

Sebastian SKOCZYPIEC¹
Piotr LIPIEC¹
Wojciech MYSIŃSKI²
Adam RUSZAJ¹

HYBRYDOWY GENERATOR DO MIKROOBRÓBK I ELEKTROEROZYJNEJ I ELEKTROCHEMICZNEJ

W artykule omówiono podstawy sekwencyjnej mikroobróbki elektrochemiczno – elektroerozyjnej. Przedstawiono zalety wynikające z połączenia obu technologii w jednym procesie wytwarzania, a także ograniczenia w jej stosowaniu. Następnie scharakteryzowano prototyp modułowego generatora impulsów roboczych dla procesu ECM i EDM i omówiono jego podstawowe zespoły. Prototyp urządzenia budowany jest w ITMiAP Politechniki Krakowskiej.

1. WPROWADZENIE

W Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji Politechniki Krakowskiej rozwijana jest innowacyjna technologia hybrydowej, sekwencyjnej mikrotechnologii, polegającej na zintegrowaniu dwóch zabiegów technologicznych: mikroobróbki elektrochemicznej ECMM i mikroobróbki elektroerozyjnej EDM [4],[5],[7]. W trakcie procesu ECMM materiał usuwany jest w wyniku reakcji elektrochemicznych, a w procesie EDM w wyniku wyładowań iskrowych. Zastosowanie obu rodzajów obróbek w jednej sekwencji pozwala w znacznym stopniu zminimalizować ich wady, a jednocześnie w pełni wykorzystać ich zalety, co w efekcie prowadzi do istotnego podwyższenia wskaźników użytkowych procesu.

Z analizy stanu wiedzy [1],[2] oraz badań własnych [5],[6] można wnioskować o wysokiej efektywności techniczno - ekonomicznej proponowanej mikrotechnologii w wytwarzaniu prototypowych elementów dla Systemów Mikro-Elektro-Mechanicznych (MEMS), oprzyrządowania i narzędzi do mikro-skrawania, mikro-odlewania i mikro-obróbki plastycznej.

¹ Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, Politechnika Krakowska

² Katedra Elektrotechniki i Elektroniki, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Politechnika Krakowska

Ważne miejsce w mikrotechnologii zajmuje kształtowanie elektroerozyjne oraz elektrochemiczne, co wiąże się z ich wysoką efektywnością techniczno - ekonomiczną przy wytwarzaniu struktur mikrogeometrycznych w elementach maszyn, MEMS oraz oprzyrządowania i narzędzi. W procesie projektowania i testowania mikrosystemów ważne miejsce zajmuje wytwarzanie prototypów, których zarówno koszt jak i czas wykonania powinny być stosunkowo niewielkie. Ponieważ metody stosowane w skali masowej lub wielkoseryjnej cechują duże koszty przygotowania produkcji do wytwarzania zespołów prototypowych może być z powodzeniem zastosowana mikrotechnologia elektroerozyjna i elektrochemiczna [1],[2].

Przy wykonywaniu złożonych mikrostruktur przestrzennych (3D) niezbędna jest wysoka lokalizacja procesów usuwania nadmiaru. Uzyskuje się ją poprzez zmniejszenie szczeliny roboczej do kilku mikrometrów, stosowanie bardzo krótkich impulsów napięciowych rzędu dziesiątek nanosekund, o niewielkich napięciach roboczych rzędu kilku woltów w przypadku ECMM lub kilkudziesięciu w przodku EDM, elektrod cylindrycznych o średnicach rzędu kilkudziesięciu mikrometrów oraz precyzyjnego systemu sterowania ruchami roboczymi [3].

Zgodnie z przedstawioną w [4],[8] koncepcją, połączenie obu mikroobróbek, przez ich realizację w jednym urządzeniu integrującym obie technologie, pozwala w znacznym stopniu zredukować wpływ wad obu procesów na końcowe wskaźniki technologiczne, a w szczególności wielokrotnie skrócić całkowity czas mikroobróbki. W przypadku zastosowania sekwencji ECMM→EDMM, po usunięciu ok. 80% nadmiaru w procesie roztwarzania elektrochemicznego i uzyskaniu mikrostruktury z dokładnością ok. 10-20 μ m, pozostała część nadmiaru usuwana jest elektroerozyjnie, co pozwala na otrzymanie końcowego kształtu z dokładnością 1-5 μ m. Zastosowanie takiej sekwencji pozwala na radykalne skrócenie całkowitego czasu obróbki, ponieważ wydajność właściwa ECMM jest 10-100 krotnie większa od wydajności EDM. Należy zaznaczyć, że w ECMM nie występuje zużycie elektrody roboczej, dzięki czemu obróbka EDM może być prowadzona z użyciem tej samej elektrody, bez potrzeby jej wymiany. Przejście do zabiegu EDM powoduje jedynie konieczność zmiany cieczy roboczej z elektrolitu na dielektryk np. dejonizowaną wodę oraz przełączenia generatora na impulsy stosowane w EDM.

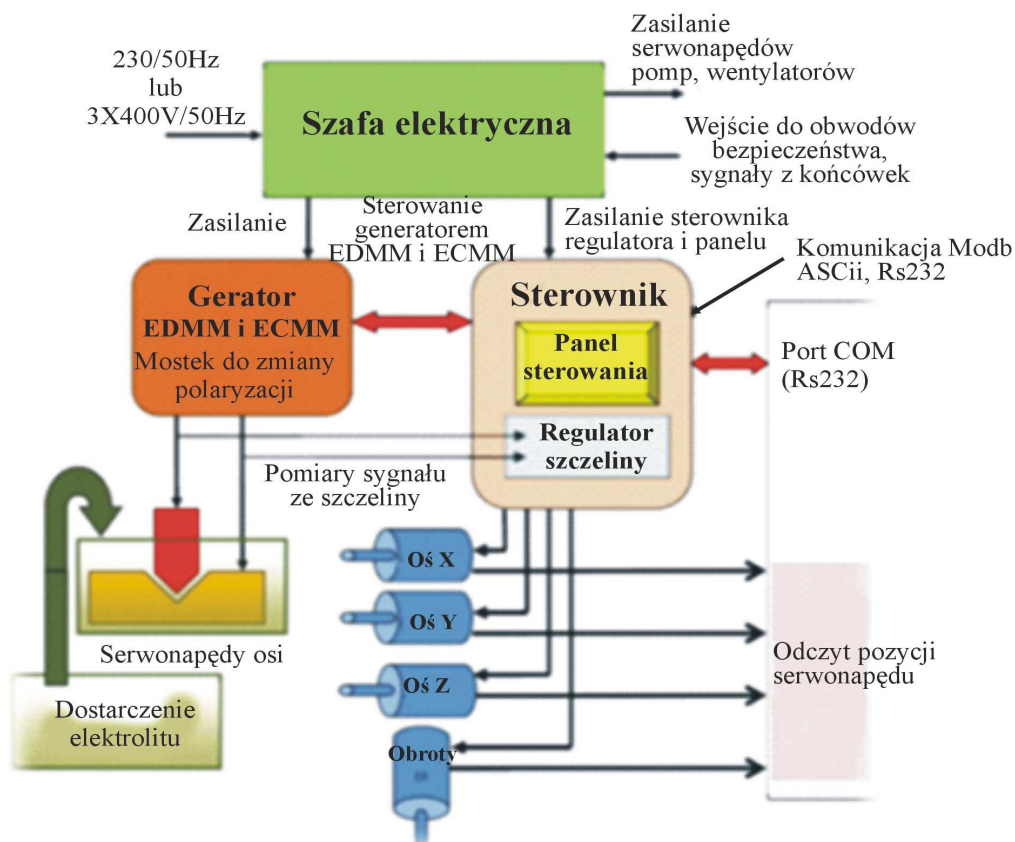
W przypadku gdy oczekuje się, że właściwości warstwy wierzchniej praktycznie nie ulegną zmianie po obróbce, a w szczególności wyeliminowane będą naprężenia własne oraz warstwa przetopiona, wówczas celowym jest zastosowanie sekwencji EDM→ECMM lub ECMM→EDM→ECMM.

Jednym z kluczowych elementów uzyskania założonych efektów sekwencyjnej hybrydowej technologii elektrochemiczno – elektroerozyjnej jest zastosowanie odpowiednich generatorów prądu roboczego (elektroerozyjny i elektrochemiczny). Od ich konstrukcji w dużej mierze zależy dokładność i wydajność obróbki. W realiach krajowych nie ma praktycznie firm oferujących gotowe rozwiązania generatorów do obróbki elektrochemicznej i elektroerozyjnej. Dlatego też, przy współpracy z Katedrą Elektrotechniki i Elektroniki, Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Politechniki Krakowskiej zdecydowano się na skonstruowanie prototypu generatora spełniającego wymagania związane z efektywną realizacją sekwencyjnej technologii elektrochemiczno – elektroerozyjnej.

2. PROTOTYP HYBRYDOWEGO GENERATORA DO MIKROOBRÓBKII ELEKTROEROZYJNEJ I ELEKTROCHEMICZNEJ

Prototyp obrabiarki do sekwencyjnej mikrotechnologii elektrochemiczno - elektroerozyjnej składa się z kilku podstawowych elementów:

- części mechanicznej zbudowanej na bazie granitowego korpusu, wyposażonej w realizowany poprzez serwonapędy, układ posuwów w osiach X, Y, Z i osi obrotowej C,
- układu obiegu cieczy roboczej (pompy: niskociśnieniowe i wysokociśnieniowa),
- generatora do mikroobróbki elektroerozyjnej (EDMM),
- generatora do mikroobróbki elektrochemicznej (ECMM),
- regulatora szczeliny międzyelektrodowej dla potrzeb elektroerozji,
- układu nadrzędnego sterownika dla generatora EDMM, ECMM i regulatora szczeliny,
- panelu operatorskiego,
- układu zasilania sieciowego (szafa elektryczna) dla potrzeb sterownika, panelu operatorskiego, generatora EDMM, ECMM, serwonapędów, pomp i wentylatorów.

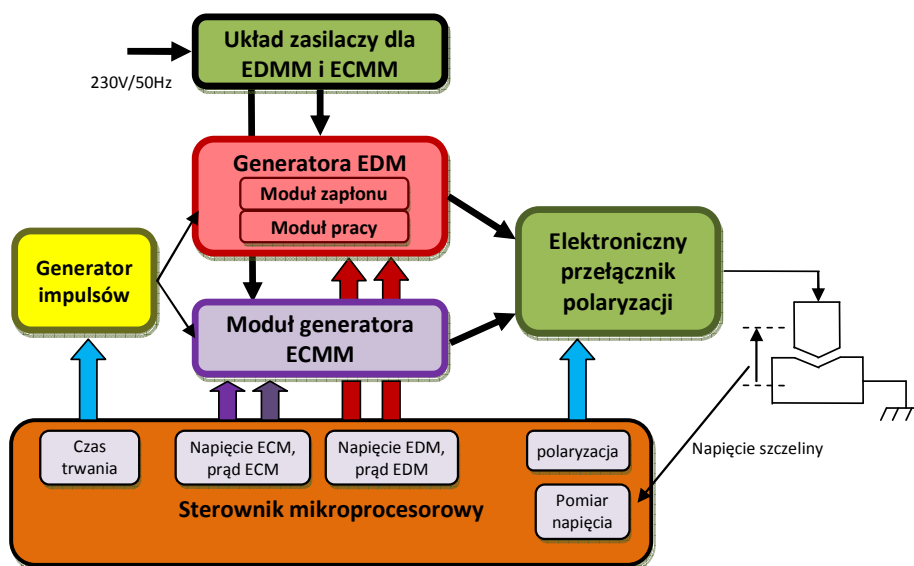


Rys 1. Schemat prototypu obrabiarki do sekwencyjnej mikroobróbki elektrochemiczno – elektroerozyjnej
 Fig. 1. Scheme of machine tool prototype for electrochemical – electrodischarge hybrid sequential micromachining

Sterowanie poszczególnymi elementami systemu - generatorem EDMM, ECMM, regulatorem szczeliny, serwonapędami, pompami i wentylatorami jest realizowane poprzez sterownik nadrzędny wraz z panelem operatorskim. Parametry elektryczne i czasowe dla procesu EDMM i ECMM są zadawane za pomocą panelu operatorskiego lub zewnętrznego urządzenia poprzez interfejs szeregowy RS232, RS422, np. komputer klasy PC. Uproszczony schemat blokowy systemu przedstawiony jest na rys. 1.

Pod względem budowy do zintegrowanego generatora EDMM+ECMM zaliczają się następujące podzespoły (rys. 2):

1. moduł zapłonu EDMM:
 - układ zasilacza 60V, 80V, 100V, 120V,
 - zespół kluczy do wyboru prądu zapłonu, maksymalnie do 0,5A,
2. moduły prądu pracy EDMM:
 - układ zasilacza,
 - zespół kluczy do wyboru prądu pracy, maksymalnie do 4,5A ,
3. moduł zasilania ECMM:
 - układ zasilacza regulowanego od 5V, do 25V,
 - zespół kluczy do wyboru prądu ECM, maksymalnie do 1A
4. moduł mostka polaryzacji:
 - zespół 4 tranzystorów połączonych w mostek,
 - obwód wyjściowy do pomiaru prądu i napięcia na szczelinie,
5. generator impulsów (100ns-25ns), który doprowadza impulsy do modułów EDMM i ECMM i mostka polaryzacji,
6. układ sterownika mikroprocesorowego dla generatora do komunikacji ze sterownikiem nadrzędnym, (mikrokontroler, który komunikuje się z głównym sterownikiem za pomocą interfejsu szeregowego).



Rys. 2. Schemat blokowy generatora EDM/ECM
Fig. 2. Block diagram of the EDM/ECM generator

Generator EDMM składa się z modułu zapłonu i modułu pracy. Moduł zapłonu dostarcza do szczeliny międzyelektrodowej wybraną wartość napięcia zapłonu (60V, 80V, 100V, 120V) poprzez mostek polaryzacji. Ograniczenie prądowe w module zapłonu jest realizowane przez dołączanie lub odłączanie rezystorów za pomocą tranzystorów typu MOSFET.

Moduł prądowy doprowadza do szczeliny międzyelektrodowej prąd w momencie wystąpienia zapłonu lub zwarcia. Zadawanie maksymalnego prądu pracy jest realizowane przez dołączanie lub odłączanie rezystorów mocy.

Bardzo podobnie pracuje moduł ECMM, który doprowadza do szczeliny międzyelektrodowej napięcie, a prąd o zadanej, maksymalnej wartości jest ustalany rezystorami mocy.

Moduł zapłonu, moduł prądu pracy i moduł ECMM pracują równolegle i są podłączone do mostka polaryzacji, który jest zbudowany z czterech tranzystorów mocy. Operator decyduje czy drążarka ma być typu EDMM czy ECMM i wybiera parametry czasowe i energetyczne, a sterownik mikroprocesorowy wybiera odpowiednie moduły do pracy. Poprzez naprzemienne sterowanie poszczególnymi tranzystorami w mostku możemy uzyskać polaryzację dodatnią lub ujemną szczeliny międzyelektrodowej względem punktu odniesienia. Jest to punkt przewodu ochronnego PE instalacji elektrycznej maszyny.

3. PODSUMOWANIE

Zastosowanie sekwencji mikroobróbki elektrochemicznej ECMM i elektroerozyjnej EDMM daje możliwość na pełniejsze wykorzystanie zalet obu technik przy jednoczesnym minimalizowaniu ich wad, a w szczególności radykalne skrócenie czasu obróbki. Realizacja takiego urządzenia wymaga zaprojektowania i wykonania odpowiedniego generatora impulsów roboczych składającego się z dwóch modułów, odpowiednio do procesu EDM i ECM, układu wykrywania styku, układu regulatora szczeliny międzyelektrodowej oraz układu obiegu cieczy roboczej przystosowanego do pracy z elektrolitem i dielektrykiem, a także specjalnej komory roboczej. Wymagana dokładność wymiarowo – kształtowa oraz wielkość szczeliny międzyelektrodowej powodują konieczność zastosowania precyzyjnych serwonapędów realizujących ruchy elektrody roboczej. Dzięki zastosowaniu bardzo krótkich impulsów napięciowych o niewielkich amplitudach możliwe jest osiągnięcie wysokiego stopnia lokalizacji sekwencyjnego procesu obróbki.

W trakcie konferencji zostaną przedstawione wyniki wstępnych badań technologicznych zaprezentowanego w artykule generatora.

Praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (Projekt rozwojowy NR03-0060-10 /2011 pt „System hybrydowego elektroerozyjno-elektrochemicznego wytwarzania mikroelementów”)

LITERATURA

- [1] ABBAS N.M., SOLOMON D.S., BAHARI M.F., 2007 *A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM)*. Int. J. of Mach. Tools and Manuf., 47, 1214-1228.

- [2] RAJURKAR K. P, LEVY G, MALSHE A., SUNDARAM M.M., McGEOUGH J., HUA X., RESNICK R., DeSILVA A., 2006 *Micro and Nano Machining by Electro-Physical and Chemical Processes*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 55/2, 643-666.
- [3] RUSZAJ A., SKOCZYPIEC S., LIPIEC P., 2006, *Wybrane problemy projektowania i eksploatacji obrabiarek elektrochemicznych do kształtowania mikroelementów*. Inżynieria Maszyn, 11/1, 48-54.
- [4] SKOCZYPIEC, S., RUSZAJ A., 2009 *Koncepcja obrabiarki do hybrydowej sekwencyjnej technologii EC/EDMM* Inżynieria Maszyn, 12/4, 62-69.
- [5] SKOCZYPIEC, S., KOZAK, J., RUSZAJ, A., 2009, *Wybrane problemy technologii elektrochemicznej i elektroerozyjnej mikro-narzędzi* Inżynieria Maszyn, 14/1, 20-30.
- [6] SKOCZYPIEC, S., RUSZAJ A., 2009 *Tendencje rozwojowe mikrotechnologii wytwarzania. Niekonwencjonalne metody mikroobróbki*. Mechanik, 12, 1024-1027.
- [7] RUSZAJ A., SKOCZYPIEC S., 2011 *Kształtowanie mikroelementów obróbką elektrochemiczną i elektroerozyjną* Mechanik, 12/XX-XXII.
- [8] ZENG Z., WANG Y., WANG Z., HE X., 2012, *A Study of Micro-EDM and Micro-ECM Combined Milling for 3D Metallic Micro-structures*. Precision Engineering, artykuł dostępny on-line.

THE PROTOTYPE OF HYBRID PULSE GENERATOR FOR ELECTRODISCHARGE AND ELECTROCHEMICAL MICROMACHINING

In the paper has presented prototype of hybrid pulse generator for electrodischarge and electrochemical micromachining. The combination of both process gives possibility to minimize disadvantages and emphasizes advantages of electrochemical and electrodischarge micromachining processes. The generator has been designed in Cracow University of Technology.