktury geometrycznej powierzchni oraz wykonano skany 3D. Pomiarów wykonano na dnie powierzchni kształtowej. Miejsca wykonania pomiarów wskazano strzałkami na rys. 4 i 5.



Rys. 3. Widok powierzchni obrabianej na stanowisku badawczym. Strzałką wskazano obszar pomiarów: a) przed modernizacją, b) po modernizacji stanowiska

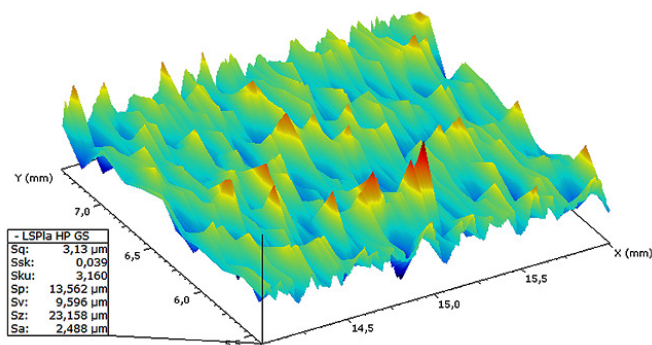
Ze względu na znaczną zmianę głębokości profilu (zarysu) próbeki wzdłuż płaszczyzny pomiaru ograniczono pole pomiarowe do wymiarów 2,3 x 2,5 mm. Pomiary prowadzono w miejscu centralnym, charakteryzującym się najlepszą jakością powierzchni z zastosowaniem profilografometru *MahrSurf GD120*. Przykładowy skan powierzchni, uzyskanej na stanowisku przed modernizacją, przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Topografia powierzchni obrabianej wraz z wartościami wybranych przestrzennych parametrów chropowości

Z uwagi na fakt, że powierzchnia ukonstytuowana w efekcie przeprowadzonej, oryginalnej obróbki wieloosiowej charakteryzowała się niekorzystnymi cechami warstw wierzchniej – widoczne były wżery kawitacyjne i zwarciove (Rys. 3a), a uzyskiwane topografie warstwy wierzchniej wskazywały jednoznacznie na silne zróżnicowanie cech mikrogeometrycznych na powierzchni próbki (niejednorodność) prowadzono prace nad poprawą stabilności procesu ECM.

Prawdopodobną przyczyną występowania niekorzystnych skutków obróbki może być zmiana natężenia przepływu elektrolitu w strefie obróbkowej, wskutek znacznych zmian przekroju szczeliny międzyelektrodowej (powstałych poprzez wprowadzanie w ruch elektrody roboczej w 2 osiach oraz przedmiotu obrabianego w 1 osi). Dlatego też stanowisko wyposażono w dodatkowy regulator przepływu elektrolitu (na wyjściu) oraz dodatkowy reduktor ciśnienia elektrolitu (na wyjściu). To rozwiązanie, czyli zastosowanie nadmiarowych układów regulacji ciśnienia i przepływu, pozwoliło na ustabilizowanie przepływu i ciśnienia w przestrzeni roboczej stanowiska.



Rys. 5. Topografia powierzchni obrabianej z zastosowaniem zmodernizowanego stanowiska obróbkowego wraz z wartościami wybranych przestrzennych parametrów chropowości

Obróbkę prowadzono z zastosowaniem zmodernizowanego stanowiska. Uzyskano znaczną poprawę jakości powierzchni obrabianej (Rys. 3b). Wykonane skany 3D powierzchni (Rys. 5) wskazują na ujednorodnienie mikrogeometrii w całym obszarze prowadzenia obróbki. Nie zaobserwowano występowania wżerów.

## Wnioski

Przeprowadzone badania obróbki ECM z wieloosiowym sterowaniem ruchem elektrody roboczej wykazały:

- pozytywne skutki zastosowania nadmiarowego układu sterowania przepływem i ciśnieniem elektrolitu (na wyjściu),
- zmniejszenie wartości przestrzennych parametrów chropowości i uzyskanie struktury jednorodnej na całej powierzchni, bez wżerów kawitacyjnych i zwarciove,
- niedoskonałość techniki pomiarowej z zastosowaniem pomiarów stykowych profilografometrem – małe pole, wymuszone znaczną zmianą rzędnych profilu wzdłuż płaszczyzny pomiaru, skutkowało niewielką skutecznością metody pomiarowej w ocenie zmian mikrogeometrii. Jednak pomimo tych niedogodności zastosowana technika umożliwiła poprawną ocenę mikrostruktury.

Efekty przeprowadzonych prób i prac nad oryginalną techniką wieloosiowej obróbki ECM wskazują na możliwość jej stosowania do obróbki trudnoobrabialnych przedmiotów o złożonych przestrzennie zarysach oraz na celowość dalszego prowadzenia badań.

## LITERATURA

- Frankowski P., Mielnicki W. (2011). Kształtowanie elektrochemiczne łopatki sekwencją procesów ECM – PECM. *Inż. Maszyn*, 16, 68-74
- Łubkowski K. (1996). *Stany krytyczne w obróbce elektrochemicznej*. Pr. Nauk., Mechanika 163, Wyd. Pol. Warszawskiej, Warszawa
- Paczkowski T., (2012). *Symulacja komputerowa obróbki elektrochemicznej powierzchni krzywoliniowych elektrodą roboczą o złożonym ruchu translacyjnym*. Wyd. UTP, Bydgoszcz
- Pott P. G., (1989). *Modern electrochemical machining in practice*. Proc. Int. Symp. for Electro-Machining ISEM-9, Nagoya 1989. 146-150
- Ruszaj A. (1988). *Application of ECM machining in the Polish industry*. Mat. SECM-88, Lubniewice, Poland, 247-283
- Święcik R., Polasik R. (2018). *Energetic aspects of the AEDG grinding process of Ti6Al4V titanium alloy*. AIP Conf. Proc. 2017, 1, art. 020031, 13th Int. Conf. of Electromachining. DOI: 10.1063/1.5056294