

Elektroerozyjne drażenie otworów w materiałach kompozytowych

mgr inż. Łukasz Sosinowski, dr hab. inż. Marek Rozenek

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu materiału elektrody roboczej na efektywność obróbki elektroerozyjnej. W badaniach uwzględniono dwa czynniki wejściowe: czas impulsu ton oraz zmianę ciśnienia dielektryka p , przy ustalonych pozostałych parametrach obróbki EDM. Obrabiano materiał kompozytowy WC-Ni o zawartości 20% węgla wolframu, elektrodami rurkowymi jednokanałowymi i wielokanałowymi wykonanymi z mosiądzu i miedzi. Uzyskano wyniki liczbowe szeregu wielkości charakteryzujących rezultaty obróbki, które pozwoliły na sformułowanie wniosków dotyczących stosowania obróbki tego typu materiału.

Wprowadzenie

Do nowoczesnych spiekanych materiałów narzędziowych, o szybko rosnącym znaczeniu w technologii obróbki skrawaniem należą cermetale narzędziowe. Cermetale to materiały kompozytowe spieczone z materiałów ceramicznych i metalowych. Metal jest zwykle spoiwem dla tlenków, borków lub węglików. Używane metale to zwykle nikiel, molibden i kobalt. Cermetale, podobnie jak inne spiekane materiały narzędziowe, np. węgliki spiekane, wytwarzane są metodą metalurgii proszków. Formowanie jest najczęściej przeprowadzane przez jednoosiowe prasowanie, natomiast spiekanie, zależnie od składu chemicznego, przebiega w temperaturze 1400÷1550°C (z udziałem fazy ciekłej) w piecu próżniowym. W celu polepszenia własności (zmniejszenia porowatości spieku) stosowane jest izostatyczne spiekanie na gorąco HIP (j. ang.: *Hot Isostatic Pressing*). Dla spiekanych cermetali narzędziowych typową jest struktura rdzeniowo-płaszczowa będąca nośnikiem twardości, powodująca, że

cermetale są niewrażliwe na rozrost ziaren podczas spiekania, uzyskując w efekcie drobnoziarnistą strukturę [1].

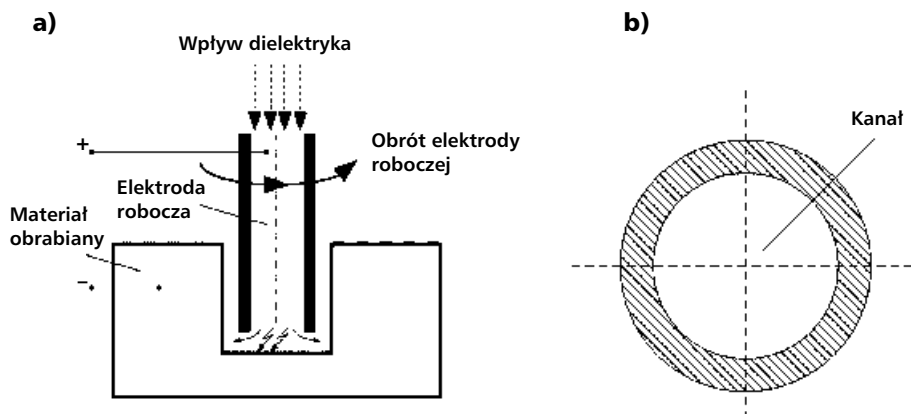
Obróbka elektroerozyjna (EDM – *Electro-Discharge Machining*) opiera się na usuwaniu nadmiaru w wyniku erozji elektrycznej, która jest efektem wyładowań elektrycznych pomiędzy dwoma elektrodami oddzielonymi szczeliną międzyelektrodową wypełnioną płynnym dielektrykiem. Jedną elektrodę stanowi materiał obrabiany, a drugą elektrodą robocza (narzędzie). Obie elektrody podłączone są do źródła impulsowego napięcia elektrycznego. Erozja materiału możliwa jest przez zamianę energii elektrycznej w energię cieplną w wyniku zachodzących wyładowań elektrycznych. Erozja jest niezależna od twardości materiału (skrawalności), a siły występujące między narzędziem, a materiałem są znikome [2,3]. Podczas wiercenia elektroerozyjnego elektroda robocza może pełnić funkcję wiertła. Wykonuje wówczas ruch posuwowy oraz obrotowy. Do mikrowiercenia metodą elektroerozyjną stosowane są elektrody

rurkowe oraz prętowe [4]. Zastosowanie obróbki elektroerozyjnej w różnych gałęziach przemysłu wymaga odpowiedniego sterowania parametrami obróbki w celu uzyskania oczekiwanej dokładności wymiarowo kształtowej oraz jakości obrobionych powierzchni. Końcowy stan warstwy wierzchniej wpływa bezpośrednio między innymi na trwałość wykonanych elementów. Mechanizm usuwania materiału w procesie elektroerozji jest w głównej mierze wynikiem oddziaływania cieplnego wyładowania elektrycznego na materiał obrabiany. Następuje lokalny wzrost temperatury (rzędu od 8000÷12000°C) prowadzący do topnienia i parowania w lokalnych warstwach powierzchniowych zarówno przedmiotu obrabianego jak i elektrody roboczej. Wysoka temperatura towarzysząca procesowi, powodująca powstawanie tzw. strefy wpływu ciepła, pogarsza właściwości powierzchni po obróbce [5,6].

Struktura geometryczna powierzchni jest jednym z ważniejszych czynników decydujących o jakości uzyskiwanych



wyrobów. Wpływa na własności eksploatacyjne elementów maszyn wyrażone m.in. przez warunki tarcia na powierzchniach stykowych, naprężenia stykowe, wytrzymałość zmęczeniową, odporność na korozję, szczelność połączeń, powierzchniowe promieniowanie ciepłe oraz własności magnetyczne. Strukturę geometryczną powierzchni (SGP) określa się zbiorem wszystkich nierówności, powstałych w wyniku procesów obróbki i zużycia materiału. Przyjmuje się podział SGP na składowe: chropowatość powierzchni, jej falistość i odchyłki kształtu. Podział ten oparty jest na proporcjach wysokości i długości fali nierówności. Pierwsza składowa jest uznawana za jeden z najistotniejszych wyróżników stanu warstwy wierzchniej (WW).



Rys. 2. a) Schemat przedstawiający drążenie elektroerozyjne z dostarczeniem dielektryka poprzez kanał w elektrodzie roboczej, b) przekrój elektrody roboczej jednokanałowej

Czynnik ten wpływa na przebieg podstawowych zjawisk tribologicznych elementów współpracujących węzła kinematycznego [7, 8].

Metodyka badań doświadczalnych

Do badań wytypowano materiał kompozytowy (WC-Ni) o zawartości 20% węgla wolframu. Próbkę przed badaniami zostały wyszlifowane, a następnie za pomocą specjalnych uchwytów połączone ze sobą w pakiet. Próby wiercenia elektroerozyjnego wybranego materiału zostały przeprowadzone w Zakładzie Obróbek Wykańczających i Erozyjnych Politechniki Warszawskiej. Badania wykonano na drążarce elektroerozyjnej Charmilles Drill 20, przedstawionej na rys. 1.

Badania przeprowadzono z użyciem elektrod rurkowych (jedno i wielokanałowych), wykonanych z mosiądzu lub miedzi, o średnicy zewnętrznej równej 1 mm. Jako dielektryk zastosowano wodę dejonizowaną, która była dostarczana do obszaru obróbki przez kanał w elektrodzie roboczej (rys. 2a, 2b).

W badaniach uwzględniono dwa czynniki wejściowe, których wartości były zmienne w danych przedziałach:

t_{on} – czas impulsu $<19 \div 99> \mu\text{m}$,
 p – ciśnienie dielektryka $<0,1 \div 0,8> \text{MPa}$.

Przyjęcie różnych parametrów obróbki umożliwiło przedstawienie wybranych parametrów na dokładność i jakość wykonanych otworów, a także na zużycie elektrody roboczej.

Przyjęto następujące czynniki wyjściowe:

- liniowe zużycie elektrody roboczej (Z_e),
- czas drążenia (t_d),
- średnica wydrążonych otworów (d),
- parametr chropowatości wydrążonych otworów (R_a).



Rys. 1. Drążarka elektroerozyjna Drill 20 firmy Charmilles

W celu obliczenia czynników wyjściowych zmierzono: długość elektrody roboczej przed obróbką (l_p) oraz długość elektrody roboczej po obróbce (l_k). Liniowe zużycie elektrody roboczej (Z_e) obliczono według poniższego wzoru:

$$Z_e = l_p - l_k \quad (1)$$

Przyjętymi w badaniach czynnikami stałymi, były:

- obrabiany materiał (materiał kompozytowy WC-Ni o zawartości 20% WC),
- grubość materiału obrabianego $h_m = 40$ mm,
- elektrody rurkowe przelotowe, o średnicach zewnętrznych $d_e = 1$ mm (jedno i wielokanałowe, z mosiądzu i miedzi)
- dielektryk (woda dejonizowana),
- amplituda natężenia prądu I ($12 \div 14$) A,
- napięcie wyładowania U ($40 \div 45$) V.

W tabeli 1. przedstawiono parametry obróbki, z jakimi były realizowane badania.

Pomiary chropowatości oraz średnicy wydrążonych otworów wykonano na profilometrze Talysurf 10.

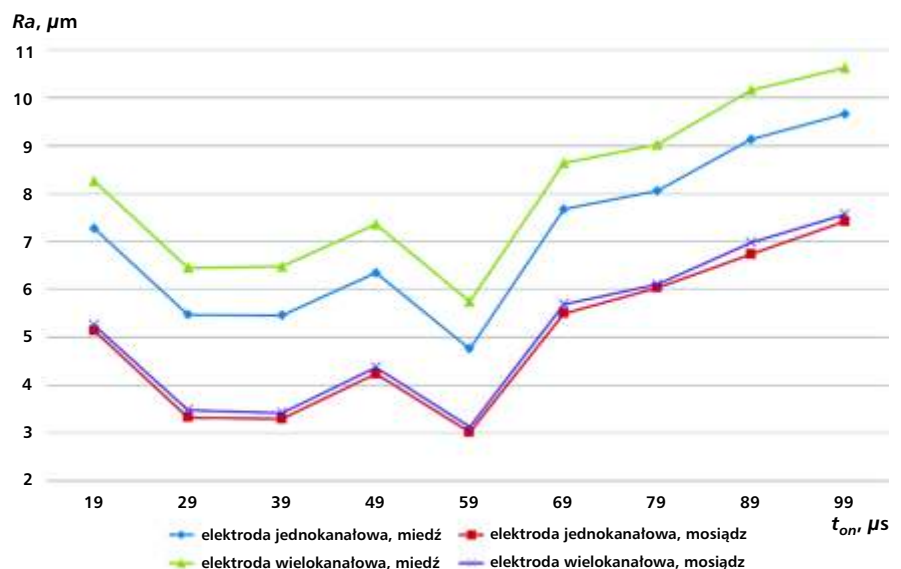
Analiza wyników

Analizując wyniki badań wpływu czasu impulsu t_{on} na chropowatość powierzchni (rys. 3) stwierdzono, że dla wszystkich elektrod roboczych wraz ze zwiększaniem czasu impulsu t_{on} rośnie chropowatość powierzchni. Największe zmiany stwierdzono dla czasów impulsu t_{on} w przedziale od 19 μs do 59 μs . Wykazano także, że zmiana materiału i kształtu kanału doprowadzającego dielektryk przez elektrodę roboczą wpływa na chropowatość zarówno przy zmianie czasu impulsu t_{on} , jak i ciśnienia roboczego p . Analizując wykres wpływu ciśnienia roboczego p na chropowatość powierzchni (rys. 4) można także zauważyć, iż wraz ze wzrostem ciśnienia chropowatość obrabianej powierzchni maleje.

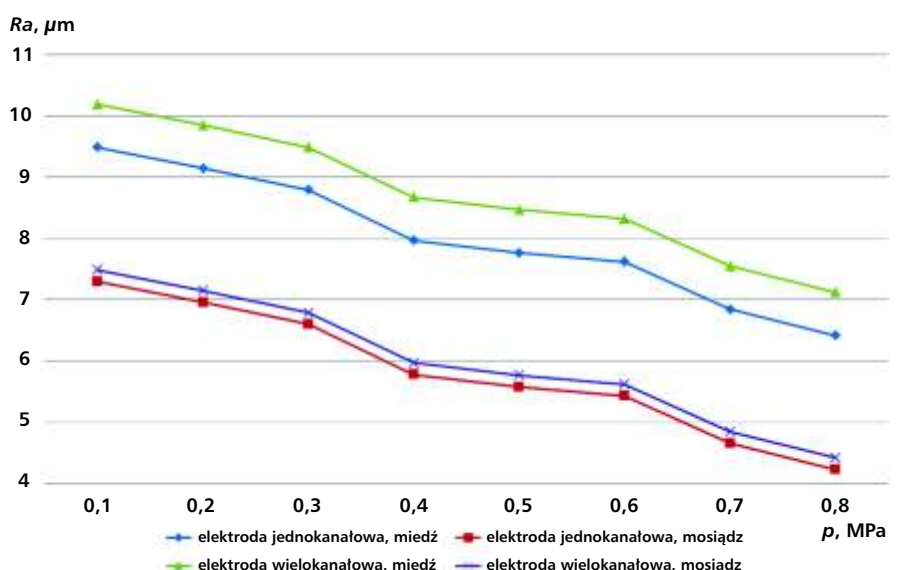
Na podstawie analizy wpływu czasu impulsu t_{on} na średnice drążonego otworu d (rys. 5) można stwierdzić, że dla wszystkich elektrod roboczych zwiększając czas impulsu t_{on} rośnie średnica drążonego otworu d . Tak samo jak w poprzednim przypadku, zmiana materiału elektrody

Tab. 1. Parametry obróbki zastosowane w badaniach

Parametry wejściowe	
czas impulsu t_{on} w przedziale, μs	$\langle 19 \div 99 \rangle$
ciśnienie dielektryka p , MPa	$\langle 0,1 \div 0,8 \rangle$
Parametry wejściowe ustalone	
napięcie wyładowania U , V	$\langle 40 \div 45 \rangle$
amplituda natężenia prądu I , A	$\langle 12 \div 14 \rangle$
Parametry wyjściowe	
zużycie elektrody Z_e	
czas drążenia t_d	
średnica wydrążonych otworów d	
chropowatość powierzchni Ra	



Rys. 3. Zależność parametru chropowatości Ra od czasu impulsu t_{on}



Rys. 4. Zależność parametru chropowatości Ra od ciśnienia dielektryka p

ma istotny wpływ na średnice drążonego otworu d , zarówno przy zmianie czasu impulsu t_{on} , jak i ciśnienia roboczego p . Analizując relacje między średnicą drążonego otworu d a ciśnieniem roboczym p (rys. 6) stwierdzono, iż przy wzroście ciśnienia średnice drążonych otworów d maleją.

Obserwując wpływ czasu impulsu t_{on} na zużycie elektrody Z_e (rys. 7) można zaobserwować, że największy wpływ na zużycie elektrody ma jej rodzaj, natomiast wpływ czasu impulsu t_{on} w pewnym stabilnym zakresie od $29 \mu s$ do $89 \mu s$, jest znikomy. Należy jednak zauważyć, że poza tym zakresem następuje gwałtowne zwiększenie zużycia elektrody Z_e . Analizując relacje między zużyciem elektrody Z_e a ciśnieniem roboczym p (rys. 8) stwierdzono, że w przedziale od 0,1 do 0,5 MPa ze wzrostem ciśnienia roboczego p zwiększa się zużycie elektrody Z_e .

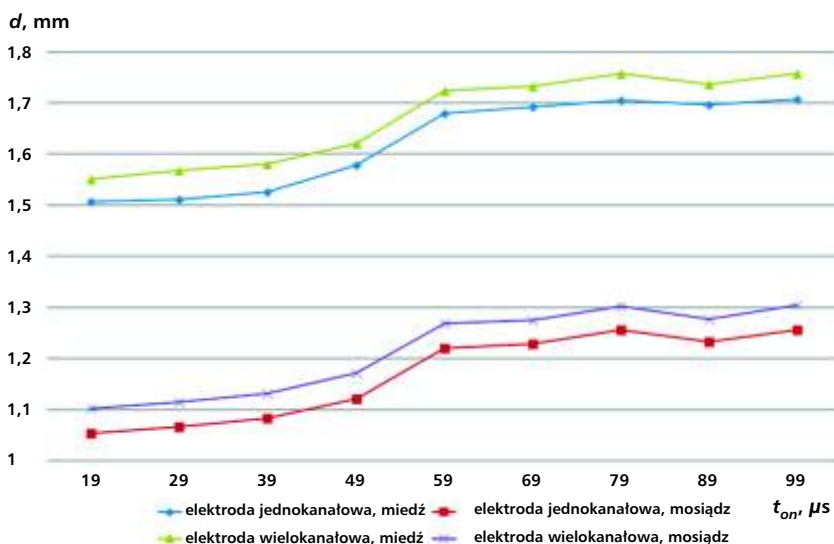
Analizując wyniki badań wpływu czasu impulsu t_{on} na czas drążenia t_d (rys. 9) można stwierdzić, że dla czasu impulsu t_{on} większego niż $49 \mu s$, ze wzrostem tego czasu skraca się czas drążenia t_d . Najkorzystniejszy wynik osiąga się dla czasu impulsu t_{on} równego $39 \mu s$. Analizując natomiast na zależność czasu drążenia t_d od ciśnienia roboczego p (rys. 10) można zauważyć, że najkrótszy czas drążenia t_d osiągnięty jest przy ciśnieniu roboczym równym 0,4 MPa.

Z uzyskanych wyników badań wynika, że zastosowanie miedzi (porównując do mosiądzu), jako materiału na elektrody robocze powoduje wzrost: chropowatości powierzchni obrabianej oraz rozbięcia bocznego (średnicy) otrzymywanego otworu. Jednakże zastosowanie miedzi, jako elektrody daje pozytywne skutki obróbki w postaci skrócenia czasu drążenia i zużycia elektrody roboczej.

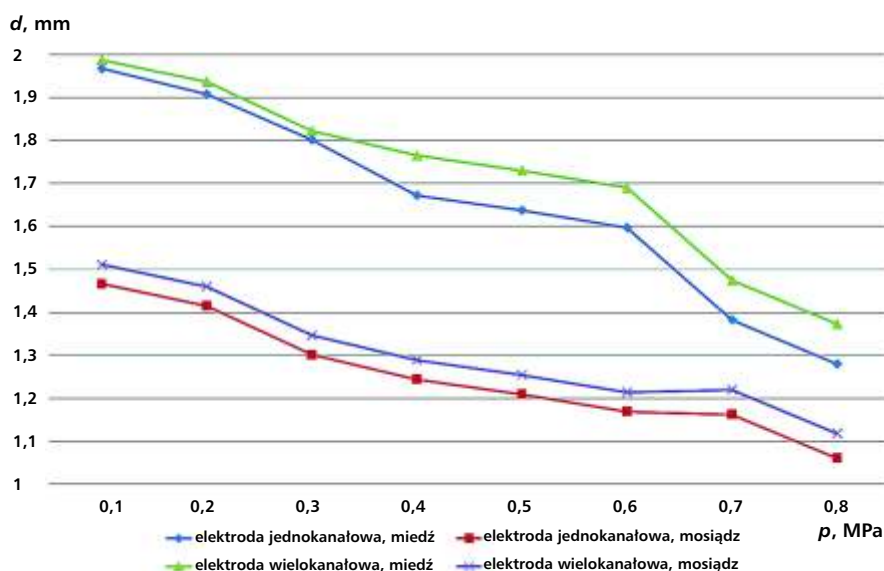
Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań wpływu czasu impulsu t_{on} oraz ciśnienia dielektryka p na chropowatość powierzchni, średnicę drążonych otworów d , czas drążenia t_d oraz zużycie elektrody Z_e można sformułować następujące wnioski:

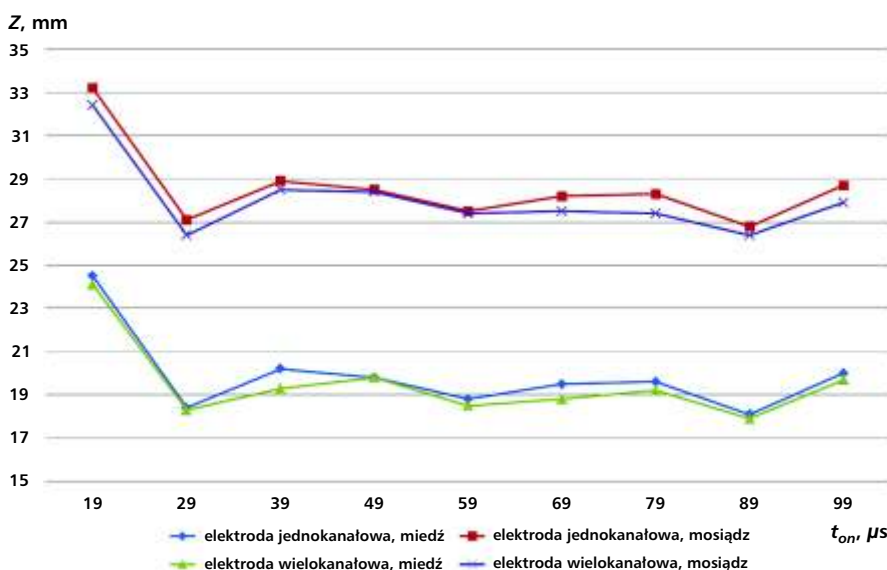
- zwiększenie czasu impulsu t_{on} powoduje wzrost chropowatość powierzchni,
- przy wzroście ciśnienia roboczego p chropowatość obrabianej powierzchni maleje,



Rys. 5. Zależność średnicy drążonego otworu d od czasu impulsu t_{on}



Rys. 6. Zależność średnicy drążonego otworu d od ciśnienia dielektryka p

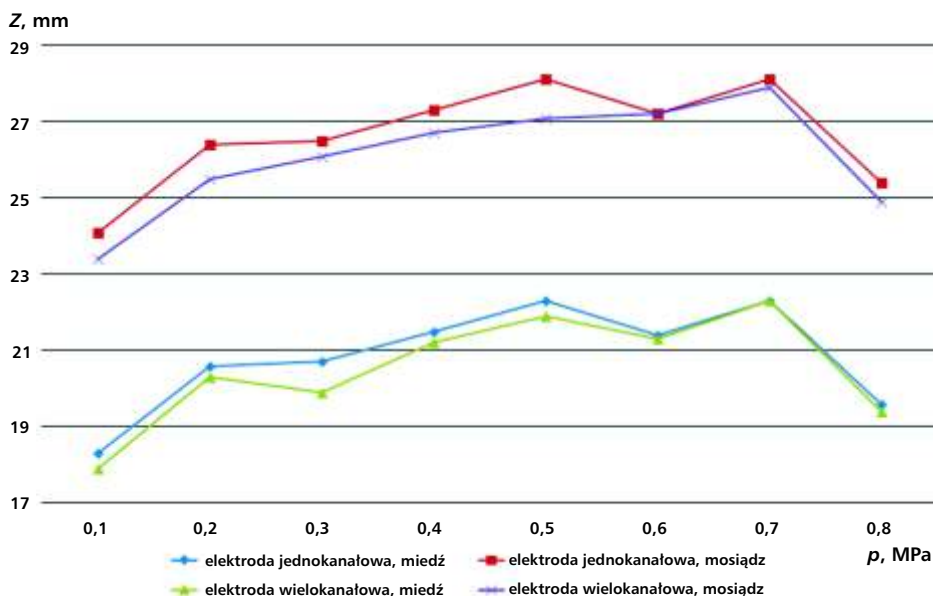


Rys. 7. Zależność zużycia elektrody roboczej Z_e od czasu impulsu t_{on}

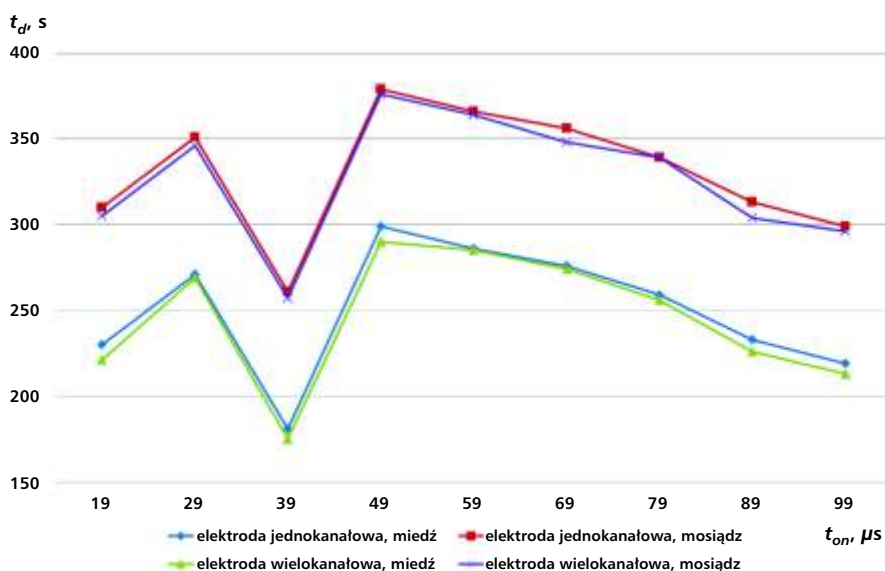
- gdy wzrasta czas impulsu t_{on} , średnica drążonych otworów d także zwiększa się,
- większe ciśnienie robocze p to mniejsza średnica drążonych otworów d ,
- w pewnym stabilnym zakresie od $29 \mu s$ do $89 \mu s$ czas impulsu t_{on} nie wpływa na zużycie elektrody Z_e , natomiast poza tym zakresem to zużycie gwałtownie rośnie,
- w przedziale od 0,1 do 0,5 MPa, ze wzrostem ciśnienia roboczego p zużycie elektrody Z_e zwiększa się,
- zwiększenie czasu impulsu t_{on} powoduje skrócenie czasu drążenia t_d ,
- gdy czas przerwy t_p jest większy bądź równy czasowi impulsu t_{on} , zużycie elektrody Z_e gwałtownie rośnie,
- zwiększenie czasu przerwy t_p powoduje zwiększenie czasu drążenia t_d ,
- zużycie elektrody Z_e jest większe, gdy zwiększa się czas przerwy t_p .

Literatura

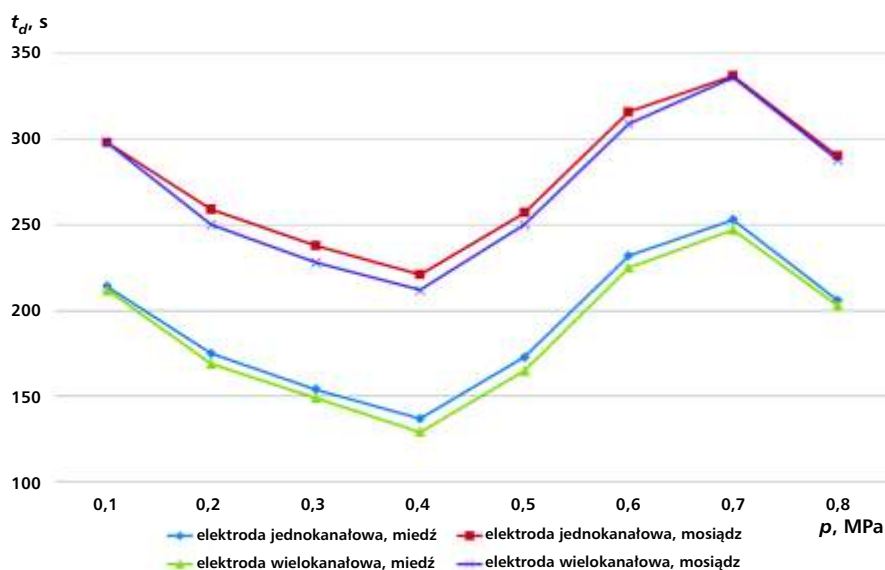
1. Dobrzański L., Matula G., Podstawy metalurgii proszków i materiały spiekane, Open Access Library, 2012, vol.8 (14).
2. Ho K.H., Newman S.T.: State of the art electrical discharge machining (EDM), International Journal of Machine Tools & Manufacture 43, 2003, pp.1287–1300.
3. Dąbrowski L., Marciniak M., Nowicki B., Obróbka skrawaniem, ścierna i erozyjna, Warszawa, 2007.
4. El-Hofy H.: Advanced Machining Process. Nontraditional and hybrid machining process, Alexandria University, Egypt, 2005.
5. Kunieda M., Lauwers B., Rajurkar K.P., Schumacher B. M.: Advancing EDM through fundamental insight into process, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 54, 2, 64–87, 2005.
6. Skoczypiec S., Ruszaj A.: A sequential electrochemical-electrodischarge process for micro part manufacturing, Precision Engineering 38, 2014, pp. 680–690.
7. Styp-Rekowski M.: Zagadnienia tribologiczne w budowie obrabiarek skrawających. Wydawnictwo ATR Bydgoszcz, 2004.
8. Zawora J., Nowicki B., Metrologia wielkości geometrycznych, Warszawa, 2001. ■



Rys. 8. Zależność zużycia elektrody roboczej Z_e od ciśnienia dielektryka p



Rys. 9. Zależność czasu drążenia t_d od czasu impulsu t_{on}



Rys. 10. Zależność czasu drążenia t_d od ciśnienia dielektryka p