



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

Wpływ przewodności cieplnej na wysokowydajną obróbkę elektroerozyjną

The effect of thermal conductivity at high performance Electrical Discharge Machining

ŁUKASZ SOSINOWSKI*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.12.543

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu przewodności cieplnej obrabianego materiału na wysokowydajną obróbkę elektroerozyjną. W badaniach uwzględniono trzy czynniki wejściowe: czas impulsu t_{on} , czas przerwy t_p oraz zmianę ciśnienia dielektryka p , przy ustalonych pozostałych parametrach obróbki EDM. Materiały o wysokiej i niskiej przewodności cieplnej obrabiano elektrodami rurkowymi jednokanalowymi wykonanymi z mosiądzu (Cu - Zn). Uzyskano wyniki liczbowe szeregu parametrów, charakteryzujących powierzchnię obrobioną, które pozwoliły na sformułowanie wniosków dotyczących obróbki tych materiałów.

SŁOWA KLUCZOWE: drażnienie elektroerozyjne, przewodność cieplna, prędkość drażnienia, elektrody rurkowe jednokanalowe.

The influence of thermal conductivity of machined material on high performance Electrical Discharge Machining was investigated in this paper. Three input factors, pulse time t_{on} , the interval time t_p and varying pressure of the dielectric p were considered, at the fixed values of others parameters of the Electrical Discharge Machining. Materials of high and low thermal conductivity were machined by single-channel tubular electrodes made of brass (Cu - Zn alloy). The numerical values of output parameters featuring the machined surface were obtained, which made it possible to formulate the guidelines for machining of these materials.

KEYWORDS: Electrical Discharge Machining, thermal conductivity, drilling speed, single-channel tubular electrodes.

Wprowadzenie

Zjawisko przepływu ciepła jest zjawiskiem powszechnie występującym w przyrodzie i odbywa się zawsze pomiędzy ciałami o różnych temperaturach. Jest ono realizowane trzema różnymi sposobami: poprzez przewodzenie, przemówanie ciepła drogą konwekcji i promieniowanie cieplne. Przewodzenie ciepła polega na przekazywaniu energii kinetycznej ruchu cząsteczek ciał stykających się bezpośrednio ze sobą lub na przekazywaniu energii między różnymi obszarami tego samego ciała. Przebiega ono zgodnie z prawem Fouriera, które określa gęstość przewodzonego strumienia ciepła, jako proporcjonalną do gradientu temperatury między stykającymi się obszarami. Przewodzenie ciepła polega zawsze na przekazywaniu energii między cząsteczkami ciała stałego, cieczy i gazów, spowodowanym różnicą temperatur. Przewodność cieplna rozpatrywanego ciała jest miarą jego zdolności przekazywania energii wewnętrznej. Liczbową miarą tej zdolności jest współczynnik przewodzenia ciepła λ . Jest to wielkość zależna od wielu różnych czynników: od struktury wewnętrznej ciała, jego gęstości, ciśnienia, temperatury i wilgotności. Przewodzenie ciepła odnosi się do ciał stałych, obejmując zarówno ich klasyczny i kwantowy model, przewodzenie sieciowe i przewodzenie elektronowe, a także do cieczy i gazów. Największe współczynniki przewodzenia ciepła mają metale. Ich przewodność cieplna maleje wraz ze wzrostem temperatury. Metale, które są najlepszymi przewodnikami ciepła, są równocześnie najlepszymi przewodnikami elektryczności [1].

Obróbka elektroerozyjna (EDM - Electrical Discharge Machining) opiera się na usuwaniu nadmiaru w wyniku erozji elektrycznej, która jest efektem wyładowań elektrycznych pomiędzy dwoma elektrodami oddzielonymi szczeliną międzyelektrodową wypełnioną dielektrykiem. Jedną elektrodę stanowi materiał obrabiany, a drugą elektroda robocza. Obie elektrody podłączone są do generatora prądu impulsowego. Erozja materiału możliwa jest przez zamianę energii elek-

* mgr inż. Łukasz Sosinowski (lukasz.sosinowski@wp.pl), Politechnika Warszawska

trycznej w energię cieplną w wyniku zachodzących wyładowań elektrycznych oraz niezależna jest od jego twardości, a siły występujące między narzędziem, a materiałem są znikome[2,3]. Podczas wiercenia elektroerozyjnego elektroda robocza pełni funkcję wiertła. Wykonuje ruch posuwowy oraz obrotowy. Do mikrowiercenia metodą elektroerozyjną stosowane są elektrody rurkowe oraz prętowe[4]. Adaptacja 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 w wyniku, którego następuje lokalny wzrost temperatury (rzędu od 8 000 – 12 000°C) prowadzący do topnienia i parowania w lokalnych warstwach powierzchniowych zarówno powierzchni przedmiotu obrabianego jak i elektrody roboczej. Wysoka temperatura towarzysząca procesowi, powodująca powstawanie tzw. strefy wpływu ciepła, obniża właściwości powierzchni po obróbce[5,6]. Widząc jak ważny wpływ ma temperatura na wysokowydajną obróbkę elektroerozyjną rodzi się pytanie jaki wpływ ma przewodność cieplna obrabianego materiału na ten proces? Praca ta ma na celu znalezienie odpowiedzi na postawione pytanie.

Metodyka badań doświadczalnych

Do badań wytypowano dwa materiały różniące się przewodnością cieplną. Stal OH18N9 o małej przewodności równej (15 W/mK) oraz stop aluminium PA4 o dużej przewodności równej (185W/mK). Badania doświadczalne procesu drążenia elektroerozyjnego prowadzono na obrabiarkie Charmilles Drill 20, widocznej na Rys. 1.



Rys. 1. Drążarka elektroerozyjna Drill 20 firmy +GF+ AgieCharmilles

Wykonano przelotowe otwory w płaskownikach o grubości 40 mm, wytworzonych z wcześniej wymienionych materiałów Rys. 2. Do tego celu użyto elektrod rurkowych, mosiężnych (Cu-Zn) o średnicy 1,5 mm. Jako dielektryk zastosowano wodę dejonizowaną, która była dostarczana do obszaru obróbki przez kanał w elektrodzie roboczej.



Rys. 2. a) Próbka ze stopu aluminium PA4 o przewodności cieplnej równej (185W/mK). b) Próbka ze stali .OH18N9 o przewodności cieplnej równej (15W/mK).

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

- t_{on} – czas impulsu (19 – 99 μ m),
- t_p – czas przerwy (19 – 99 μ m),
- p – ciśnienie dielektryka (1 – 8 bar).

Przyjęcie różnych parametrów obróbki umożliwiło przedstawienie wpływu wybranych czynników na dokładność i jakość otworów, a także na zużycie elektrody roboczej, czas drążenia i prędkość drążenia w materiałach o zróżnicowanej przewodności cieplnej. W tabeli (1) przedstawiono parametry obróbki z jakimi były realizowane badania.

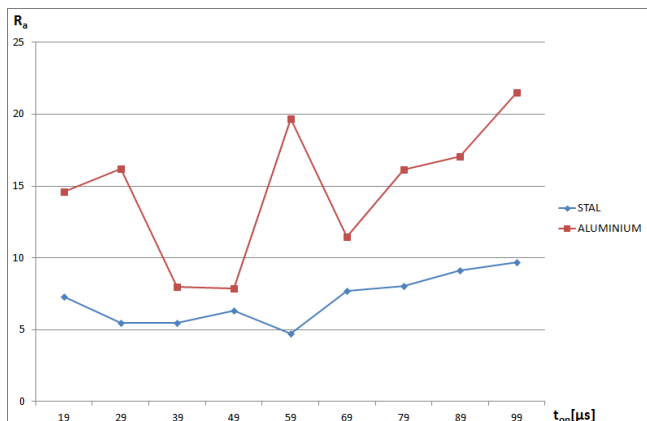
Tab. 1. Parametry obróbki realizowane w badaniu

Parametry wejściowe	
▪ czas impulsu t_{on} w przedziale	19 ~ 99 μ s
▪ czas przerwy między impulsami t_p	19 ~ 99 μ s
▪ ciśnienie dielektryka p	1 ~ 8 bar
Parametry wejściowe ustalone	
▪ napięcie wyładowania U	40 ~ 45 V
▪ amplituda natężenia prądu I	12 ~ 14 A
Parametry wyjściowe	
▪ zużycie elektrody Z_e	
▪ czas drążenia t_d	
▪ średnica wydrążonych otworów d	
▪ chropowatość powierzchni R_a, R_z	
▪ grubość szczeliny bocznej S_b	
▪ średnia prędkość drążenia V	

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

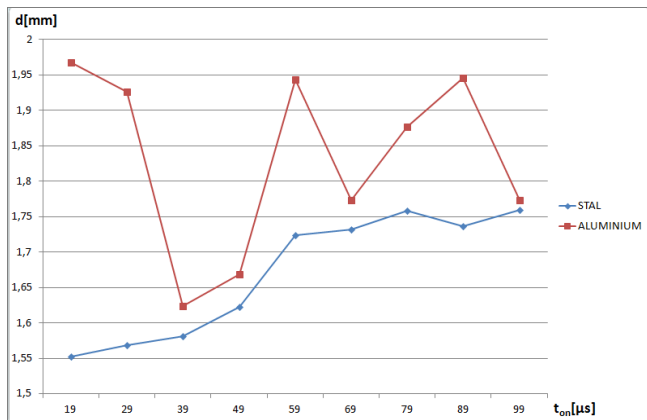
Analiza wyników

Analizując na podstawie uzyskanych wyników badań wpływ przewodności cieplnej obrabianych materiałów na wysokowydajną obróbkę elektroerozyjną można stwierdzić, że ma ona duże znaczenie w tym procesie i należy ją uwzględnić przy doborze parametrów technologicznych obróbki. Przy drążeniu w obydwu próbkach z tymi samymi parametrami materiał o małej przewodności cieplnej ma mniejszą chropowatość oraz uzyskiwana jest mniejsza wydajność obróbki. Natomiast zużycie elektrody roboczej i czas drążenia jest większy.



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

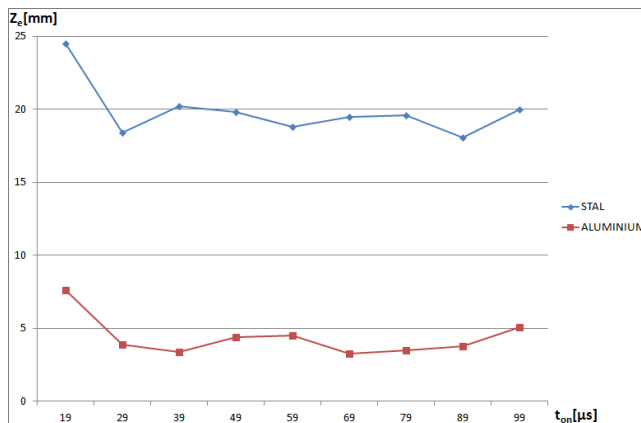
Wraz ze wzrostem czasu trwania impulsu t_{on} chropowatość powierzchni wzrasta. Przy tym samym czasie trwania impulsu chropowatość materiału o dużej przewodności cieplnej jest większa (Rys. 3).



Rys. 4. Zależność średnicy drążonego otworu d [mm] od czasu trwania impulsu t_{on} .

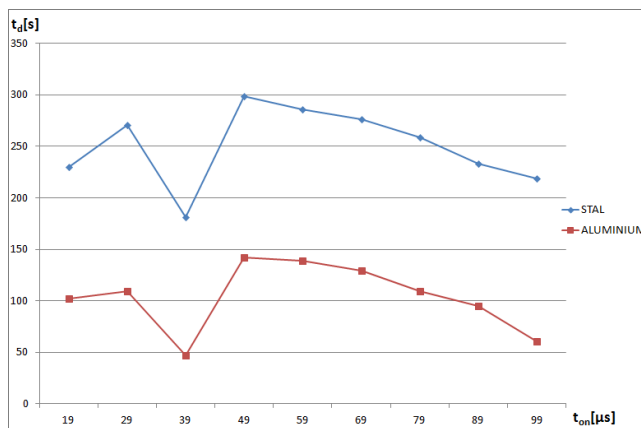
Średnica drążonych otworów d dla stali wzrasta przy wzroście czasu impulsu t_{on} , natomiast dla aluminium taka zależność nie występuje. Można jednak zaobserwować, że dla materiałów o małej przewodności cieplnej średnice wydrążonych otworów są mniejsze niż dla materiałów o dużej przewodności cieplnej. Przy krótkich czasach trwania impulsu t_{on} , różnice średnic drążonych otworów dla obydwu materiałów są duże (Rys. 4).

Zużycie elektrody roboczej Z_e przy obróbce aluminium jest mniejsze niż przy obróbce stali, jednak wraz ze zmianą czasu trwania impulsu t_{on} jest praktycznie niezmiennie w obydwu przypadkach. Można także zauważyć, że gdy czas trwania impulsu t_{on} jest równy czasowi trwania przerwy t_p zużycie elektrody roboczej Z_e gwałtownie rośnie (Rys. 5).



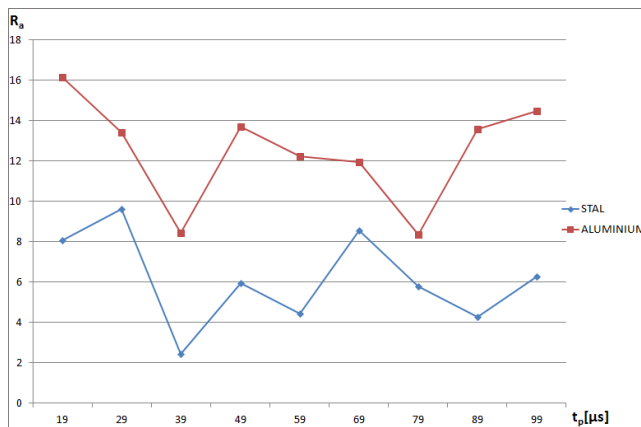
Rys. 5. Zależność zużycia elektrody roboczej Z_e od czasu trwania impulsu t_{on} .

Dla obydwu materiałów podczas wzrostu czasu trwania impulsu t_{on} czas drążenia t_d maleje, a gdy czas trwania impulsu t_{on} równy jest 39 μs to czas drążenia t_d znacznie spada. Przy obróbce stali czas drążenia t_d jest dłuższy, niż w przypadku aluminium (Rys. 6).

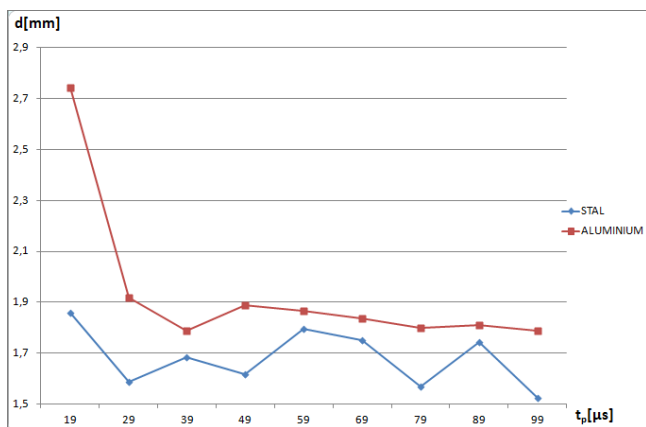


Rys. 6. Zależność czasu drążenia t_d od czasu trwania impulsu t_{on} .

Czas trwania przerwy t_p nie wpływa w znaczący sposób na chropowatość powierzchni. Widać, że jest ona mniejsza dla materiałów o małej przewodności cieplnej (Rys. 7).

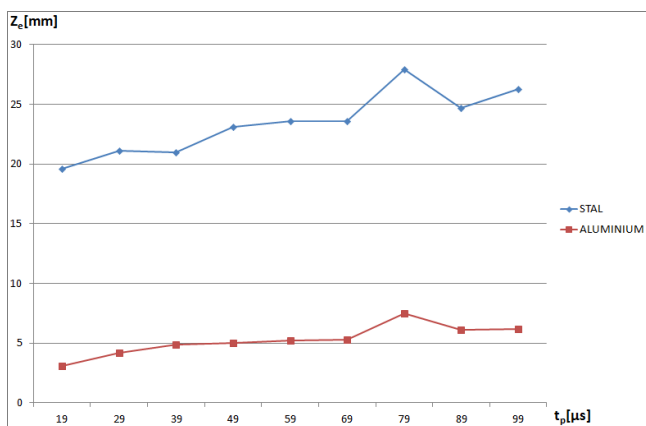


Rys. 7. Zależność parametru chropowatości R_a od czasu trwania przerwy t_p .



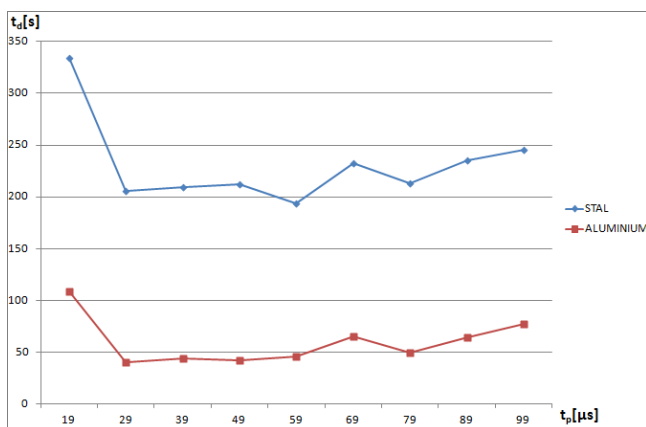
Rys. 8. Zależność średnicy drążonych otworów d od czasu trwania przerwy t_p .

Średnica drążonych otworów d zmniejsza się przy wzroście czasu trwania przerwy t_p . Tak samo jak w przypadku czasu trwania impulsu t_{on} średnica drążonych otworów d jest większa dla materiałów o dużej przewodności cieplnej (Rys. 8).



Rys. 9. Zależność zużycia elektrody roboczej Z_e czasu trwania przerwy t_p .

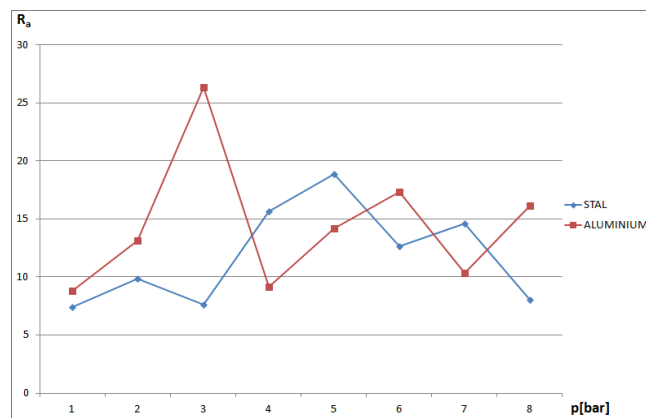
Na Rys. 9. widać, iż zużycie elektrody roboczej Z_e rośnie wraz ze wzrostem czasu trwania przerwy t_p . Można także zaobserwować, że przy czasie trwania przerwy t_p równym czasowi trwania impulsu t_{on} zużycie elektrody roboczej Z_e skokowo wzrasta.



Rys. 10. Zależność czasu drążenia t_d od czasu trwania przerwy t_p .

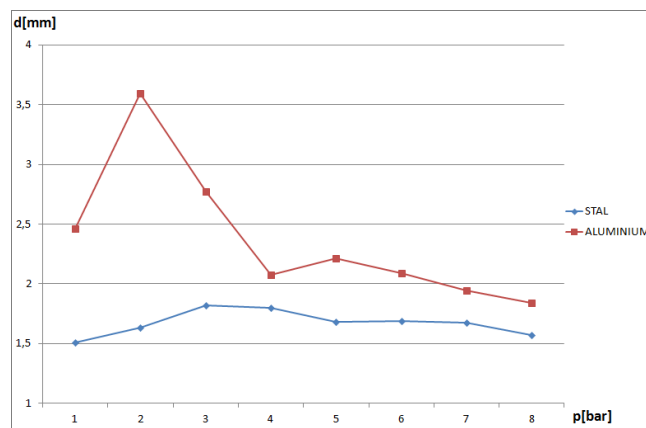
Czas drążenia t_d tak jak się można było spodziewać po analizie Rys. 6. wraz ze wzrostem czasu przerwy t_p rośnie.

Przy czasie trwania przerwy t_p równym $19 \mu s$, czas drążenia t_d gwałtownie rośnie dla obydwu materiałów (Rys. 10).

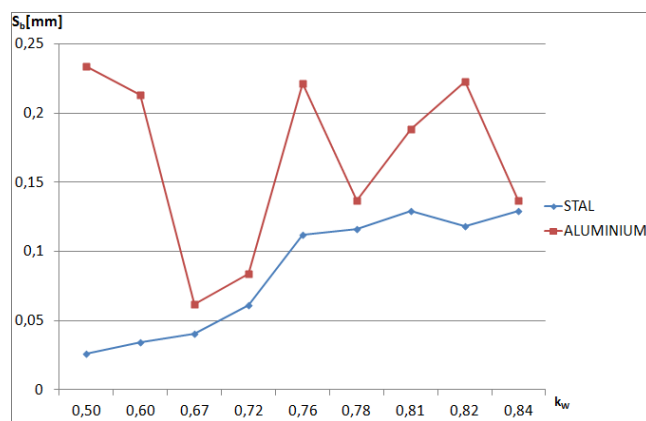


Rys. 11. Zależność parametru chropowatości R_a od ciśnienia dielektryka p .

Analizując wpływ ciśnienia dielektryka p na wybrane materiały podczas obróbki elektroerozyjnej można stwierdzić, że nie wpływa ono znacząco na chropowatość powierzchni po obróbce (Rys. 11). Na wykresie średnicy drążonego otworu d od ciśnienia dielektryka p (Rys.12.), można zauważyć, że powyżej 5 bar, wraz ze wzrostem ciśnienia p , średnica drążonych otworów d maleje. Wynika to z faktu, że przy wzroście ciśnienia p produkty obróbki są skuteczniej wyplukiwane, w związku z tym nie powstają wyładowania na ścianie bocznej elektrody.

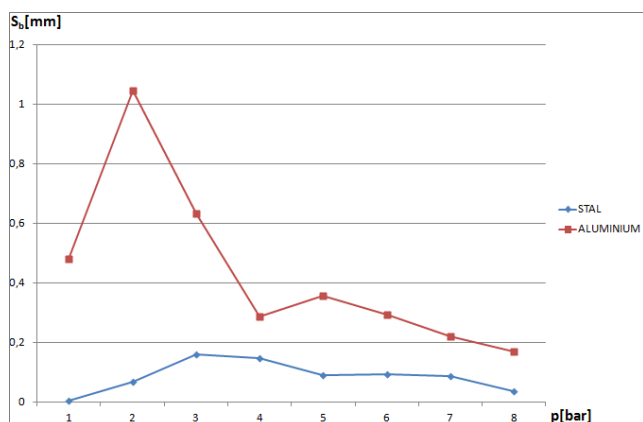


Rys. 12. Zależność średnicy drążonego otworu d od ciśnienia dielektryka p .



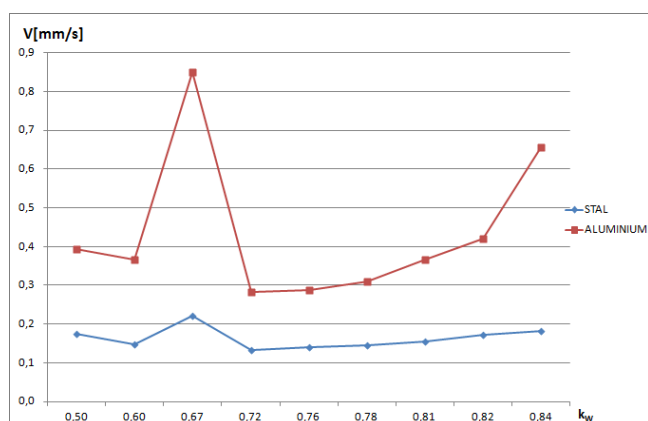
Rys. 13. Zależność szczeliny bocznej S_b od współczynnika wypełnienia impulsu k_w .

Dla stali wraz ze wzrostem współczynnika wypełnienia impulsu k_w szczelina boczna S_b wzrasta. Natomiast dla obu materiałów przy wzroście ciśnienia dielektryka p szczelina boczna S_b maleje. Przy tych samych wartościach współczynnika wypełnienia k_w oraz ciśnienia dielektryka p , w materiale o większej przewodności cieplnej występuje większa szczelina boczna S_b (Rys.13, Rys.14).



Rys. 14. Zależność szczeliny bocznej S_b od ciśnienia dielektryka p .

Analizując wykres prędkości drążenia V od współczynnika wypełnienia impulsu k_w (Rys. 15), można stwierdzić, że gdy współczynnik wypełnienia impulsu k_w jest większy od 0,7 to wraz z jego dalszym wzrostem wzrasta prędkość drążenia V . Przy tym samym współczynniku wypełnienia impulsu większa prędkość drążenia V występuje w materiałach o dużej przewodności cieplnej.



Rys. 15. Zależność prędkości drążenia V od współczynnika wypełnienia impulsu k_w .

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań wpływu przewodności cieplnej obrabianych materiałów na wysokowydajną obróbkę elektroerozyjną można sformułować następujące wnioski:

- przy tym samym współczynniku wypełnienia impulsu k_w , chropowatość po obróbce elektroerozyjnej materiału o dużej przewodności cieplnej jest większa od chropowatości materiału o małej przewodności cieplnej,
- stosując te same parametry technologiczne obróbki do obydwu materiałów, dla materiałów o małej przewodności cieplnej średnice wydrążonych otworów d są mniejsze niż dla materiałów o dużej przewodności cieplnej,

- podczas drążenia z jednakowymi parametrami, przy obróbce stali czas drążenia t_d jest dłuższy w porównaniu do obróbki aluminium,
- zużycie elektrody roboczej Z_e przy obróbce aluminium jest mniejsze niż przy obróbce stali, gdy stosujemy te same parametry technologiczne obróbki,
- gdy wzrasta czas trwania impulsu t_{on} , chropowatość drążonych otworów także wzrasta,
- chropowatość powierzchni w niewielkim stopniu zależy od czasu trwania przerwy t_p oraz ciśnienia dielektryka p ,
- średnica drążonych otworów d zmniejsza się gdy rośnie czas trwania przerwy t_p ,
- przy wzroście ciśnienia dielektryka p maleje średnica drążonych otworów d ,
- gdy rośnie czas trwania impulsu t_{on} to skraca się czas drążenia t_d ,
- kiedy czas trwania przerwy t_p jest większy bądź równy czasowi trwania impulsu t_{on} , zużycie elektrody Z_e gwałtownie wzrasta,
- wraz ze wzrostem czasu trwania przerwy t_p wzrasta czas drążenia t_d ,
- zużycie elektrody Z_e rośnie gdy zwiększa się czas trwania przerwy t_p .

LITERATURA

1. Bejan A., Heat Transfer, Wiley, New York, 1993.
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.