

Elektrochemiczne oraz elektrochemiczno-elektroerozyjne drążenie małych otworów w materiałach trudno skrawalnych

Electrochemical and electrochemical-discharge machining of small holes in difficult to cut materials

GRZEGORZ SKRABALAK
ANDRZEJ STWORA *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.5-6.79
Międzynarodowa Konferencja IMT 2016

W artykule zaprezentowano wyniki eksperymentów związanych z wykonywaniem otworów przelotowych o średnicy nieprzekraczającej 2 mm w elementach wykonanych ze stopu Inconel 617. Przedstawiono porównanie procesów drążenia elektrochemicznego (ECM) oraz hybrydowego elektrochemiczno-elektroerozyjnego (ECDM).

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka elektrochemiczna (ECM), obróbka hybrydowa, obróbka elektrochemiczno-elektroerozyjna (ECDM), drążenie otworów

The paper presents results of experiments in the field of machining of passing through holes with internal diameters smaller than 2 mm in alloys used in aviation and aerospace industry (Inconel 617). Machining of holes was performed using electrochemical machining (ECM) and hybrid process of electrochemical-discharge (ECDM) drilling.

KEYWORDS: electrochemical machining (ECM), hybrid machining process, electrochemical-discharge machining (ECDM), hole drilling

Wprowadzenie

W związku z powszechną miniaturyzacją wytwarzanych produktów oraz rosnącymi wymaganiami dotyczącymi właściwości materiałów używanych do produkcji, w ostatnich latach można zaobserwować coraz większe zapotrzebowanie na produkcję mikro-sit oraz otworów o różnych kształtach (niekoniecznie o przekroju okręgu). Rozwój narzędzi oraz technik obróbki skrawaniem pozwalała na wykonywanie większości operacji obróbkowych zarezerwowanych dotychczas dla metod obróbki bezstykowej. Jednak w przypadku konieczności wytwarzania głębokich otworów o niewielkich rozmiarach obróbka skrawaniem wciąż nie jest konkurencyjna wobec niekonwencjonalnych, bezstykowych metod usuwania materiału.

Na podstawie analizy literatury światowej można stwierdzić, że podstawową technologią wykorzystywaną do drążenia otworów o małych średnicach jest drążenie elektroerozyjne. W 2006 roku Hung [1] zaproponował metodę elektroerozyjnego drążenia otworów wspomaganą drganiami elektrody roboczej o wysokiej częstotliwości. Z uwagi na większe rozbitcie otworów podczas drążenia wykorzystującego elektrolit w roli cieczy roboczej, metody te nie są powszechnie wykorzystywane w przemyśle. W 2004 roku Jain [2] opisał zjawisko oraz niekorzystny efekt występowania prądów błądzących podczas drążenia głębokich otworów metodą elektrochemiczną (ECM). Z kolei Sen [3] oraz

Ikeda [4] przedstawili wyniki doświadczeń związanych z drążeniem otworów metodą Jet-ECM (obróbka strumieniem elektrolitu).

Metodyka eksperymentu

Doświadczenia związane z drążeniem elektrochemicznym otworów, jak i hybrydową metodą elektrochemiczno-elektroerozyjną (ECDM), prowadzono na 3-osiowej obrabiarkie elektrochemicznej CNC wykonanej w IZTW. Urządzenie wyposażono w głowicę obrotową, umożliwiającą pracę z wirującą elektrodą roboczą z prędkością do 5000 obr/min oraz podawanie cieczy roboczej przez otwór w elektrodzie pod ciśnieniem do 100 bar. W przypadku doświadczeń związanych z obróbką elektrochemiczną (ECM) badania prowadzono z wykorzystaniem zasilacza prądu stałego o regulowanym napięciu (0÷60 VDC) oraz ustalonym ograniczeniu prądu roboczego (0÷20 A). Na potrzeby doświadczeń związanych z procesem ECDM stanowisko zostało wyposażone w generator impulsów roboczych, opracowany i wykonany przez Otto von Guericke Universität w Magdeburgu [5]. Stanowisko zostało wyposażone również w układ sterowania odpowiedzialny za utrzymywanie szczeliny roboczej, opracowany w oparciu o komputer PC oraz oprogramowanie LabVIEW – system wyposażony w kartę oscyloskopową (zbiera sygnały dotyczące napięcia na szczeliny roboczej oraz prądu roboczego podczas procesu drążenia) oraz kartę sterowania napędami (generator trajektorii ruchu).

Materiał obrabiany stanowiły próbki wykonane ze stopu Inconel 617 o następującym składzie: Ni – 54,12%, Cr – 21,61%, Co – 11,54%, Mo – 9,62%, Fe – 1,40%, Al – 1,11%.

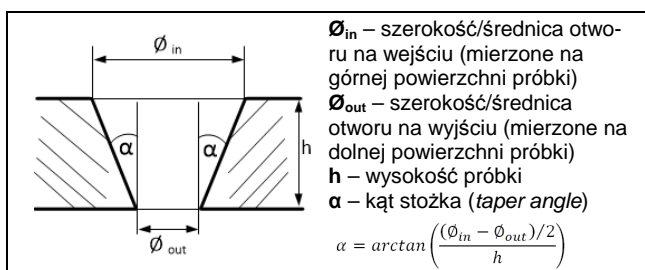
Ponieważ podczas realizowanych doświadczeń wykonywano otwory przelotowe, w zależności od zastosowanej elektrody roboczej, próbki były różnej grubości, co przedstawiono w tablicy.

TABLICA . Konfiguracja grubości próbki w zależności od rodzaju wykorzystywanej elektrody

Średnica elektrody, mm	Rodzaj elektrody	Grubość próbki/głębokość otworu, mm
0,4	rurka	2
1	rurka dwukanałowa	20

Podczas prowadzonych badań określono efektywność poszczególnych procesów oraz ich dokładność podczas drążenia otworów przelotowych. Dokładność procesu drążenia określono na podstawie porównania wymiarów otworu na wejściu w materiał oraz wyjściu z materiału, a także wyznaczonego kąta stożka (*taper angle*), według schematu zaprezentowanego na rys. 1.

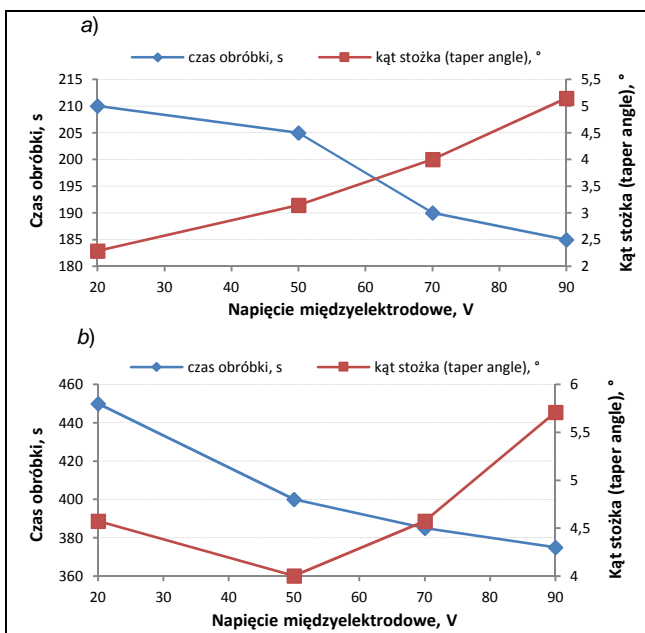
* Dr inż. Grzegorz Skrabalak (grzegorz.skrabalak@ios.krakow.pl), mgr inż. Andrzej Stwora (andrzej.stwora@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania



Rys. 1. Schemat pomiaru dokładności obróbki podczas drążenia otworów przelotowych

Wyniki badań

Podczas doświadczeń zastosowano obrót elektrody roboczej z prędkością 2000 obr/min. Elektrolit stanowił wodny roztwór azotanu sodu (NaNO_3) o temperaturze stabilizowanej w zakresie $20 \div 22$ °C. W przypadku procesu hybrydowego (ECDM) elektrolit miał stężenie 3%, z kolei podczas doświadczeń związanych z drążeniem elektrochemicznym (ECM) – 5%. Elektrolit podawany był przez elektrodę roboczą pod ciśnieniem 40 bar. Podczas drążenia ECDM parametry energetyczne procesu były zmieniane w zależności od rozmiaru elektrody roboczej. W przypadku elektrody o średnicy 0,4 mm czas impulsu/przerwy był równy 10 μs , podczas gdy w przypadku elektrody o średnicy 1 mm, czas impulsu/przerwy wynosił 40 μs . Ograniczenie prądowe ustawiono odpowiednio: 15 A dla elektrody 0,4 mm oraz 30 A dla elektrody 1 mm. Wyniki doświadczeń (ECDM) przedstawiono na rys. 2 i rys. 3.



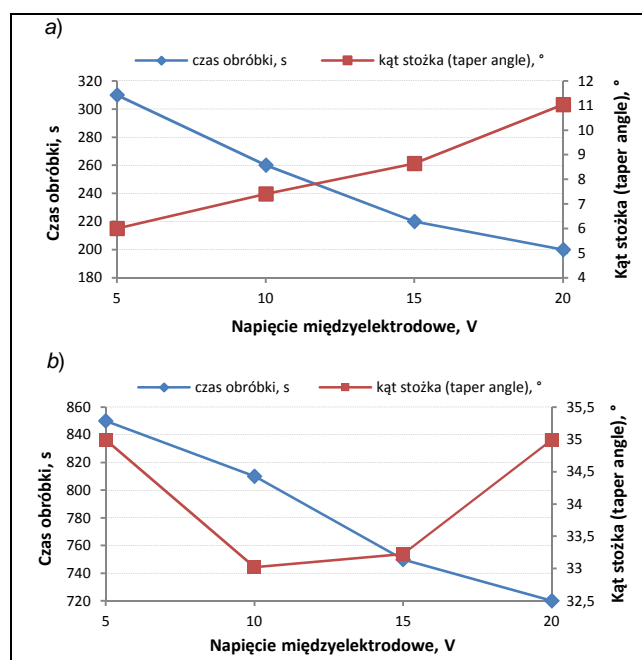
Rys. 2. Czas drążenia oraz dokładność wykonanych otworów/kąt stożka (*taper angle*) podczas obróbki ECDM, w zależności od napięcia międzyelektrodowego, różnymi elektrodami: prętom o średnicy 0,4 mm (a), elektrodą dwukanałową o średnicy 1 mm (b)

W ramach prowadzonych doświadczeń wykonano również porównawcze otwory elektrodą o średnicy 0,4 mm metodą EDM z użyciem obrabiarki SARIX 100HPM. Wyniki zaprezentowano na rys. 4.

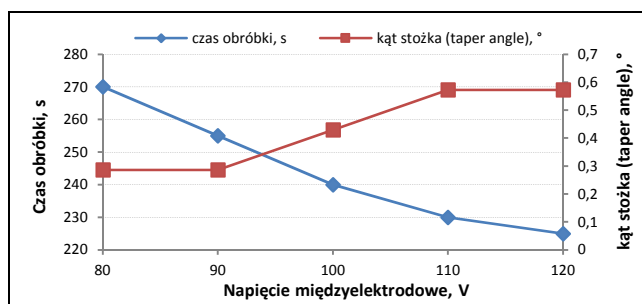
Podsumowanie

Na podstawie wyników przeprowadzonych doświadczeń można stwierdzić wysoką efektywność obróbki hybrydowej ECDM wykorzystującej wirującą elektrodę. Z uwagi na roztrzaskanie wzdłuż ścianek bocznych elektrody, rozbitcie otworu wyrażane w formie „kąta stożka” (*taper angle*) jest

relatywnie duże (w porównaniu np. z obróbką elektroerozywną), relatywnie wysoka jest też efektywność procesu, co ma szczególne znaczenie podczas drążenia głębokich otworów.



Rys. 3. Czas drążenia oraz dokładność wykonanych otworów/kąt stożka (*taper angle*) podczas obróbki ECM, w zależności od napięcia międzyelektrodowego, różnymi elektrodami: prętom o średnicy 0,4 mm (a), elektrodą dwukanałową o średnicy 1 mm (b)



Rys. 4. Czas drążenia oraz dokładność wykonanych otworów/kąt stożka (*taper angle*) podczas obróbki EDM, w zależności od napięcia międzyelektrodowego, elektrodą dwukanałową o średnicy 0,4 mm

Badania zrealizowano w ramach projektu nr: LIDER /038/683/L-4/12/NCBR/2013 (programu LIDER-4), finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

LITERATURA

- Hung S.L., Biing H.Y., Chien L.C., Fuang Y.H. „Application of micro-EDM combined with high-frequency dither grinding to micro-hole machining”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. Vol. 46, No. 1 (2006): pp. 80÷87.
- Jain V.K., Kanetkar Y., Lal G.K. „Stray current attack and stagnation zones in electrochemical drilling”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 26, No. 5 (2005): pp. 527÷536.
- Sen M., Shan H.S. „Analysis of hole quality characteristics in the electro jet drilling process”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. Vol. 45, No. 15 (2005): pp. 1706÷1716.
- Ikeda T., Natsu W., Kunieda M. „Electrolyte Jet Machining Using Multiple Nozzles”. *Journal of The Japan Society of Electrical Machining Engineers*. Vol. 40, No. 94 (2006): pp. 82÷89.
- De Silva A.K.M., Schulze H.P., McGeough J.A., Zybura M. „Process Control and Power Systems for Electrochemical-Erosion Sinking (ELESIN)”. *Proceedings of the 16th International Symposium on Electromachining – ISEM16*, April 19÷23 2010, Shanghai, pp. 389÷392.