

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

Innowacyjne metody obróbki ECM

Innovative ECM varieties

LUCJAN DĄBROWSKI¹
JERZY TOMCZAK²

Artykuł zawiera ostatnie informacje z zakresu obróbki elektrochemicznej (ECM) zebrane z doniesień naukowych ośrodków interesujących się tymi zagadnieniami oraz doniesień z zakładów produkujących obrabiarki elektrochemiczne. Główne zagadnienia poruszane z tego zakresu, to wytwarzanie monolitycznych tarcz turbin silników lotniczych (blistk) z łopatkami, a także technologia usuwania zadziorów metodą ECM.

SŁOWA KLUCZOWE: ECM, obróbka elektrochemiczna, blisk.

The paper includes recent information on the Electrochemical Machining (ECM) which was accumulated basing on the scientific newsletters issued by the research centers interested in such problems and the newsletters of electrochemical machine manufacturers. The major problems which were described are concentrated on the monolithic aircraft engine turbine wheels (blisks) with the integrated blades and on the method of the ECM deburring.

KEYWORDS: ECM, electrochemical machining, blisk.

Wprowadzenie

Od lat 60-tych panuje nieprzerwany wzrost przewozów w międzynarodowym ruchu lotniczym pasażerskim i towarowym i w ciągu kolejnych dwóch lat ma wzrastać o 5% rocznie. Według najnowszych prognoz Airbusa, oznacza to zapotrzebowanie na 7.600 nowych samolotów, co dziesięć lat. Daje to w 2019 r. wartość rynku 1.300 mld €. Aby zaspokoić ten znaczący sektor dynamicznego przemysłu Europy i Stanów Zjednoczonych, innowacyjna produkcja samolotów musi być nieprzerwanie kontynuowana.

Rozwój samolotów nowej generacji ma na celu m.in.:

- 35% zmniejszenie kosztów produkcji,
- 20% skrócenie czasu badań nad wzrostem efektywności samolotów,
- 20% zmniejszenie zapotrzebowania na siłę roboczą,
- lepszą ochronę środowiska,
- zmniejszenie poziomu hałasu poniżej 10 dB,
- redukcję o 20% emisji CO₂,
- 80% zmniejszenie emisji związków chemicznych,
- optymalizację wykorzystania przestrzeni w samolocie,
- 25% zmniejszenie kosztów utrzymania,
- minimalizację liczby wypadków.

Po to, aby osiągnąć powyższe cele światowy producent silników do realizacji projektów rozwojowo badawczych wykorzystuje obrabiarkę serii EMAG PO 100 SF (rys. 1) [1].



Rys. 1. Obrabiarka EMAG PO 100 SF PECCM

¹dr hab. inż. Lucjan Dąbrowski (ld@meil.pw.edu.pl)

²dr inż Jerzy Tomczak (j.tomczak@erall.pl)

Jej niektóre parametry i możliwości produkcyjne są następujące:

- natężenie prądu stałego: 400 A,
- natężenie prądu pulsacyjnego: 300 A / 2500 A,
- regulowany posuw,
- nastawialny oscylator,
- precyzyjna rama obrabiarki,
- oś Z 100 mm +/- 0,0015 mm.

Efektywną obróbkę łopatek typu blisk (rys. 2) w tarczach turbin zapewnia obrabiarka PO 900 PF firmy EMAG (rys. 3).



Rys. 2. Monolityczna tarcza z łopatkami turbin silników lotniczych (blisk) [1]



Rys. 3. Obrabiarka EMAG PO 900 PF [1]

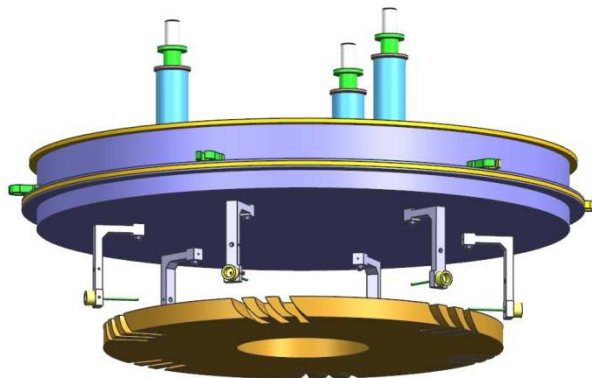
Jej parametry są następujące:

- posuw w obróbce zgrubnej > 2 mm/min,
- posuw w obróbce wykończeniowej > 0,15 mm/min,
- tolerancja po obróbce wykończeniowej +/- 50 µm,
- materiał: stop niklu,
- chropowatość powierzchni po obróbce Ra < 0,2 µm.

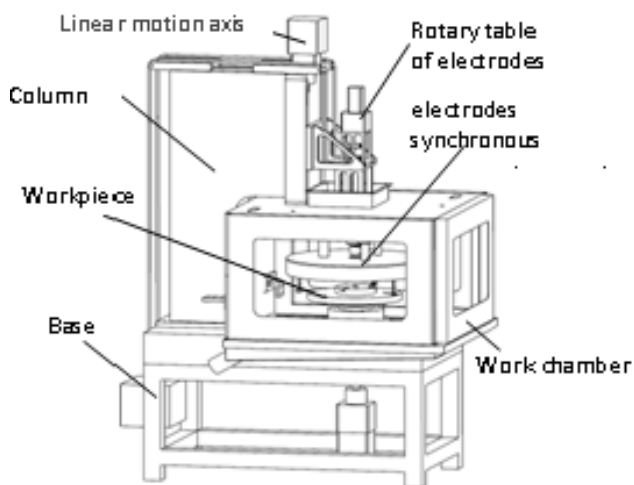
Zastosowanie w procesie wytwórczym obrabiarki PO 900 PF może przynieść liczne korzyści, z których najistotniejsze to:

- krawędź prowadząca i tylna są obrabiane kompletnie w jednym zabiegu,
- brak jest uszkodzeń cieplnych w materiale,
- brak zadziorów podczas całego procesu,
- duża trwałość 3D katody (elektrody roboczej).

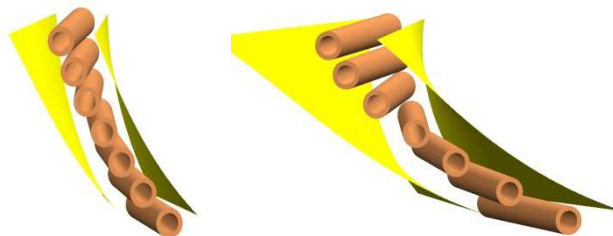
Chińscy naukowcy zaprezentowali natomiast metodę wykonywania tarcz z łopatkami blisk na obrabiarce o złożonej kinematyce elektrod (rys. 4 - 7) [2].



Rys. 4. Schemat procesu ECM z zastosowaniem kilku elektrod rurowych o złożonej kinematyce [2]



Rys. 5. Opracowana obrabiarka dla ECM z wykorzystaniem elektrod rurowych dla drażenia wielu fragmentów blisk [2]

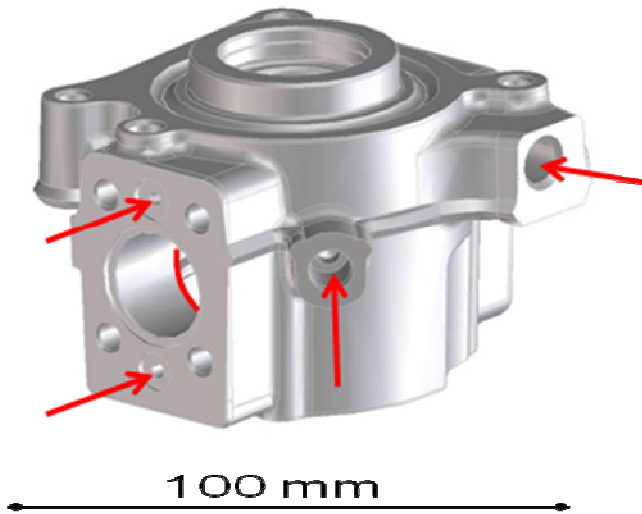


Rys. 6. Przykładowe trajektorie elektrod rurowych [2]

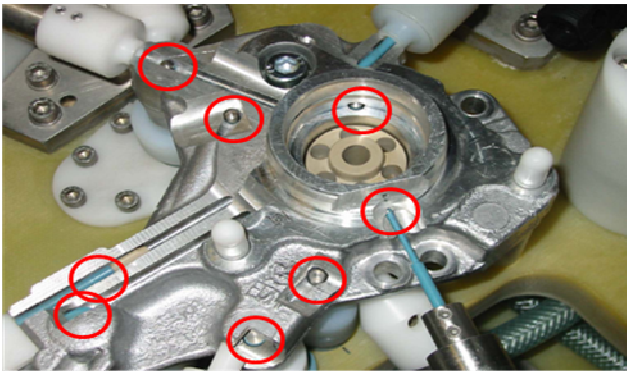


Rys. 7. Przykładowe elektrody rurowe [2]

Obróbka elektrochemiczna jest często stosowana w celu usuwania zadziorów (gratowania), zaokrąglania krawędzi i wygładzenia powierzchni. Przykład zastosowania ECM do gratowania otworów przedstawiano na rys. 8, natomiast na rys. 9 widoczna jest strefa obróbki ECM części samochodowej zamocowanej w przyrządzie obróbczym wyposażonym w odpowiednie elektrody robocze.



Rys. 8. Zastosowanie ECM do gratowania otworów (25 s/przedmiot) [3]



○ = katody w pozycji do gratowania

Rys. 9. Zastosowanie ECM do gratowania części samochodowej, 40 s/przedmiot [3]

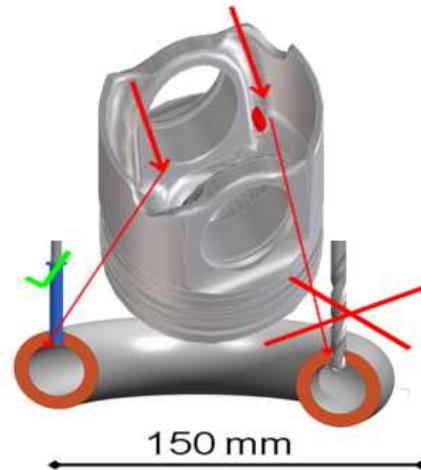
Korzystnym jest zastosowanie drażenia elektrochemicznego otworów do zamkniętych przestrzeni (rys. 10). Unika się w ten sposób wprowadzania wiórów do zamkniętych przestrzeni, które są później trudne lub wręcz niemożliwe do usunięcia.

Na rys 11 przedstawiono element zębony, natomiast na rys. 12 – rezultaty obróbki wyróżnionych jego krawędzi na obrabiarce MultiSix Comfort. Czas obróbki jednego takiego elementu wynosi 30 sekund.

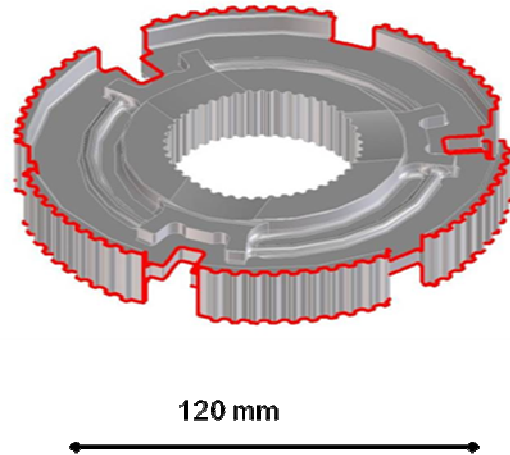
Firma EMAG producent obrabiarek posiada także Laboratorium PECM dysponujące wyposażeniem (software i hardware) niezbędnym do optymalizacji procesów wytwórczych tak, aby spełnić indywidualne potrzeby generowane w każdej branży. Testy pokazały, że przedmioty o różnorodnych geometrycznych cechach konstrukcyjnych mogą być obrabiane, z korzystnym efektem finansowym.

Zakres usług laboratorium ECM / PECM jest szeroki i obejmuje [3]:

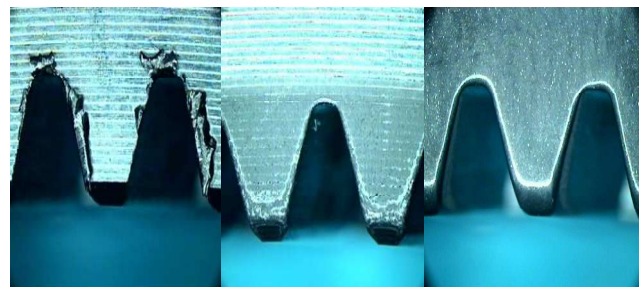
- próby obrabialności elektrochemicznej materiałów,
- określenie możliwych dokładności,
- rozwój nowych produktów i ich ulepszenie,
- powtarzalność procesów,
- testy i określenie czasu cyklu,
- dobór automatyzacji,
- projektowanie i optymalizacja oprzyrządowania.



Rys. 10. Drażenie ECM (zamiast wiercenia) otworów do zamkniętych przestrzeni w tłoku i torusie. Obrabiarka MultiSix Comfort, załadunek robotem, drażenie: 2,5 min/przedmiot (4 mm/min.) [3]



Rys. 11. Obróbka ECM usuwania gratu i zaokrąglanie krawędzi w elementach zębych [3]



Rys. 12. Obraz zadziorów przed obróbką, po obróbce ECM wstępnej i po obróbce wykończeniowej zębienia z rys. 11 [3]

Porównując tradycyjną ECM i μ PECM (rys. 13) można dojść do wniosku, że w przypadku obróbki konwencjonalnej, lokalna wydajność usuwania materiału wynika z gęstości rozkładu prądu, przy czym:

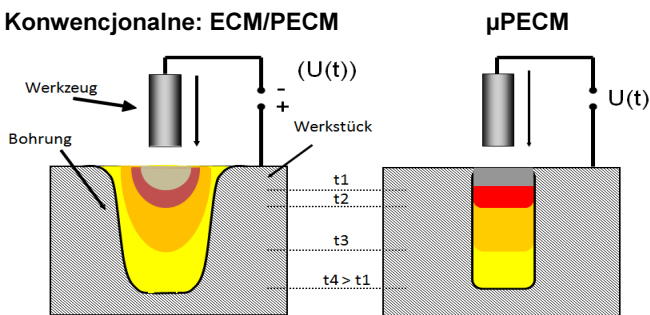
- szerokość szczeliny jest funkcją czasu,
- wymagana jest częściowa izolacja przedmiotu,
- źródło energii dostarcza prąd do usuwania materiału.

W przypadku μ PECM występuje natomiast bezpośrednie sterowanie lokalną wydajnością usuwania materiału tzn., że:

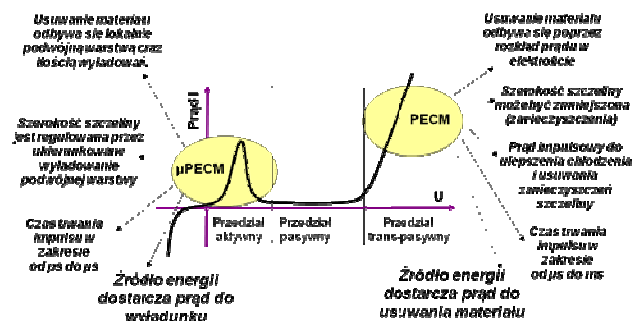
- sterowana jest szerokość szczeliny,
- nie wymagana jest izolacja przedmiotu,
- źródło energii dostarcza prąd do wyładowań.

Należy przy tym zauważyć, że istnieją także pewne ograniczenia, m.in.:

- każdy materiał wymaga niestandardowego elektrolitu,
- jakość powierzchni i możliwość obróbki zależą od składu stopu i jednorodności struktury,
- posuw wynosi $5 \div 60 \mu\text{m}/\text{min}$ i zmniejsza się wraz z zagłębianiem w materiał.

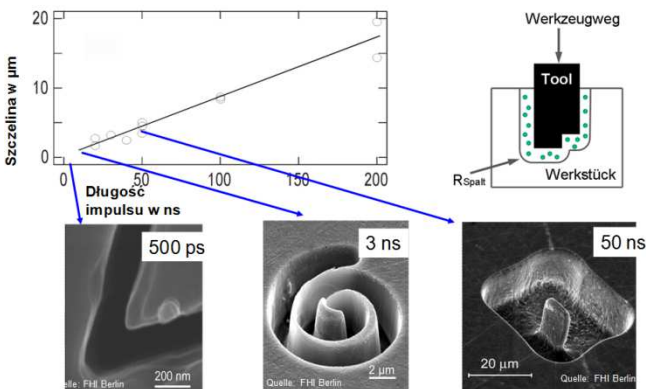


Rys. 13. Porównanie tradycyjnej obróbki ECM i μ PECM [4]

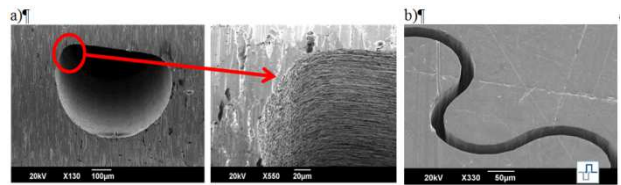


Rys. 14. Schematyczne porównanie μ PECM oraz PECM [4]

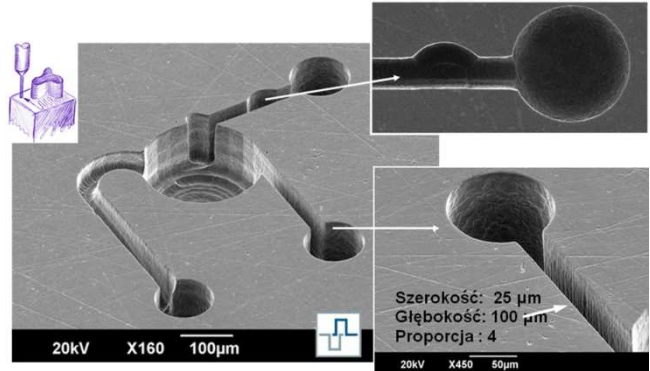
Porównanie obróbek (rys. 13 i 14) [4] oraz schematy i zastosowania pokazano na rys. 15 - 17 [5].



Rys. 15. Szerokość szczeliny jest nastawiana [5]

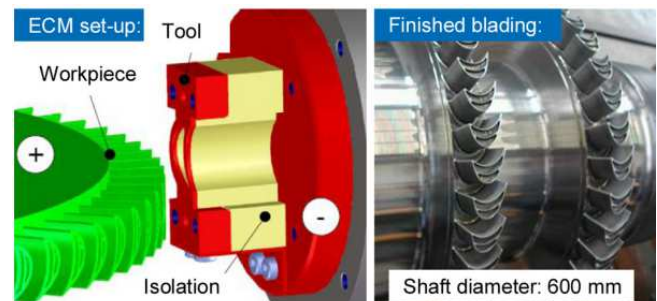


Rys. 16. Przykłady obróbki μ PECM: a) materiał: wolfram 99,9%, głębokość obróbki: $\sim 500 \mu\text{m}$, b) kanał w materiale 1.4441, szerokość: $25 \mu\text{m}$, głębokość: $100 \mu\text{m}$, czyli $1/4$ [5]

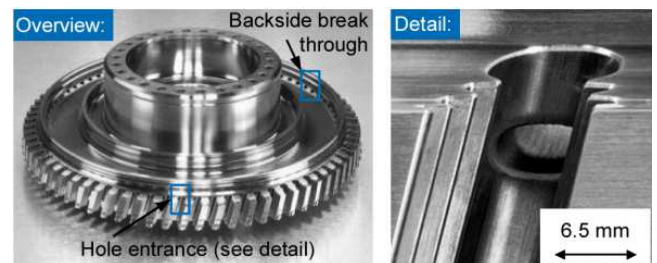


Rys. 17. Przykłady struktury do mikro przepływów (materiał: 1.4441) [5]

W CIRP Annals Manufacturing Technology 63 (2014), 703–726, ukazał się godny polecenia artykuł prof. Fritz Klocke i innych z Laboratory for Machine Tools and Production Engineering, WZL, RWTH, Aachen, Germany [6]. Zawarto w nim bardzo obszerny materiał z zakresu najnowszych osiągnięć obróbek, między innymi - elektrochemicznych.



Rys. 18. Przykłady obróbki elektrochemicznej łopatek stalowych (X22CrMoV21) do wałów wirnika turbin stacjonarnych: gazowych i parowych [7, 8]



Rys. 19. Przykłady obróbki elektrochemicznej otworów eliptycznych chłodzących w dyskach na bazie niklu turbiny wysokiego ciśnienia [7, 9]

Przedstawiono, np. obróbkę elektrochemiczną łopatek (X22CrMoV21) do wałów wirników turbin stacjonarnych: gazowych i parowych [7, 8] (rys. 18).

Na rysunku 19 przedstawiono natomiast rezultaty obróbki eliptycznych otworów chłodzących w dyskach na bazie niklu turbiny wysokiego ciśnienia za pomocą ECM [7, 9].

Podsumowanie

Dostępnych jest wiele źródeł bibliograficznych, które umożliwiają zapoznanie się z dotychczasowymi osiągnięciami nauki i przemysłu z interesującego indywidualnie zakresu. Ułatwia to wybór tematyki podejmowanych prac badawczych, czy też zastosowań przemysłowych.

LITERATURA

1. Materiały informacyjne firmy EMAG.
2. Zhengyang Xu; Jia Liu; Qing Xu; Ting Gong; Dong Zhu. The tool design and experiments on electrochemical machining of a blisk using multiple tube electrodes, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. JAMT-D-14-02131 (w druku).
3. Keller R., Wykorzystanie technologii ECM w przemyśle. Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych KBM PAN. Zeszyt Naukowy nr 17, Oficyna Wydawnicza PW, 2011.
4. Keller R., Proces obróbki elektrochemicznej i najnowsze osiągnięcia w budowie obrabiarek. Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych KBM PAN. Zeszyt Naukowy nr 17, Oficyna Wydawnicza PW, 2011.
5. Klocke F. i inni, Electrochemical micromachining with ultrashort voltage pulses - a versatile method with lithographical precision. *Electrochim. Acta*, 2002.
6. Klocke F. i inni, Turbomachinery component manufacture by application of electrochemical, electro-physical and photonic processes, *CIRP Annals Manufacturing Technology* vol. 63, pp. 703–726, 2014.
7. Electrochemical Machining. Retrieved from <http://www.koeppern-international.com>. (2013).
8. Elektrochemisches Abtragen. Verein Deutscher Ingenieure VDI-Richtlinie 3401-1 (Entwurf), 2009.
9. Heuer J, Fili W, Konstruieren ohne fertigungstechnisches Limit. *Konstruktion Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe*, 4, 2006.