

Sebastian SKOCZPIEC ¹
Jerzy KOZAK ²
Adam RUSZAJ ¹

WYBRANE PROBLEMY TECHNOLOGII ELEKTROCHEMICZNEJ I ELEKTROEROZYJNEJ MIKRO-NARZĘDZI

Szczególne miejsce wśród metod wytwarzania oprzyrządowania i narzędzi do mikro-odlewania i mikroformowania zajmują metody niekonwencjonalne tj. obróbka elektroerozyjna i elektrochemiczna. W referacie przedstawiono charakterystykę obu tych procesów oraz opisano problemy związane z wdrożeniem obu metod do przemysłu. Przedstawiono również koncepcje połączenia obu tych metod w jeden, sekwencyjny proces wytwarzania pozwalający w znacznym stopniu zminimalizować wady cechujące wymienione sposoby, jednocześnie wykorzystując w pełni ich zalety.

1. WPROWADZENIE

Mikro-technologie zajmują aktualnie jedno z najważniejszych miejsc w działalności produkcyjnej i innowacyjnej czołowych firm zagranicznych stanowiąc jeden z głównych kierunków prowadzonych przez nie prac badawczo - rozwojowych. Wytwarzanie elementów mikromechanizmów, prototypowych, elementów dla Mikro-Elektro-Mechanicznych Systemów (MEMS), oprzyrządowania i narzędzi do mikro-skrawania, mikro-odlewania i mikro-obróbki plastycznej to bardzo dynamicznie rozwijający się obszar w ubytkowych i przyrostowych metodach wytwarzania.

Szczególne miejsce w mikro - technologii zajmują metody niekonwencjonalne tj. mikro-obróbka elektrochemiczna (ElectroChemical Micro Machining - ECMM) oraz mikro-obróbka elektroerozyjna (ElectroDischarge Mikro Machining - EDMM). Wiąże się to z ich wysoką efektywnością techniczno - ekonomiczną przy wytwarzaniu struktur mikrogeometrycznych w elementach maszyn, MEMS, oprzyrządowania i narzędzi oraz na etapie projektowania i testowania nowych mikrosystemów (MEMS) (wykonawstwo prototypów przy możliwie małych nakładach finansowych).

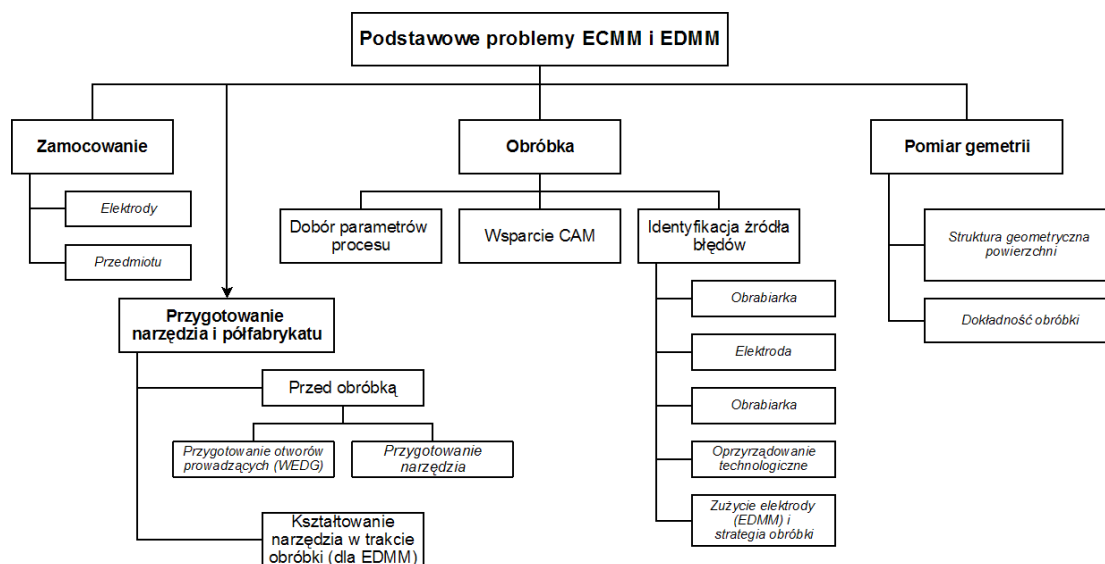
Kształtowane powierzchnie mikro-narzędzi są najczęściej powierzchniami krzywoliniowymi wewnętrznymi lub zewnętrznymi, co warunkuje przyjęcie szeregu rozwiązań technologicznych, których podstawowym celem jest zapewnienie jak największej dokładności wykonania (czyli wysokiej lokalizacji procesu usuwania nadmiaru) przy

1 - Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Politechnika Krakowska

2 - Instytut Mechaniki i Poligrafii, Politechnika Warszawska

akceptowalnej wydajności obróbki. Podstawowe problemy związane z zapewnieniem wymagań powyższych wymagań przedstawione zostały na Rys. 1.

Poniżej, w aspekcie zastosowania do wytwarzania mikro-narzędzi, przedstawiona zostanie charakterystyka obu wspomnianych powyżej procesów oraz koncepcja połączenia obu omawianych metod w sekwencyjny proces pozwalający zminimalizować wady obu metod.



Rys. 1. Diagram przedstawiający podstawowe problemy związane z rozwojem mikrotechnologii elektrochemicznej (ECMM) i elektroerozyjnej (EDMM) [9].

Fig. 1. Diagram with typical problems connected with development of electrochemical (ECMM) and electrodischarge (EDMM) microtechnology [9].

2. MIKROOBRÓBKA ELEKTROCHEMICZNA (ECMM)

W mikro obróbce elektrochemicznej materiał jest usuwany w procesie roztwarzana anodowego ultrakrótkimi impulsami prądowymi [2, 3, 5, 7]. Do zalet tego procesu należy zaliczyć:

- brak zużycia elektrody roboczej (ER),
- wysoką wydajność (od 10 do 100 krotnie większa niż w przypadku mikro-obróbki elektroerozyjnej),
- brak istotnych zmian w warstwie wierzchniej obrabianego elementu (siły mechaniczne w obszarze obróbki są zbliżone do zera).

Zastosowanie obróbki elektrochemicznej do wytwarzania mikro-narzędzi może być realizowane w dwóch podstawowych operacjach:

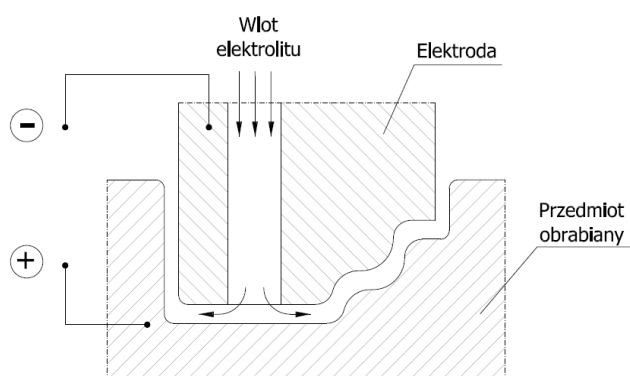
- *drążenie elektrochemiczne* (Rys. 2): elektroda robocza przesuwa się w kierunku przedmiotu obrabianego a jego kształt jest wynikiem odwzorowania kształtu elektrody w materiale obrabianym. Wymiary powierzchni obrabianej zależą od wymiarów elektrody, wymiarów otworu doprowadzającego elektrolit oraz grubości szczeliny

międzyelektrodowej. Im mniejsza grubość szczeliny i wymiary elektrody tym mniejsze elementy mogą być obrabiane. Przy drążeniu otworów o średnicy $d < 0,2$ mm otworu doprowadzającego elektrolit w elektrodzie nie wykonuje się;

- *obróbka elektrochemiczna uniwersalną elektrodą* (Rys. 2): w tym przypadku kształt powierzchni obrabianej jest odwzorowaniem trajektorii elektrody w przestrzeni 3D. Aby zapewnić optymalny przepływ elektrolitu oraz skuteczne usuwanie produktów roztwarzania często stosuje się dodatkowy ruch obrotowy lub drgania narzędzia. Wymiary przedmiotu obrabianego zależą, podobnie jak w przypadku drążenia, od wymiarów (średnicy) elektrody roboczej i grubości szczeliny międzyelektrodowej.

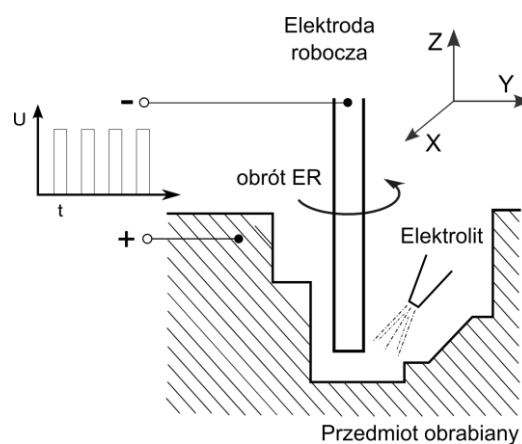
Podstawowym problemem związanym z zastosowaniem obróbki elektrochemicznej do wytwarzania mikro-elementów jest znacznie mniejsza, w porównaniu z innymi metodami, lokalizacja usuwania nadmiaru oraz nierównomierność roztwarzania faz strukturalnych materiału w wyniku heterogeniczności elektrochemicznej. Powoduje to lokalne błędy kształtu oraz trudności w uzyskaniu ostrych krawędzi. Najczęstszymi rozwiązaniami, mającymi na celu zwiększenie dokładności obróbki jest [3, 5, 7]:

- skrócenie czasu trwania impulsu roboczego
- zmniejszenie szczeliny międzyelektrodowej,
- odpowiedni dobór rodzaju i koncentracji elektrolitu,
- stosowanie niskich napięć międzyelektrodowych (w porównaniu do obróbki makro),
- stosowanie izolacji lub układów wieloelektrodowych.



Rys. 2. Schemat drążenia powierzchni krzywoliniowej (np. wnęki roboczej formy lub matrycy), w przypadku gdy otwór doprowadzający elektrolit jest wykonany w elektrodzie roboczej.

Fig. 2. Scheme of sculptured surface (cavity of mould or die) electrochemical drilling in case when hole for electrolyte supplying is made in electrode – tool.



Rys. 3. Schemat mikro-obróbki elektrochemicznej elektrodą uniwersalną (3D-ECMM).

Fig. 3. Scheme of sculptured surface (cavity of mould or die) electrochemical machining with universal electrode (3D-ECMM)

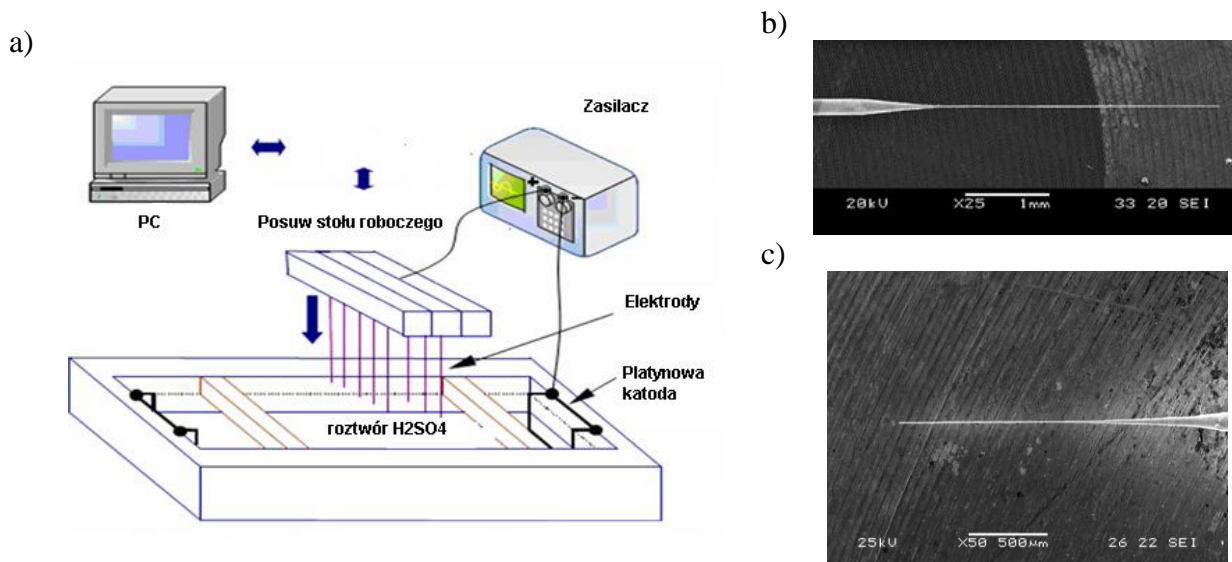
Największy postęp w tym zakresie osiągnięto stosując obróbkę z bardzo krótkimi czasami impulsu ($t_i < 100$ ns) [4, 5, 7], dzięki czemu istotnie poprawiła się lokalizacja procesu roztwarzania anodowego, co wpłynęło na dynamiczny wzrost możliwych zastosowań procesu ECMM.

Zastosowanie drążenia do wytwarzania mikro – narzędzi jest ograniczone jedynie do nieskomplikowanych kształtów, ze względu na problemy z wykonaniem elektrody, odwzorowującej kształt narzędzia, jak również konieczność dostarczenia elektrolitu do szczeliny międzyelektrodowej (wymaga to wykonania otworu w elektrodzie, co samo w sobie stwarza duży problem technologiczny).

Dlatego też najbardziej efektywnym rozwiązaniem jest zastosowanie elektrody o prostym kształcie oraz kinematyki typowej dla frezowania (3D-ECMM). Zastosowanie elektrody o średnicy części roboczej rzędu kilku – kilkunastu mikrometrów pozwala na wykonywanie elementów o skomplikowanych kształtach i wymiarach charakterystycznych $< 50 \mu\text{m}$. Podobnie jak w drążeniu, jednym z głównych zagadnień, jest wykonanie elektrody roboczej, jednak podstawowym zadaniem jest uzyskanie jak najmniejszej średnicy ER, przy zapewnieniu odpowiedniego mocowania, sztywności i dokładności jej wykonania.

Najlepszym rozwiązaniem, które umożliwi spełnienie powyższych wymagań technologicznych jest wykonanie stopniowanej ER na tym samym stanowisku, na którym prowadzona będzie obróbka (w tym samym zamocowaniu). Jedną z metod umożliwiających spełnienie powyższych wymagań jest trawienie elektrochemiczne (Rys. 4a), które polega na powolnym wyciąganiu końcówki elektrody, podłączonej do dodatniego źródła prądu, z roztworu elektrolitu, w którym zanurzona jest platynowa katoda. Odpowiednie sterowanie ruchem ER pozwala uzyskać stożkowy kształt części roboczej o średnicy poniżej $5 \mu\text{m}$ (Rys 4b i 4c), przy zachowaniu odpowiedniej sztywności części chwytowej ER.

Równie efektywną metodą wykonywania elektrod do 3D-ECMM jest elektroerozyjne obciążanie powierzchni bocznej elektrody. Metoda ta zostanie szerzej omówiona w części artykułu poświęconej obróbce elektroerozyjnej.



Rys. 4. Schemat przedstawiający wykonywanie elektrod trawieniem elektrochemicznym (a) oraz przykłady elektrod przygotowanych w ten sposób: b) $\phi = 30 \mu\text{m}$, c) $\phi = 4 \mu\text{m}$ [2].

Fig. 4. Schematic diagram of electrochemical etching system (a) and examples of machined electrodes: b) $\phi = 30 \mu\text{m}$, c) $\phi = 4 \mu\text{m}$ [2].

Pomimo rozwiązania w ostatnich latach szeregu problemów związanych z prowadzeniem mikro – obróbki elektrochemicznej, nadal podstawową wadą tego procesu jest stosunkowo niska dokładność mikroobróbki (ok. 5 μm), co przy wykonywaniu mikro – narzędzi stanowi istotne ograniczenie aplikacyjne.

3. MIKROOBRÓBKA ELEKTROEROZYJNA (EDMM)

W obróbce elektroerozyjnej naddatek jest usuwany z przedmiotu obrabianego w wyniku zjawisk towarzyszącym wyładowaniom elektrycznym (parowanie, topienie i rozrywanie materiału) w obszarze pomiędzy przedmiotem obrabianym a elektrodą roboczą. Szczelina międzyelektrodowa wypełniona jest cieczą dielektryczną, której zadaniem jest m.in. usunięcie produktów erozji z przestrzeni międzyelektrodowej. Mechanizm usuwania naddatku, oparty na wyładowaniach elektrycznych, powoduje, że obróbka elektroerozyjna jest racjonalną alternatywą przy kształtowaniu elementów wykonanych z materiałów trudno obrabialnych klasycznymi metodami tj: utwardzona stal, węgliki, stopy o wysokiej wytrzymałości, super twarde materiały przewodzące prąd elektryczny (np. materiały kompozytowe na osnowie metalicznej, ceramika). Obróbka elektroerozyjna umożliwia wykonywanie z tych materiałów skomplikowanych, krzywoliniowych powierzchni z wysoką dokładnością ($\sim 2 \mu\text{m}$) co powoduje że powszechnie jest stosowana np. do wytwarzania narzędzi, form wtryskowych czy matryc.

W EDM ilość usuniętego materiału zależy od energii pojedynczego wyładowania (większa energia to większa wydajność obróbki, jednak przy zwiększonej chropowatości powierzchni). W mikro-obróbce elektroerozyjnej (EDMM) jednym z kluczowych zagadnień jest ograniczenie energii pojedynczego wyładowania, co pozwala na wykonywanie mikro-elementów z wysoką dokładnością i dobrą jakością powierzchni. Aby uzyskiwać oczekiwane rezultaty energia pojedynczego wyładowania powinna być rzędu $10^{-6} - 10^{-7} \text{ J}$ [9]. Kolejnym problemem, który związany jest z efektywną realizacją obróbki jest zużycie elektrody, które znacznie wpływa na dokładność obróbki. Zużycie elektrody zależy od wielu czynników związanych z procesem np. napięcia, amplitudą natężenia prądu, materiału elektrody, polaryzacji itp.

Obecnie w zależności od rodzaju stosowanego narzędzia i kinematyki obróbki, można wyróżnić cztery kierunki rozwoju mikroobróbki elektroerozyjnej [9]:

- mikro-wycinane elektroerozyjne (WEDM) – odmiana obróbki elektroerozyjnej, w której elektrodą jest cienki drut (nawet do 20 μm). Przedmiot obrabiany mocowany jest na stole roboczym, który najczęściej przemieszczany jest w kierunkach wzajemnie prostopadłych. Ze względu na zużycie elektroerozyjne drut jest przewijany ze szpuli na szpulę z prędkościami 0.5 – 20 m/min
- mikro-drażenie elektroerozyjne – w kształtowanie odbywa się analogicznie do drażenia elektrochemicznego - w wyniku odwzorowania kształtu elektrody w przedmiocie obrabianym,
- mikro - wiercenie elektroerozyjne – zastosowanie EDMM do wytwarzania otworów o średnicach nawet do 5 μm ,

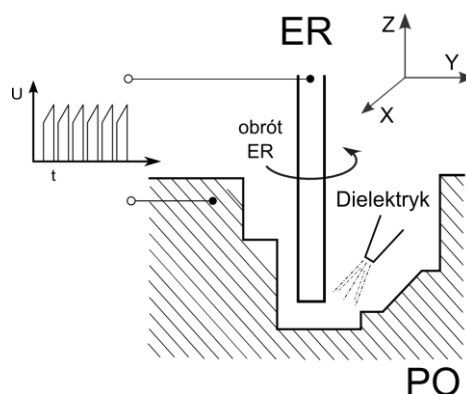
- obróbka elektroerozyjna elektrodą uniwersalną (3D-EDMM) - podobnie jak w 3D-EDMM, kształt powierzchni obrabianej jest odwzorowaniem trajektorii elektrody w przestrzeni 3D.

Tabela 1: Porównanie klasycznego procesu EDM z mikro-obróbką elektroerozyjną EDMM.

Table 1: Comparison of macro and micro EDM processes.

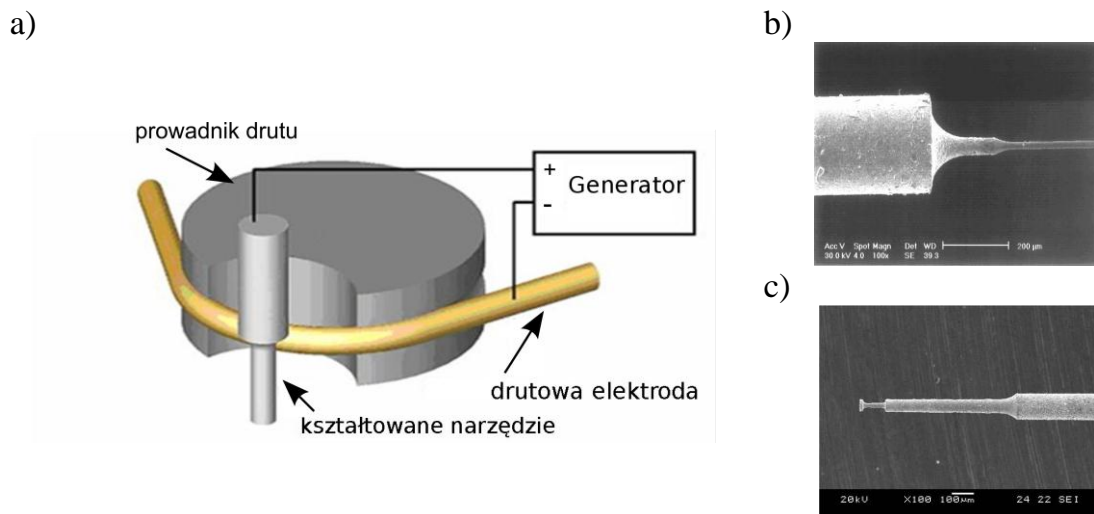
	EDM	EDMM
Oprzętdowanie i media		
Generator prądowy	tranzystorowy	RC
Dielektryk	dielektryki na bazie nafty, woda dejonizowana	dielektryki na bazie nafty
Przepłukiwanie szczeliny	wewnętrzne, zewnętrzne	brak
Materiał elektrody	miedź, grafit	wolfram, węgiel wolframu
Parametry procesu		
Amplituda natężenia prądu	0.5 – 400 A	0.1 – 10 mA
Napięcie	40 – 400 V	60 – 120 V
Czas impulsu	$10^{-6} - 10^{-3}$ s	$10^{-9} - 10^{-6}$ s
Zużycie elektrody	< 5%	nawet do 100%

Jedną z podstawowych różnic pomiędzy klasyczną obróbką EDM (w skali makro) a EDMM jest wielokrotnie wyższe zużycie elektrody roboczej (w niektórych zastosowaniach sięgające nawet 100%). Ogranicza to praktycznie zastosowanie drążenia elektroerozyjnego do wykonywania prostych wgłębień i otworów kształtowych. Dlatego też w aspekcie wytwarzania narzędzi (zwłaszcza do mikro-formowania) największe możliwości aplikacyjne daje zastosowanie elektrody cylindrycznej o jak najmniejszej średnicy oraz sterowania ruchami względnymi elektrody i przedmiotu w trzech osiach (Rys. 5). Poniżej przedstawiona zostanie szczegółowa charakterystyka tej odmiany EDMM.

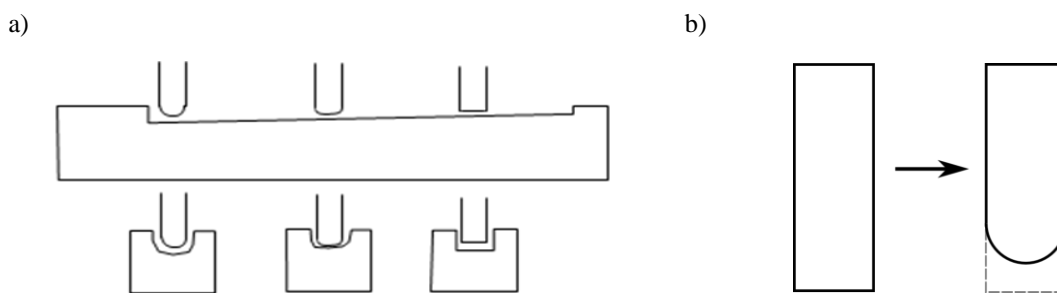


Rys. 5. Schemat kształtowania powierzchni mikro-narzędzia obróbką elektroerozyjną elektrodą uniwersalną (3D-EDMM).

Fig. 5. Scheme of sculptured surface (cavity of mould or die) electrodischarge machining with universal electrode (3D-ECMM)

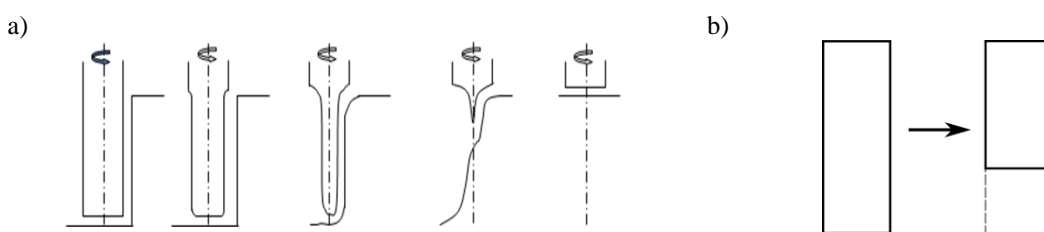


Rys. 6. Schemat elektroerozyjnego kształtowania elektrod (a) oraz przykłady wykonanych narzędzi (b i c) [2].
 Fig. 6. Scheme of wire electro discharge machining application for electrode tip shaping (a) and examples of machined electrodes tips (b and c) [2].



Rys. 7. Typowe zużycie elektrody w 3D-EDMM: a) wpływ zużycia elektrody na dokładność obróbki – pojedyncze przejście; b) kształt czoła elektrody po obróbce.

Fig. 7. Scheme of electrode wear in 3D-EDMM: a) wear impact on machining accuracy – single path, b) change of electrode shape after machining.



Rys. 8. Zużycie elektrody w 3D-EDMM w przypadku zwiększenia grubości usuwanej warstwy: a) kolejne etapy zużycia elektrody, b) kształt czoła elektrody po usunięciu pojedynczej warstwy.

Fig. 8. Electrode wear in 3D-EDMM in case of increase machining allowance thickness: a) stages of electrode wear, b) change of electrode shape after machining of single layer.

Jak wcześniej wspomniano, w mikrokształtowaniu elektroerozyjnym, przedmiot obrabiany jest w wyniku odwzorowania trajektorii elektrody roboczej. Narzędzie charakteryzuje się prostym kształtem – najczęściej jest to pręt/drut o średnicy < 0.5 mm. Ze względu na niewielką sztywność elektrody, stosuje się wykonywanie elektrod bezpośrednio na obrabiarce, która wyposażona jest w przystawkę do kształtowania elektrod. Umożliwia to obróbkę elektrodami o średnicach < 50 μm , co byłoby niemożliwe w przypadku

zastosowania narzędzia o takiej średnicy na całej długości. Pozwala to wykonywać przedmioty o mniejszych wymiarach jak również zwiększa dokładność obróbki.

Kolejnym problemem, który musi być rozwiązany, jest kompensacja zużycia elektrody roboczej (Rys. 7) z tym, że jej prosty kształt umożliwia stosunkowo prostą kompensację zużycia narzędzia. W większości metod kompensacji stosowane jest:

- usuwanie nadatku warstwami,
- prowadzenie obróbki w taki sposób, aby następowało zużycie jedynie czoła elektrody, co jest związane z odpowiednim doбором grubości usuwanej warstwy (Rys. 8),
- wprowadzenie ruch względnego elektrody i przedmiotu obrabianego kompensującego skracanie się elektrody,

Rozwiązanie przedstawionych powyżej problemów, w stopniu pozwalającym na wdrożenie tej metody do przemysłu spowodowało, że obróbka EDMM z powodzeniem jest stosowana do wytwarzania:

- kształtowych otworów (np. we wtryskiwaczach, dysze przedziałnicze);
- elementów MEMS (np. kół zębatych mikro-przekładni);
- narzędzi do obróbki mikro-plastycznej (np. mikro-wykrojników), mikro-skrawania (np. wiertła, mikrofrezy).

4. KONCEPCJA HYRYDOWEJ TECHNOLOGII EC/EDMM

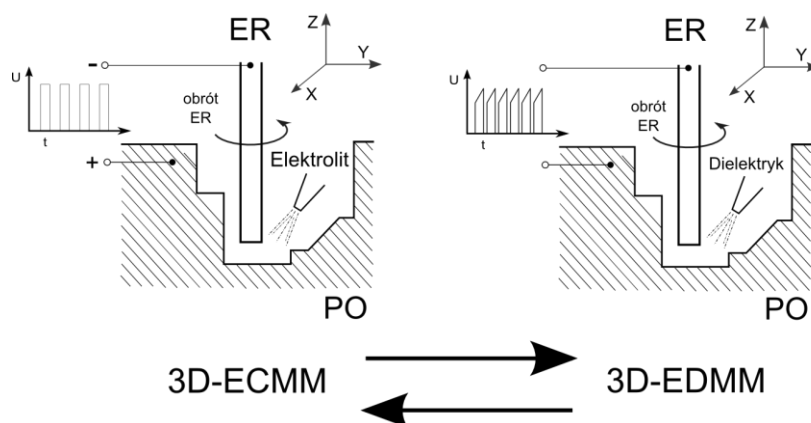
W przedstawionych powyżej sposobach mikroobróbki stosowana jest cylindryczna elektroda robocza (ER) o możliwie najmniejszej średnicy oraz sterowanie numeryczne ruchami względnymi elektrody i wyrobu. Podwyższenie stopnia lokalizacji następuje przez zmniejszenie szczeliny międzyelektrodowej do kilku mikrometrów oraz ładunku elektrycznego w czasie roztwarzania elektrochemicznego (ECMM) lub energii wyładowań w przypadku erozji elektrycznej (EDMM).

W ECMM materiał usuwany jest roztwarzaniem anodowym ultrakrótkimi impulsami prądowymi. Obróbce może być poddany materiał przewodzący prąd elektryczny niezależnie od jego właściwości mechanicznych. Do zalet procesu należy zaliczyć brak zużycia elektrod roboczych, wysoką wydajność oraz nie wprowadzanie istotnych zmian do warstwy wierzchniej, w szczególności naprężeń wewnętrznych. Wadą tego sposobu znacznie mniejsza lokalizacja usuwania materiału w stosunku do EDMM oraz nierównomierność roztwarzania faz strukturalnych materiału w wyniku heterogeniczności elektrochemicznej, co może powodować wystąpienie lokalnych błędów kształtu oraz trudności w uzyskaniu ostrych krawędzi.

W EDMM, podobnie jak w przypadku ECMM obróbce może być poddany każdy materiał przewodzący elektryczność niezależnie od jego twardości i innych właściwości elektrycznych. Jak wspomniano wcześniej EDMM należy do efektywnych metod mikrotechnologii wytwarzania geometrycznych struktur 3 wymiarowych (3D) oraz mikrootworów. Wśród zalet EDMM należy wymienić wysoką dokładność wymiarów i kształtów (wysoka lokalizacją procesu usuwania materiału). Natomiast wadami procesu jest duże zużycie względne elektrody (ponad 30%) oraz niska wydajność właściwa (czas

obróbki może osiągać nawet dziesiątki godzin przy wykonaniu wykroju o gabarytach dziesiątków mikrometrów.

Koncepcja hybrydowej technologii EC/EDMM polega na połączeniu obu przedstawionych mikroobróbek w sekwencyjny proces (Rys. 9) i ich realizację na jednym urządzeniu integrującym obie technologie. Pozwala to w znacznym stopniu zredukować wpływ wymienionych wad na wskaźniki technologiczne, a w szczególności wielokrotnie skrócić czas całkowity mikroobróbki.



Rys. 9. Schemat ideowy hybrydowej mikrotechnologii z zastosowaniem sekwencji EC/EDMM.

Fig. 9. Scheme of the hybrid technology with application of EC/EDMM sequence.

W przypadku zastosowania sekwencji ECMM→EDMM, po usunięciu roztwarzaniem elektrochemicznym ok. 80% nadatku i uzyskaniu mikrostruktury z dokładnością ok. 10-20 μm , pozostała część nadatku usuwana jest elektroerozyjnie i otrzymuje się żądany kształt końcowy z dokładnością 1-5 μm . Zasadniczym efektem tej sekwencji jest radykalne skrócenie całkowitego czasu obróbki, gdyż wydajność właściwa ECMM jest 10-100 krotnie większa od wydajności EDMM. Należy zaznaczyć, że w ECMM nie występuje zużycie elektrody roboczej/narzędzia, stąd obróbkę EDMM będzie prowadzona z użyciem tej samej elektrody (bez potrzeby jej wymiany). Przejście do zabiegu EDMM wymagać będzie jedynie zmiany cieczy roboczej z elektrolitu na dielektryk oraz przełączenia generatora na impulsy stosowane w EDMM.

W szczególnych przypadkach mikrotechnologii może wystąpić wymaganie minimalnych zmian właściwości warstwy wierzchniej po obróbce, a w szczególności wyeliminowanie naprężeń własnych oraz warstwy przetopionej po EDMM, wówczas celem będzie zastosowanie sekwencji EDMM→ECMM lub ECMM→EDMM→ECMM.

4. PODSUMOWANIE

W referacie przedstawiono charakterystykę procesów mikro obróbki elektrochemicznej i elektroerozyjnej w aspekcie zastosowania do wytwarzania mikro – narzędzi. Kształtowane powierzchnie są najczęściej powierzchniami krzywoliniowymi wewnętrznymi lub zewnętrznymi, co warunkuje przyjęcie szeregu rozwiązań technologicznych, których podstawowym celem jest zapewnienie jak największej dokładności wykonania (czyli wysokiej lokalizacji procesu usuwania

naddatku) przy akceptowalnej wydajności obróbki. W artykule przedstawiono podstawowe problemy związane z zapewnieniem powyższych wymagań.

Przedstawiona na końcu referatu koncepcja szeregowej realizacji obu procesów mikro-ECM i mikro-EDM, pozwala na pełne wykorzystanie zalet obu procesów. W ramach dalszych prac, prowadzonych na Politechnice Krakowskiej zbudowane zostanie stanowisko badawcze do hybrydowej sekwencyjnej realizacji obu tych procesów. Proponowane rozwiązanie wpisuje się w tendencje rozwoju obrabiarek, polegającą na realizacji różnych metod obróbki na jednej obrabiarence (np. obrabiarka firmy Sodick na której realizuje się sekwencje obróbki strumieniem wody oraz obróbki elektroerozyjnej WEDM, obrabiarka firmy OPS-Ingersol integrująca dwie technologie: szybkie frezowanie HSC i elektrodrażenie EDM)

„Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008 - 2011 jako projekt badawczy”

LITERATURA

- [1] ABBAS N.M., SOLOMON D.S., BAHARI M.F.: *A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM)*. Int. J. of Mach. Tools and Manuf., 2007, vol. 47, s. 1214-1228.
- [2] PARK B. J., CHU C. N.: *Microfabrication by Electrochemical Machining and Deposition*. Proceedings of US-Korea Workshop on Miniaturization Technologies, September 9, 2004 r.
- [3] CHIKAMORI K.: *Possibilities of electrochemical micromachining*. Int. J. of Japan Soc. Prec. Eng., 1998, vol. 32, nr 1, str. 37-38.
- [4] KOZAK J., GULBINOWICZ D., GULBINOWICZ Z.: *Investigations of MICRO electrochemical Machining with ultrashort pulses*, Proceedings of the 5th International Conference of the European society for precision engineering and nanotechnology, 8th – 11th May 2005, Montpellier, France.
- [5] KOZAK J., GULBINOWICZ D., GULBINOWICZ Z.: *The Mathematical Modeling and Computer Simulation of Pulse Electrochemical Micromachining*”, Engineering Letters, Volume 16, Issue 4, 2008.
- [6] HO K.H., NEWMAN S.T.: *State of the art electrical discharge machining (EDM)*. Int. J. of Mach. Tools And Manuf., 2003, vol. 43, str. 1287-1300.
- [7] KOCK M., KIRCHNER V., SCHUSTER R.: *Electrochemical micromachining with ultrashort voltage pulses – a versatile method with lithographical precision*. Electrochemica Acta 48 (2003), str. 3213 – 3219.
- [8] MASUZAWA T.: *State of the art of Micro Machining*, Annals of the CIRP, Vol. 49/2. 2000 r.
- [9] PHAM D.T., DIMOV S.S., BIGOT S., IVANOV A., POPOV K.: *Micro-EDM - recent developments and research issues*. J. of Mater. Process. Technol., 2004, vol. 149, str. 50-57.
- [10] MOHRI N., TANI T.: *Micro-pin electrodes formation by micro-scanning EDM process*. CIRP Ann., 2006, vol. 55, str. 175-178.
- [11] OCZOŚ K.: *Postępy konwencjonalnych sposobów mikroobróbki ubytkowej zminiaturyzowanych konstrukcji części*. Mechanik, 12, str. 763, 2002 r.
- [12] SE HYUN AHN, SHI HYOUNG RYU, DEOK KI CHOI, CHONG NAM CHU.: *Electro – Chemical microdrilling using ultra short pulses*. Precision Engineering 28 (2004), str. 129 – 134.

PROBLEMS WITH ELECTROCHEMICAL AND ELECTRODISCHARGE MACHINING PROCESSES APPLICATION FOR MICRO-TOOLS MANUFACTURING

In group of methods designed for machining of technological equipment and tools for micro-casting and micro-forming special attention is connected with application of unconventional processes, such as: electrochemical (ECMM) and electrodischarge (EDMM) micromachining. In the paper description of both processes and typical problems connected with industrial application has been presented. In the last section the proposition of ECMM and EDMM combination into single, sequential process, which gives possibility to minimize disadvantages and strengthen the advantages of electrochemical and electrodischarge micromachining processes.