



Organizator:
Politechnika Warszawska
Instytut Techniki Wytwarzania

Przewodniczący:
Lucjan Dąbrowski
ld@meil.pw.edu.pl
http://snoe.meil.pw.edu.pl

Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych

SNOE

Artykuły naukowe z 2015 r.

Patronat naukowy: SEKCJA PODSTAW TECHNOLOGII KOMITETU BUDOWY MASZYN POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Wybrane zagadnienia z badań nad zastosowaniem włókien węglowych jako elektrod narzędziowych w mikroobróbce elektroerozyjnej

Selected topics from research on the use of carbon fibres as tool electrodes in micro electrical discharge machining

ANNA TRYCH-WILDNER*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.12.527

W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia z badań nad zastosowaniem włókien węglowych jako elektrod narzędziowych w mikroobróbce elektroerozyjnej. Jest to materiał dotychczas nie używany na elektrody w tym zastosowaniu. W artykule opisano specjalne stanowiska, zaprojektowane do przeprowadzenia eksperymentów oraz metodykę prowadzenia badań. Zaprezentowano również rezultaty drążenia mikrootworów oraz scharakteryzowano geometrię tak otrzymanych wgłębień.

SŁOWA KLUCZOWE: włókna węglowe, mikroobróbka elektroerozyjna, mikrootwory, nowe elektrody narzędziowe.

In this article selected issues describing an utilisation of carbon fibres as tool electrodes in micro-electrical discharge machining were presented. Carbon fibres have not been previously used in such application. The paper presents an experimental setup designed to perform the experiments and the methodology of the tests. Then microholes obtained in this process were presented and their geometry was characterised.

KEYWORDS carbon fibres, micro-electrical discharge machining, microholes, new tool electrodes

Podstawową różnicą między obróbką elektroerozyjną a jej odpowiednikiem w mikro skali - mikroobróbką elektroerozyjną (μ EDM), są dużo mniejsze energie wyładowań podczas μ EDM. W przypadku μ EDM niezbędne są również dużo mniejsze wymiary narzędzi - elektrod roboczych. Wykonanie takich elektrod wiąże się z koniecznością przeprowadzenia

długotrwałych i kosztownych operacji przygotowawczych. Wykonanie pojedynczej elektrody z węgla wolframu lub samego wolframu może zajmować nawet kilkadziesiąt minut [1,2]. Otrzymane w ten sposób narzędzia z powodzeniem mogą być zastosowane w μ EDM, jednak ich długość i ilość wytworzonych egzemplarzy jest niewielka, stąd też znajdują zastosowanie tylko w badaniach eksperymentalnych. Użycie włókien węglowych z uwagi na ich wymiary rzędu 5 do 10 μ m pozwala na ominięcie operacji przystosowania wymiarów samych narzędzi do skali mikro. Należy jedynie dobrać włókno węglowe o odpowiedniej średnicy. Oprócz możliwości przystosowania do skali mikro, zastosowany materiał musi być przede wszystkim przewodnikiem, co w przypadku włókien węglowych jest spełnione.

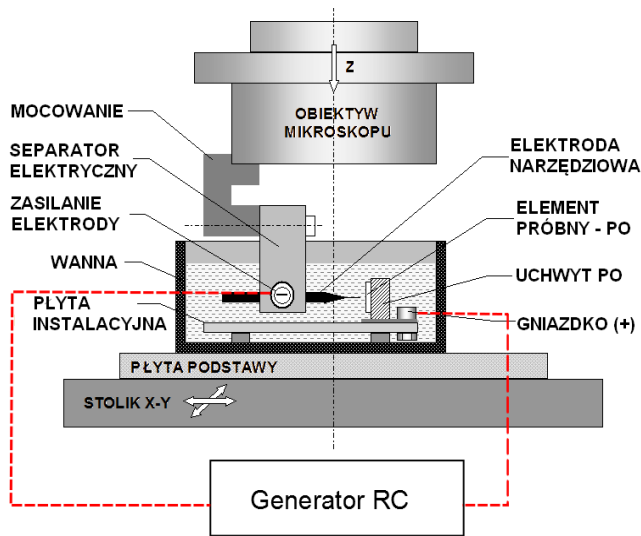
Zastosowanie włókien węglowych jako elektrod narzędziowych w μ EDM jest stosunkowo nowym zagadnieniem badawczym [3,4]. Niemniej jednak użycie włókna węglowego w funkcji elektrod pomiarowych w zastosowaniach biomedycznych było odnotowywane w literaturze już wcześniej [5,6]. Jednak ich zastosowanie w obszarze technik wytwarzania wymaga odmiennego podejścia i opracowania innych środków technicznych - uchwytów, narzędzi i stanowisk badawczych.

Stanowiska badawcze

W celu przeprowadzenia badań z zastosowaniem włókien węglowych w funkcji elektrod narzędziowych w mikroobróbce elektroerozyjnej opracowano dwa stanowiska badawcze. Pierwsze z nich – Rys. 1 posłużyło do przeprowadzenia badań wstępnych i określenia wytycznych do skonstruowania stanowiska, pozwalającego na automatyzację poszczególnych eksperymentów. W pierwszym stanowisku, w celu obserwacji procesu, wykorzystano mikroskop, a na jego stole zainstalowano wannę z dielektrykiem, w której prowadzono obróbkę. Takie rozwiązanie konstrukcji stano-

*Dr inż. Anna Trych-Wildner (A.Trych@mchtr.pw.edu.pl)

wiska wiązało się z poziomą konfiguracją elektrody roboczej względem przedmiotu obrabianego. Pozwalało to jednak na ciągłe monitorowanie procesu – Rys. 1.



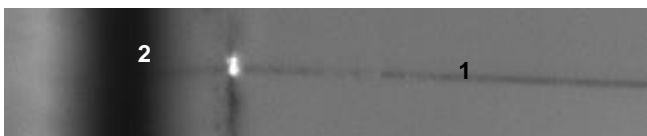
Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego służącego do wykonania eksperymentów wstępnych

W stanowisku drugim Rys. 2. również wykorzystywano konfigurację poziomą elektrody względem przedmiotu obrabianego. Pozwalało to na obserwację i monitorowanie procesu oraz porównywanie wyników z wynikami uzyskanymi na poprzednim stanowisku.



Rys. 2. Stanowisko badawcze do badań zasadniczych: 1. Generator RC, 2. Kamera, 3. Mikroskop, 4. Strefa robocza, 5. Mikroprocesor

Dodatkowo podczas prowadzenie prób z wykorzystaniem kamery możliwe było też rejestrowanie efektów świetlnych pojedynczych wyładowań – Rys.3.



Rys. 3. Przykładowe zarejestrowane wyładowanie z widocznym efektem świetlnym; 1. Włókno węglowe, 2. Przedmiot obrabiany

Przed rozpoczęciem badań należało opracować i wykonać część chwytową umożliwiającą manipulowanie włók-

nem oraz mocowanie go w uchwycie przeznaczonym dla elektrody na stanowisku [7].

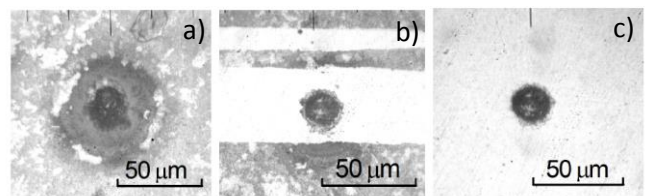
Metodyka i warunki badań

Eksperymenty wstępne miały na celu rozpoznanie procesu z zastosowaniem elektrod z włókien węglowych i nakreślenie założeń do zaprojektowania zautomatyzowanego stanowiska. W badaniach zasadniczych skupiono się na zapewnieniu efektywności tego procesu, tak aby można było uzyskać wgłębienia i mikrootwory o średnicach rzędu kilkunastu mikrometrów.

Sama średnica włókien użytych do badań wykosła ok. 7 μm . Po uwzględnieniu szczeliny roboczej otrzymywane otwory powinny być w założonym zakresie wymiarowym - kilkunastu mikrometrów. Przedmiotem obrabianym (PO) we wszystkich eksperymentach były płytki wzorcowe ze stali 100Cr6. Zastosowanie takiego PO w znaczny sposób ułatwiło możliwość identyfikacji otrzymanych mikrootworów na powierzchni. W przypadku zastosowania innego materiału nierówności na powierzchni, przy pomiarach profilu tej powierzchni, mogły być w łatwy sposób pomyłone z efektami obróbkowymi. Dielektrykiem stosowanym we wszystkich eksperymentach była nafta kosmetyczna. Jako generator potrzebny do zapewnienia cyklicznych wyładowań posłużył generator RC. Miał on możliwość płynnej regulacji zakresu napięcia podawanego na elektrody od 50 do 150V. Rezystancja mogła być zmieniana skokowo w zakresie od 22 k Ω do 1M Ω , zaś pojemność w zakresie 4,7 pF do 3300 pF. Istniała również możliwość dołączenia zewnętrznej pojemności oraz rezystancji.

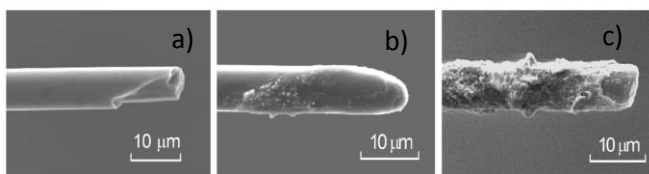
Obserwacje wstępne rezultatów mikrodrażenia elektroerozyjnego z użyciem włókien węglowych

Po przeprowadzeniu kilku prób drażenia, podczas badań wstępnych, przeprowadzono obserwację mikroskopowe rezultatów obróbki na powierzchni przedmiotu obrabianego – Rys.4. Wokół otworów otrzymywanych w wyniku μEDM widoczne były osady z rozkładu dielektryka. Są one jednak łatwe do usunięcia, co zaprezentowano na rysunku 4b i c. Igła profilometru stykowego usunęła osad w obszarze skanowania powierzchni. Po całkowitym oczyszczeniu osadu i umyciu próbki w myjce ultradźwiękowej uwidocznił się otwór o średnicy ok. 24 μm – Rys. 4c.



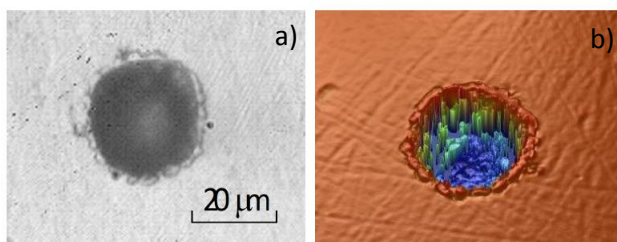
Rys. 4. Zdjęcia mikroskopowe mikrootworu: a) przed oczyszczeniem, b) po pomiarze profilometrem stykowym, c) po oczyszczeniu

Podczas wyładowań, zużyciu ulega również elektroda robocza – Rys. 5. Elektrody robocze z włókien węglowych były docinane na odpowiednią długość, jednak już podczas pierwszych wyładowań włókno ulegało zużyciu i ewentualne zniekształcenia wynikające z przycinania włókna były niwelowane - Rys. 5b. Intensywna i dłużej trwająca obróbka wpływa też na osadzanie się na elektrodzie roboczej produktów erozji i rozkładu dielektryka - Rys. 5c.



Rys. 5. Widok elektrody roboczej w kolejnych fazach obróbki: a) elektroda po docięciu na odpowiednią długość, b) elektroda po krótkim czasie obróbki, c) elektroda po dłuższym czasie obróbki

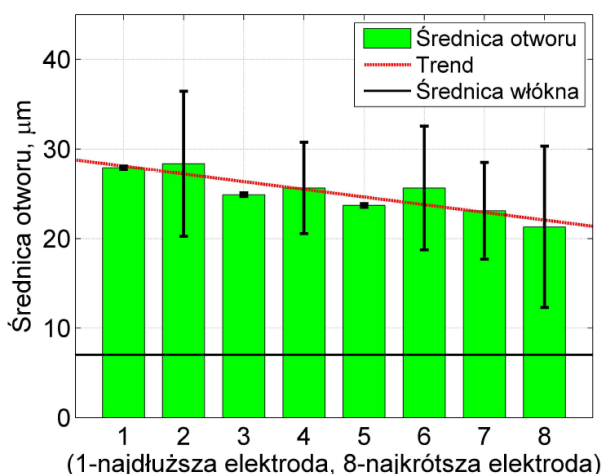
Prawidłowo ukształtowany otwór miał średnicę ok. 25 μm – Rys. 6. Dno takich wgłębień było bardzo nieregularne. Wizualizacja trójwymiarowa otrzymana z profilometru optycznego Veeco (Rys. 6b) wskazuje, że dno otworu jest zniekształcone i w pewnych obszarach drążenie nie zostało wykonane na tę samą głębokość.



Rys. 6. a) Widok mikroskopowy otworu wydrążonego włóknem węglowym z zastosowaniem następujących parametrów: $U = 150\text{V}$, $R = 22\text{k}\Omega$, $C = 100\text{pF}$ oraz b) wizualizacja 3D otworu otrzymana za pomocą profilometru optycznego Veeco

Analiza geometrii otrzymanych mikrootworów

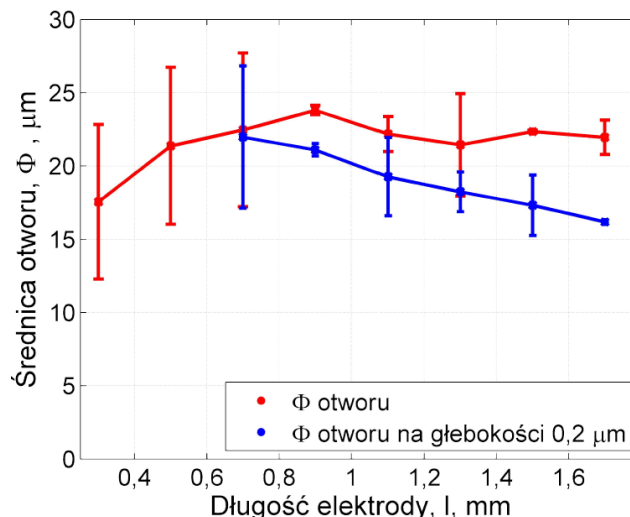
Na rysunku 7 przedstawiono zależność średnicy otworów od długości elektrody roboczej. Każdy z otworów przekracza ponad dwukrotnie średnicę włókna węglowego. Wiąże się to w głównej mierze z wychyleniami elektrody podczas kolejnych gwałtownych wyładowań.



Rys. 7. Średnica otworów dla różnej długości elektrody roboczej wraz z maksymalną i minimalną zarejestrowaną średnicą - Próby wykonano dla następujących nastaw generatora $R=22\text{ k}\Omega$, $U=100\text{ V}$, $C=100\text{ pF}$

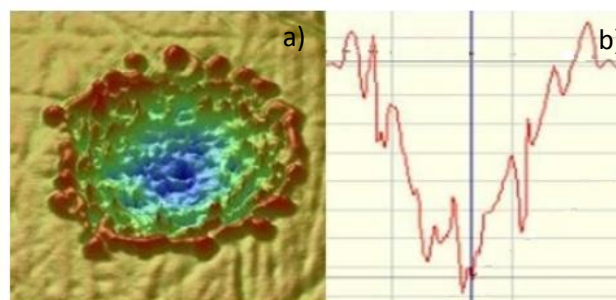
Średnica wlotowa otrzymanych otworów jest większa niż średnica na głębokości 0,2 μm – Rys. 8. Dla otworów wydrążonych krótkimi elektrodami nie było możliwe zmierzenie średnicy na tej głębokości - brak punktów pomiarowych na rysunku 8. Jest to związane z wykorzystywaną metodą pomiarową - profilometr optyczny analizuje światło odbite od powierzchni. W tym przypadku może to wskazywać, że

otwory są walcowe, a nie wyraźnie stożkowe, jak ma to miejsce dla pozostałych eksperymentów.



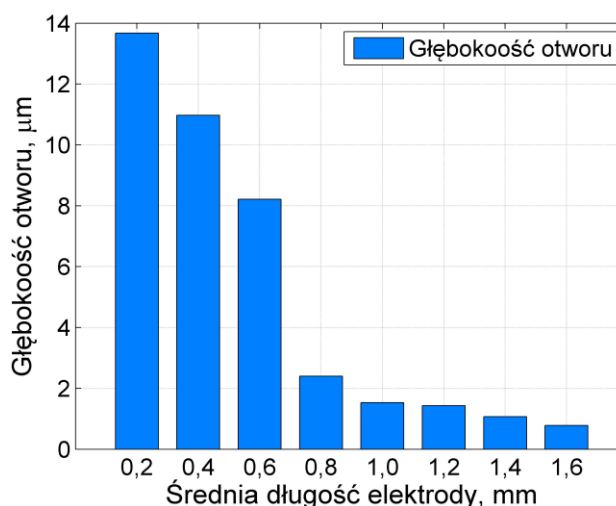
Rys. 8. Średnica wlotowa otworów i średnica na głębokości 0,2 μm dla różnej długości elektrody roboczej

Przykładowy kształt otworu o wyraźnym pochyleniu ścianek przedstawiono na rysunku 9. Wokół otworu materiał jest zmieniony na skutek wyładowań. Na przekroju otworu otrzymanym za pomocą profilometru optycznego Veeco (Rys. 9b) widoczne są również wypłytki, a samo wgłębienie ma nieregularne ścianki.



Rys. 9. a) Wizualizacja 3D oraz b) profil otworu wykonane profilometrem optycznym Veeco

Głębokość wykonanych otworów jest mniejsza dla długich elektrod – Rys. 10.



Rys. 10. Głębokość otworów w zależności od długości elektrody

Wychylenia elektrody z pozycji nominalnej są większe w przypadku długich elektrod, co powoduje drażnienie szerokich otworów o stosunkowo niedużej głębokości. Krótsze elektrody pozwalają na osiągnięcie otworów głębszych, nawet do kilkunastu mikrometrów.

Podsumowanie

Przeprowadzone eksperymenty wykazały możliwość efektywnego kształtowania mikrootworów z wykorzystaniem pojedynczych włókien węglowych. Geometria wykonanych wgłębień wskazuje jednak, że otrzymane otwory są stożkowe. W celu uzyskania wgłębień o kształcie walcowym konieczne jest stosowanie krótkich elektrod. Znaczne wychylenie elektrod podczas wyładowań wpływa nie tylko na błędy kształtu i znaczne rozbieżności otworu, ale również na ich głębokość. Należy uznać, że krótkie elektrody pozwalają na wykonanie otworów o głębokości większej od średnicy elektrody i o mniejszych błędach kształtu.

LITERATURA

1. Kai Egashira, Yosuke Morita, Yasuki Hattori, Electrical discharge machining of submicron holes using ultrasmall-diameter electrodes, *Precision Engineering*, Volume 34, Issue 1, January 2010, Pages 139-144,
2. Feng-Tsai Weng, Chi-Ting Ho, Manufacturing of a micro-tungsten carbide electrode using a supersonic-aided electrolysis process *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 18, 3 (2008), 037001.
3. Zhang Y., Liu Y., Ji R., Cai B., Wang F., Tian X. Carbon Fiber in Micro Electric Discharge Machining. *Materials and Manufacturing Processes* 28, 10 (2013), 1133–1136..
4. Trych A., Zastosowanie włókien węglowych jako elektrod narzędziowych w mikroobróbce elektroerozyjnej, Wydział Mechatroniki, Rozprawa doktorska 2015
5. Swiergiel A. H., Palamarchouk V. S., Dunn A. J. A new design of carbon fiber microelectrode for in vivo voltammetry using fused silica. *Journal of Neuroscience Methods* 73 (1997), 29–33.
6. Cheng C.-C., Young M.-S., Chuang C.-L., Chang C.-C. Fabrication optimisation of carbon fiber electrode with Taguchi method. *Biosensors and Bioelectronics* 18, 7 (2003), 847 – 855.
7. Trych A. Włókna węglowe pokryte niklem w funkcji elektrod narzędziowych w mikroobróbce elektroerozyjnej. *Mechanik* 4/2015