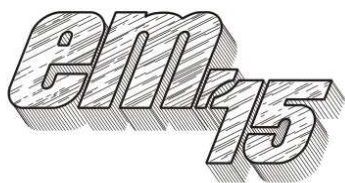


XII Międzynarodowa Konferencja - Electromachining 2015



UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Zakład Inżynierii Produkcji
STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
MECHANIKÓW POLSKICH – Koło Uczelniane UTP

85-789 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7
tel. (0 52) 340-87-47, fax. (0 52) 340-82-45,
e-mail: tomasz.paczkowski@utp.edu.pl

Urządzenie do badań obróbki elektrochemicznej z drgającą wielokierunkowo elektrodą roboczą

The device for electrochemical machining with multidirectional vibrating working electrode research

TOMASZ PACZKOWSKI¹
ADAM TROSZYŃSKI²

Podstawową metodą obróbki elektrochemicznej jest drażenie elektrodą kształtowaną. Ze względu na dokładność tej obróbki proces powinien być prowadzony przy możliwie małej grubości szczeliny międzyelektrodowej. Stosowanie takich szczelin grozi wystąpieniem stanów krytycznych np. zwarć. Jednym ze sposobów uniknięcia tych problemów jest wprowadzenie drgań elektrody roboczej. W przypadku powierzchni krzywoliniowych drgania te powinny być wielokierunkowe. W niniejszej pracy przedstawiono specyfikację budowy oraz konstrukcję stanowiska doświadczalnego do obróbki elektrochemicznej z drgającą wielokierunkowo elektrodą roboczą.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka elektrochemiczna, stanowisko badawcze, elektroda drgająca, drgania wielokierunkowe.

The basic method of electrochemical machining is drilling with a shaped electrode. The process should be carried out with possibly smallest thickness of the interelectrode gap because of the precision of this treatment. The use of such gaps may cause the occurrence of critical conditions such as short circuits. One way to avoid these problems is the introduction of vibrations of the working electrode. The vibrations should be multidirectional in the case of curved surface. This paper presents the specification of construction and structure of a test stand for the electrochemical machining with multidirectional vibrating working electrode.

KEYWORDS: electrochemical machining, test stand, vibrating electrode, multidirectional vibrations.

Wprowadzenie

W związku z dynamicznym rozwojem inżynierii materiałowej pojawiło się szereg materiałów konstrukcyjnych o specjalnych właściwościach wśród których wyróżnić można stale narzędziowe, nierdzewne, węgliki siekane, materiały kompozytowe oraz stopy tytanu. Rozwój ten determinowany jest poprzez stosowanie ich na odpowiedzialne elementy konstrukcyjne. Materiały te wykazują wysokie właściwości mechaniczne min. dużą twardość, wysoką odporność na ścieranie oraz korozję. Wspólną cechą charakteryzującą wyżej wymienione materiały jest ich wyjątkowo trudna obrabialność [13].

Z tych względów obróbka elektrochemiczna, mimo swoich wielu wad, jest nadal stosowana i rozwijana. Metoda ta należy do jednych z bardziej efektywnych sposobów kształtowania złożonych elementów konstrukcyjnych, niezależnie od ich właściwości mechanicznych. Dzięki tym właściwościom znajduje ona szerokie zastosowanie m.in. w przemyśle silnikowym, aeronautycznym, a także w biologii, chemii, elektronice i medycynie [3, 8, 11].

Obróbkę elektrochemiczną (ECM - Electrical Chemical Machining) w zależności od sposobu odprowadzania produktów powstających w wyniku obróbki, jak i mechanizmu kształtowania powierzchni materiału można podzielić na trzy charakterystyczne metody [2, 12]:

- elektrochemiczną bezstykową,
- elektrochemiczną-mechaniczną,
- obróbki kombinowane (elektro-fizykochemiczne).

Najbardziej popularną metodą procesu ECM jest obróbka elektrochemiczna bezstykowa, nazywana również obróbką kształtowaną. Obróbka w wyniku kształtowania elektrochemicznego wymaga podłączenia ujemnego bieguna źródła

¹dr hab. inż. Tomasz Paczkowski (tompacz@utp.edu.pl)

²mgr inż. Adam Troszyński (adam.troszynski@utp.edu.pl)

prądu elektrycznego do elektrody roboczej (ER), natomiast do bieguna dodatniego przedmiot obrabiany (PO). Do przestrzeni międzyelektrodowej doprowadzany jest elektrolit, dzięki któremu zachodzą procesy wymiany ładunku elektrycznego, czego następstwem jest roztwarzanie przedmiotu obrabianego, nadając mu kształt o określonej dokładności.

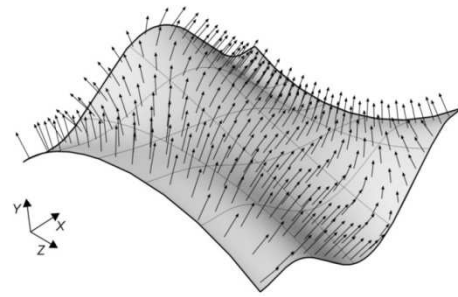
Głównymi produktami reakcji roztwarzania są cząsteczki wodoru oraz jony metalu. Można śmiało stwierdzić, że w szczelinie między katodą a anodą tworzy się mieszanina elektrolitu, cząsteczek wodoru oraz produktów powstałych w wyniku roztwarzania elektrochemicznego. Zatem należy zauważyć, że na szereg zjawisk fizycznych przepływającego elektrolitu decydujący wpływ ma wymiana masy, pędu i energii, które w sposób istotny decydują o dokładności obróbki ECM [1, 4].

Cechą charakterystyczną ECM jest fakt, że dokładność obróbki jest tym większa im mniejsza jest grubość szczeliny międzyelektrodowej. Z tych względów w obróbce precyzyjnej występuje konieczność zmniejszenia grubości szczeliny poniżej 0,1 – 0,05 mm. Taka grubość szczeliny powoduje że prowadzenie stabilnego procesu ciągłego ECM jest bardzo utrudnione, a wynika to z wielu czynników m.in. wydzielania się fazy gazowej w elektrolicie, nagrzewania się elektrolitu poprzez przepływ prądu elektrycznego przez ośrodek oraz małej prędkości przepływu elektrolitu. Wymienione czynniki uniemożliwiają intensywne usuwanie produktów procesu (wodorotlenków i gazów) oraz wydzielającego się ciepła podczas obróbki. Zwiększa to ryzyko wystąpienia stanu krytycznego ECM oraz wyładowań elektrycznych uszkadzających elektrodę roboczą i przedmiot obrabiany [5].

Jedną z metod umożliwiającą pracę przy bardzo małych szczelinach międzyelektrodowych jest zastosowanie impulsowej obróbki elektrochemicznej PECM (Pulse Electrochemical Machining) [10]. W Obróbce PECM źródło prądu stałego zastąpione jest źródłem prądu impulsowego. Metoda ta pomimo mniejszej wydajności obróbki, wynikającej z przerw w roztwarzaniu wskutek impulsowego prądu zasilania umożliwia prowadzenie procesu elektrochemicznego, przy wielkościach szczeliny poniżej 0,2 mm, które nie są osiągalne w tradycyjnej obróbce elektrochemicznej z prądem stałym.

Inny sposób obróbki elektrochemicznej, dla szczeliny poniżej 0,1 mm, został przedstawiony w pracy [6], w której autor zaproponował zastosowanie złożonego ruchu translacyjnego elektrody roboczej w płaszczyźnie posuwu. Okresowo zmieniająca się grubość szczeliny międzyelektrodowej umożliwia, przy minimalnej szczelinie poprawienie dokładności obróbki, zaś przy maksymalnej dobrą wymianę elektrolitu. Taka kinematyka ruchu elektrody roboczej, przy odpowiednio dobranych parametrach składowych drgań, powoduje w płaszczyźnie tych drgań jednakowy rozkład grubości szczeliny międzyelektrodowej, co również wpływa na dokładność obróbki.

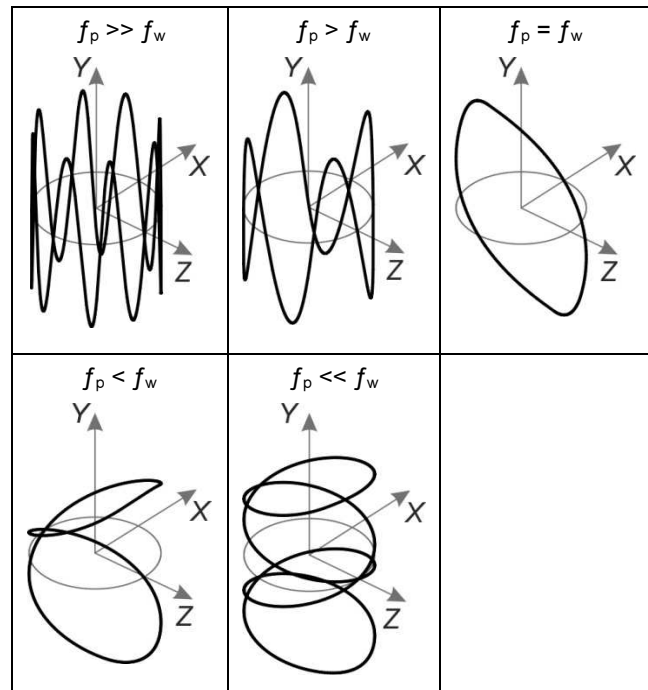
Wyżej opisane odmiany obróbki elektrochemicznej stosowane są, przede wszystkim do obróbki powierzchni krzywoliniowych (rys. 1) gdzie występują największe problemy z uzyskaniem określonej dokładności wykonania elementów obrabianych. Wynika to z faktu, iż kierunki normalne do powierzchni w znaczącej części nie pokrywają się z kierunkiem posuwu wgłębno (oś Y).



Rys.1. Powierzchnia krzywoliniowa [6]

W celu poprawy dokładności obróbki takich powierzchni należy wywołać złożony wielokierunkowy ruch drgający elektrody roboczej. W pracy zaproponowano rozwiązanie, w którym elektroda robocza wykonuje wielokierunkowy ruch drgający, będący złożeniem ruchu drgającego poprzecznego f_p oraz wielokierunkowego ruchu wzdłużnego f_w odniesionych do długości szczeliny międzyelektrodowej. Trajektorie ruchu punktu materialnego elektrody roboczej dla różnych przypadków wzajemnej częstotliwości drgań zostały przedstawione w tabeli 1.

Tab. 1. Trajektorie ruchu punktu materialnego elektrody roboczej



gdzie:

$f_p \gg f_w$ – częstotliwość drgań poprzecznych jest dużo większa od częstotliwości drgań wzdłużnych,

$f_p > f_w$ – częstotliwość drgań poprzecznych jest większa od częstotliwości drgań wzdłużnych,

$f_p = f_w$ – częstotliwość drgań poprzecznych jest równa częstotliwości drgań wzdłużnych,

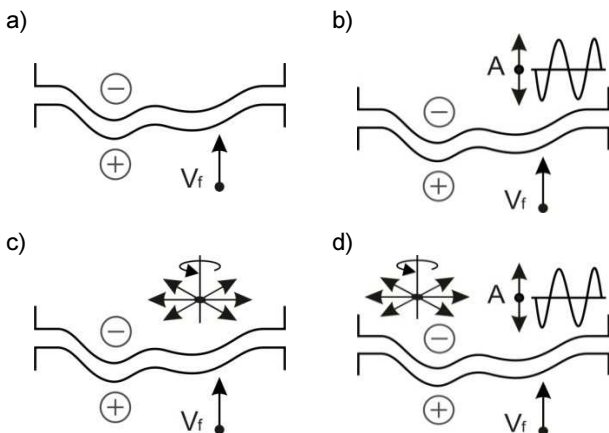
$f_p < f_w$ – częstotliwość drgań poprzecznych jest mniejsza od częstotliwości drgań wzdłużnych,

$f_p \ll f_w$ – częstotliwość drgań poprzecznych jest dużo mniejsza od częstotliwości drgań wzdłużnych.

Projekt urządzenia

Podczas projektowania urządzenia należy najpierw rozważyć wielkość narzędzia (ER), gdyż z tą wielkością związane są siły obciążające urządzenie [7]. Na podstawie przeglądu literaturowego dobrano ciśnienie zasilania stanowiska badawczego w zakresie 0,1 – 1,2 MPa [1, 4, 6, 9]. Przyjęto wielkość pola powierzchni elektrody o wartości 10 cm^2 . Wartość ta wynika z wielkości przyjętej próbki badawczej. Na tej podstawie wyznaczono wartość siły poprzecznej występującej w szczelinie międzyelektrodowej, która wynosi około 100 N. Pozwoliło to dobrać servo-silniki prądu stałego o momencie obrotowym 0,32 Nm, maksymalnej prędkości obrotowej 6000 obr/min oraz mocy znamionowej 100 W. Zakres amplitudy drgań elektrody roboczej ER wynosi 0,1-0,2 mm, natomiast ruchu przedmiotu obrabianego PO zawiera się w przedziale 0 do 15 mm, związane jest to z możliwością kształtowania PO z pełnego materiału bez wstępnego nadania kształtu przedmiotowi obrabianemu. Zespoły napędowe są tak mocowane, aby możliwa była łatwa wymiana elektrody roboczej lub przedmiotu obrabianego, dodatkowo pozwala to również na proste czyszczenie strefy obróbki. Korpus urządzenia wykonany jest z pleksi w celu możliwości obserwacji i rejestracji całego procesu. Kinematyka ruchu elektrody roboczej i przedmiotu obrabianego (rys. 2) umożliwia badanie procesu ECM dla przypadków gdy:

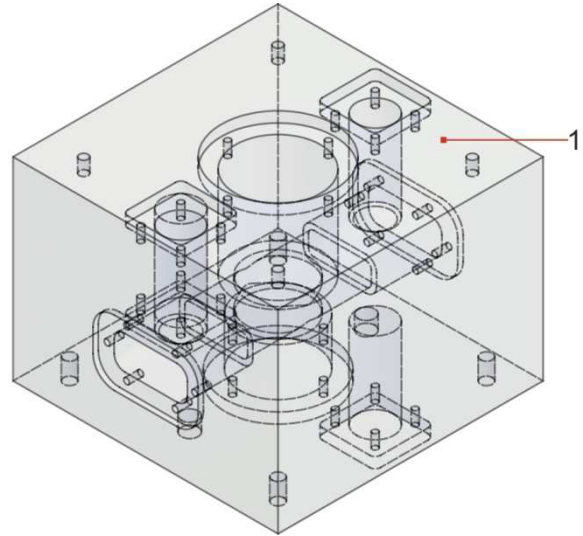
- anoda (PO) wykonuje ruch posuwowy wgłębny, katoda (ER) jest nieruchoma,
- anoda (PO) wykonuje ruch posuwowy wgłębny, katoda (ER) wykonuje ruch drgający,
- anoda (PO) wykonuje ruch posuwowy wgłębny, katoda (ER) wykonuje ruch wielokierunkowy,
- anoda (PO) wykonuje ruch posuwowy wgłębny, katoda (ER) wykonuje drgający ruch wielokierunkowy.



Rys.2. Kinematyka ruchu elektrody roboczej i przedmiotu obrabianego

Budowa urządzenia

Korpus urządzenia badawczego (rys. 3) do obróbek erozyjnych stanowi komórka obróbkowa, w której zachodzi cały proces roztwarzania elektrochemicznego.



Rys.3. Korpus urządzenia badawczego

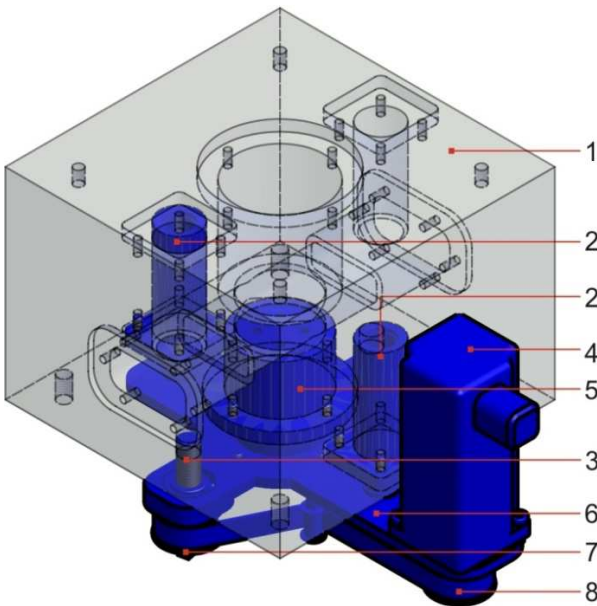
Do odpowiednio ukształtowanego korpusu 1 montowane są zespoły napędowe realizujące ruchy zarówno elektrody roboczej (ER), jak i przedmiotu obrabianego (PO). Wyróżnić zatem możemy trzy podstawowe zespoły napędowe:

- zespół napędowy posuwu głównego przedmiotu obrabianego,
- zespół napędowy wielokierunkowych drgań elektrody roboczej,
- zespół napędowy drgań poprzecznych elektrody roboczej.

Budowa poszczególnych zespołów napędowych została przedstawiona i opisana poniżej.

Zespół napędowy posuwu głównego przedmiotu obrabianego

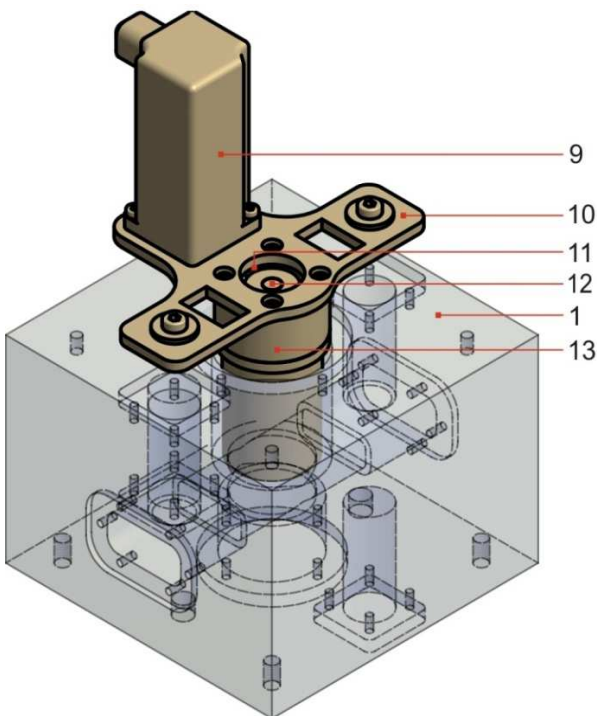
Zespół (rys. 4) składa się z serwo – silnika 4, który przytwierdzony jest do ruchomej płyty 6. Poprzez pas zębaty 8 oraz nakrętkę 7 współpracującą z śrubą pociągową 3 przedmiot obrabiany wykonuje ruch wgłębny. Prowadzenie płyty ruchomej 6 wraz z serwo – silnikiem 4 realizowane jest za pomocą kolumn prowadzących znajdujących się w liniowych łożyskach wzdlużnych 2 osadzonych w korpusie 1. Przedmiot obrabiany mocowany jest do tulei 5 związanej z ruchomą płytą 6.



Rys. 4. Zespół napędowy posuwu głównego przedmiotu obrabianego

Zespół napędowy wielokierunkowych drgań elektrody roboczej

Zespół ten (rys. 5) składa się z płyty ruchomej 10 na której osadzony jest serwo – silnika 9. Moment obrotowy z serwa – silnika 9 przekazywany jest za pomocą paska zębatego 11 na mimośrodowy wałek 12, dzięki któremu realizowany jest wielokierunkowy ruch elektrody roboczej. Wałek 12 osadzony jest na łożyskach w tulei 13 umożliwiając jego obrót.

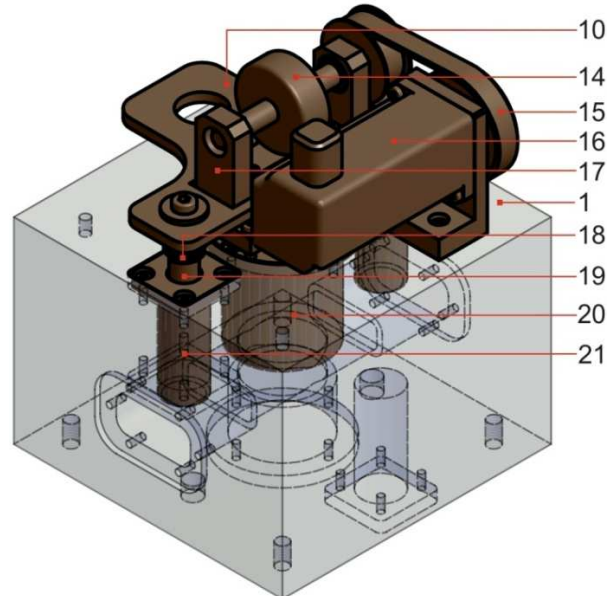


Rys. 5. Zespół napędowy wielokierunkowych drgań elektrody roboczej

Zespół napędowy drgań poprzecznych elektrody roboczej

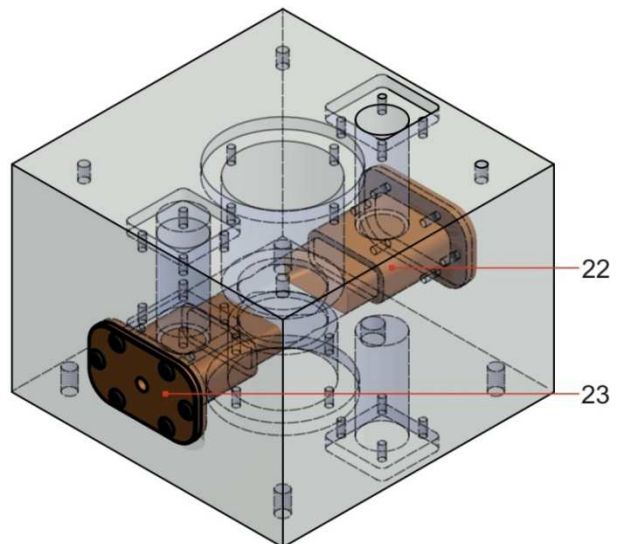
Zespół napędowy drgań wzdluznych elektrody roboczej (rys. 6) zbudowany jest z serwa – silnika 16 przytwierdzonego do korpusu 1. Za pomocą przekładni pasowej zębatej 15 krzywka mimośrodowa 14 osadzona w podporach 17 zostaje wprowadzona w ruch obrotowy powodując przemieszczanie się ruchomej płyty 10. Stały docisk płyty 10 z krzyw-

ką zapewniają sprężyny 18. Poprawna praca całego zespołu drgań wzdluznych odbywa się dzięki elementom prowadzącym 19, umieszczonym w liniowych łożyskach wzdluznych 21. Dodatkowym elementem odpowiedzialnym za pracę elektrody roboczej jest tuleja 20.



Rys. 6. Zespół napędowy drgań wzdluznych elektrody roboczej

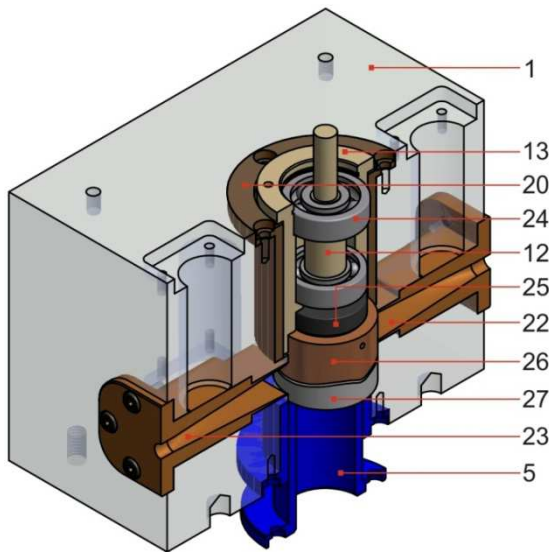
Ważnymi również elementami budowy urządzenia są wkładki 22 i 23 pokazane na rysunku 7, których zadaniem jest doprowadzenie elektrolitu w przestrzeń międzyelektrodową, a następnie jego odprowadzenie. Wewnętrzna geometria wkładek jest tak ukształtowana, aby w sposób optymalny możliwa była wymiana medium w przestrzeni roboczej.



Rys. 7. Wkładki zasilające komórkę obróbkową w elektrolit

Na rysunku 8 przedstawiono przekrój wybranych elementów urządzenia badawczego w ich osi symetrii. W korpusie 1, będącym jednocześnie głównym elementem a zarazem komórką obróbkową, osadzone są wkładki zasilające 22 i 23. Przedmiot obrabiany (PO) 27 związany jest z ruchomą tuleją 5 wykonującą ruch wgłębny. Elektroda robocza (ER) 26 poprzez osadzony na łożyskach 24 mimośrodowy wałek 12 wykonuje wielokierunkowy ruch w tulei 13, którego trajektorią jest okrąg o średnicy mimośrodów. Z kolei tuleja 13 realizuje drgania poprzeczne w elemencie prowadzącym 20. Dodatkowo w celu uniknięcia wycieku elektrolitu w prze-

strzeń łożyskową na wałek 12 nałożony jest pierścień uszczelniający 22.

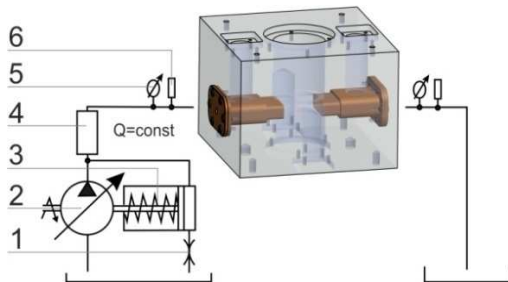


Rys. 8. Przekrój urządzenia badawczego w osi symetrii

Oprócz układu mechanicznego można także wyróżnić takie zespoły stanowiska jak :

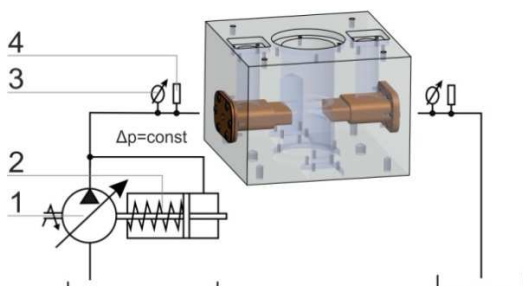
- zasilacz prądu stałego,
- system zasilania elektrolitem,
- system kontroli parametrów procesu.

Przestrzeń robocza stanowiska badawczego może być zasilana w elektrolit ze stałym strumieniem objętości Q lub ze stałą różnicą ciśnień Δp . Układ ze stałym natężeniem przepływu (rys. 9) składa się z dławika 1, pompy 2, układu sterującego ciśnieniem 3, a także regulatora stałego natężenia przepływu 4. Dodatkowo stanowisko badawcze wyposażono w manometry zegarowe 5 oraz czujniki ciśnienia 6, umieszczone przed i za komórką obróbkową.



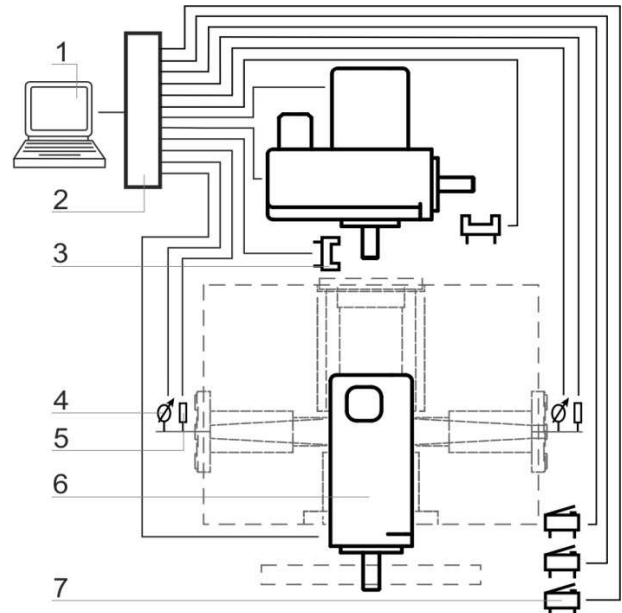
Rys. 9. Układ ze stałym natężeniem przepływu

Układ ze stałą różnicą ciśnień Δp (rys. 10) składa się z pompy śrubowej 1, układu sterującego ciśnieniem 2 oraz tak jak w układzie ze stałym natężeniem przepływu manometrów zegarowych 3 i czujników ciśnienia 4 zainstalowanych przed i za komórką obróbkową.



Rys. 10. Układ ze stałą różnicą ciśnień

System kontrolno – sterujący parametrami obróbki ECM (rys. 11) składa się z sterownika FX 3U 2 oraz komputera PC 1. Dzięki mikrowyłącznikom krańcowym 7 i optycznym 3 system może dokonać bazowania i synchronizacji pracy silników 6. Jest to bardzo istotne w przypadku synchronizacji drgań dla zadanych wielkości obrotów i przesunięć. System kontroluje pracę silników w układzie sprzężenia zwrotnego, otrzymując tym samym informacje o poprawności działania całego stanowiska. Dodatkowo dokonuje pomiaru i rejestracji ciśnienia za pomocą manometrów zegarowych 4 oraz czujników ciśnienia 5.



Rys. 11. System kontrolno – sterujący parametrami obróbki ECM

Podsumowanie

Główną cechą charakterystyczną przedstawionego wyżej urządzenia do obróbek erozyjnych, a zwłaszcza elektrochemicznych jest jego zwarta i monolityczna konstrukcja, będąca jednocześnie komórką obróbkową, w której zachodzi cały proces obróbki. Ponadto, konstrukcja ta w odróżnieniu od innych charakteryzuje się wielokierunkowym ruchem elektrody drgającej. Zaproponowane rozwiązanie konstrukcyjne poprzez dodatkowe wywołanie wielokierunkowego ruchu elektrody roboczej umożliwi obróbkę elektrochemiczną o okresowo zmiennej grubości szczeliny międzyelektrodowej. Przedstawione urządzenie pozwoli na badania szeregu zjawisk i procesów towarzyszących obróbce elektrochemicznej, które mogą przyczynić się do zoptymalizowania metod projektowania złożonych kształtów elektrod roboczych. Zaprezentowane stanowisko pozwoli również na badania wpływu złożonej kinematyki elektrod i innych parametrów procesu na makro i mikro dokładność uzyskiwanych powierzchni elementów konstrukcyjnych o skomplikowanej geometrii.

LITERATURA

1. Dąbrowski L., Podstawy komputerowej symulacji kształtowania elektrochemicznego. Pr. Nauk., Mechanika 154, Wyd. Politechniki Warszawskiej 1992.
2. Dąbrowski L., Keller R., Tomczak J., Przykład innowacyjnego wykorzystania precyzyjnych obrabiarek ECM. Inżynieria Maszyn, R.16, 2011.
3. Frankowski P., Mielnicki W., Kształtowanie elektrochemiczne łopatkę sekwencją procesów ECM – PECM. Inżynieria Maszyn, R.16, 2011.
4. Kozak J., Kształtowanie powierzchni obróbką elektrochemiczną bezstykową. Pr. Nauk. Mechanika 41, WPW Warszawa 1976.

5. Łubkowski K., Stany krytyczne w obróbce elektrochemicznej. Pr. Nauk. Mechanika 163, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 1996.
6. Paczkowski T., Symulacja komputerowa obróbki elektrochemicznej powierzchni krzywoliniowych elektrodą roboczą o złożonym ruchu translacyjnym. Wydawnictwo Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2012.
7. Paczkowski T., Urządzenie technologiczne do obróbki ECM powierzchni krzywoliniowych, Świat Obrabiarek Nr 1-2/2010 Rok V.
8. Pott P.G., Modern electrochemical machining in practice. Proc. ISEM-9, Nagoya 1989. 146-150.
9. Rozenek M., Badania impulsowej obróbki elektrochemicznej (model dwuwarstwowy procesu). Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, vol. 30, nr 4, 2010.
10. Rozenek M., Kształtowanie powierzchni obróbką elektrochemiczną impulsową, Prace Naukowe, Mechanika 247, Wyd. Politechniki Warszawskiej 2013.
11. Ruszaj A., Application of ECM machining in the Polish industry. Mat. SECM-88, Lubniewice, 1988. 247-283.
12. Ruszaj A., Niekonwencjonalne metody wytwarzania elementów maszyn i narzędzi. IOS Kraków 1999.
13. Zaborowski S., Elektrochemiczna intensyfikacja obróbki ścierniej materiałów trudno obrabialnych. Prace Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Seria: Monografie, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2000.