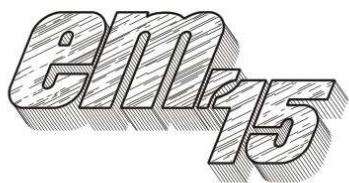


XII Międzynarodowa Konferencja - Electromachining 2015



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

OBRÓBKA ELEKTROEROZYJNA KOMPOZYTÓW Ni₃Al-TiC

ELECTRODISCHARGE MACHINING OF Ni₃Al - TiC COMPOSITES

DIONIZY BIAŁO¹
JAN PEROŃCZYK²
ROY DANIELS³
JUREK DUSZCZYK⁴

Obróbce elektroerozyjnej WEDM poddano materiały kompozytowe z intermetaliczną osnową Ni₃Al i fazą zbrojącą TiC w ilości 0, 10, 20, 30% obj. wytworzone w procesie metalurgii proszków. Jako parametry obróbki przyjęto czas impulsu t_i i napięcie w impulsie U . W funkcji tych parametrów oceniano wydajność obróbki V_w , topografię i chropowatość powierzchni oraz stan tzw. warstwy białej.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka elektroerozyjna, kompozyty, fazy intermetaliczne, cząstki TiC.

Composites with intermetallic matrix Ni₃Al reinforced with 0, 10, 20, 30% vol. TiC were wire electro discharge machined (WEDM). Materials were manufactured by powder metallurgy (P/M) using hot isostatic pressing (HIP). Material remove rate V_w , surface topography and roughness, white layer were investigated as a function of machining parameters (pulse time t_i and load voltage U).

KEYWORDS: electro discharge machining, composites, intermetallic phase, TiC particles.

1. WSTĘP

Na narzędzia do wyciskania metali na gorąco (ekstruzji) stosowane są różne materiały wśród których znaczącą grupę stanowią stale do pracy na gorąco i węgliki spiekane [1].

Matryce do wyciskania na gorąco pracują w warunkach dużych nacisków i w wysokiej temperaturze. Muszą więc spełniać szereg wymagań z których najważniejsze to: duża wytrzymałość i twardość, odporność na zużycie i odporność na pękanie na gorąco. Wymagania te stale rosną, szczególnie gdy wyciskaniu poddawane są nowe materiały np. spe-

cialne stopy lub materiały o strukturze kompozytowej.

Prezentowana praca dotyczy nowej grupy materiałów na narzędzia do pracy na gorąco. Są to kompozyty zawierające intermetaliczną osnowę Ni₃Al i fazę zbrojącą w postaci cząstek TiC. Te kompozyty zostały wytworzone w procesie metalurgii proszków.

Jak wiadomo materiały kompozytowe w porównaniu z materiałami tradycyjnymi posiadają korzystniejsze właściwości z których najważniejsze to: większa wytrzymałość i twardość, większy moduł sprężystości i odporność na zużycie [2].

Tradycyjnie, matryce do wyciskania wytwarzane są sposobami obróbki mechanicznej przez frezowanie, wiercenie, cięcie, szlifowanie, polerowanie itp.

Obróbka mechaniczna kompozytów wiąże się jednak z szeregiem trudności [3, 4]. Zasadnicza trudność wynika z obecności w ich osnowie twardych cząstek ceramicznych (stanowiących fazę umacniającą w tych kompozytach) - powodują one intensywne zużywanie narzędzi, nawet tych wykonanych z węglików spiekanych.

Jedną z bardziej obiecujących metod obróbki matryc wytwarzanych z materiałów kompozytowych (zwłaszcza o złożonych powierzchniach zarysów wewnętrznych) jest obróbka elektroerozyjna EDM (drażeniem) czy WEDM (wycinania drutem) [5-8]. Wybór właściwego procesu usuwania materiału przy wytwarzaniu matryc jest podyktowany m.in. uzyskiwaną jakością powierzchni i warstwy podpowierzchniowej, czyli ogólnie mówiąc uzyskiwaną jakością warstwy wierzchniej (WW). Np. występowanie mikropęknięć w WW i obecność w WW dużych naprężeń wewnętrznych może spowodować nawet 10-cio krotne skrócenie okresu trwałości w porównaniu do trwałości matrycy z powierzchniami prawidłowo wykończonymi. Obróbka WEDM pozwala na uzyskanie dobrych powierzchni i odpowiednich właściwości

¹dr hab. inż. Dionizy Biało, dbiablo@mchtr.pw.edu.pl

²dr inż. Jan Perończyk, jperon@meil.pw.edu.pl

³mgr inż. Roy Daniels, roy.daniels@ai-groupip.com

⁴prof. dr inż. Jurek Duszczyk, jurekduszczyk@gmail.com

WW. Problemem przy cięciu drutem (WEDM) są: relatywnie małe prędkości cięcia (wydajność obróbki) i powstawanie niepożądanego tzw. warstwy białej [9] na obrabianej powierzchni. W przeprowadzonych badaniach, próbowano określić najlepsze parametry procesu WEDM przy obróbce omawianych kompozytów.

W pracy przytoczono wyniki badań wpływu t_i (czasu trwania impulsu), oraz napięcia U na: V_w (wydajność obróbki), R_a (chropowatość powierzchni obrabianej), oraz grubość tzw. "warstwy białej".

2. MATERIAŁY

W badaniach wykorzystano kompozyty na osnowie Ni_3Al z fazą zbrojącą w postaci cząstek TiC o przeciętnej ziarnistości $6 \mu m$ w ilości 0, 10, 20 i 30% obj. Skład i rozkład ziarnowy proszków Ni_3Al przedstawiono w tablicach 1 i 2.

Tab. 1. Skład chemiczny proszków Ni_3Al , %

Skład	Al	Cr	Zr	B	Si	Ni
Nominalny	8,30	7,40	0,90	0,03	0	reszta
Z analizy	8,32	7,41	0,94	0,03	0,008	reszta

Tab. 2. Wielkość i rozkład ziarnowy cząstek proszku Ni_3Al , μm

Nominalny	Z analizy		
	D_{10}	D_{50}	D_{90}
<100 μm	15,18	40,51	72,10

Proszek osnowy Ni_3Al był otrzymywany przez rozpylenie ciekłego materiału gazem obojętnym – argonem.

Kompozyty wytwarzano w procesie obejmującym następujące operacje:

- mieszanie proszków Ni_3Al i TiC w mieszalniku planetarnym przez 60 minut,
- napełnianie cienkościennych stalowych pojemników uzyskaną mieszanką, utrząsanie, odpowietrzanie i zamykanie,
- prasowanie izostatyczne na gorąco przy ciśnieniu 100 MPa w temperaturze 1250°C przez 2 godz.,
- usuwanie otoczki stalowej z zagęszczonej kształtki kompozytowej przez toczenie.

Próbki z materiału osnowy otrzymywano w takim samym procesie HIP.

Gęstość próbek odpowiadała 100% gęstości teoretycznej materiałów.

Strukturę próbek oceniano na zglądach metalograficznych polerowanych pastą diamentową o ziarnistości $3 \mu m$ i $1 \mu m$. Próbki trawiono mieszaniną kwasu azotowego, kwasu solnego, glicerolu i kwasu octowego (w proporcji 30:40:10:20) przez 5 sekund. Obserwacje mikroskopowe przeprowadzono przy zastosowaniu mikroskopu optycznego OLYMPUS 6 MP.

Do obserwacji topografii powierzchni po WEDM stosowano elektronowy mikroskop skaningowy PHILIPS XL20.

3. OBRÓBKA ELEKTROEROZYJNA

Obróbkę elektroerozyjną próbek realizowano w firmie Adex BV (Venlo, Holandia) w procesie cięcia (WEDM) na obrabiarkę Fanuc Robcut α -1B wyposażonej w generator relaksacyjny RC. Dielektrykiem była woda demineralizowana i dejonizowana. Narzędziem stanowił drut mosiężny Superbrass 900 średnicy 0,25 mm i nominalnym składzie 63% Cu i 37% Zn produkowany przez firmę Intech EDM.

Stosowane w badaniach parametry procesu WEDM podano w tablicy 3.

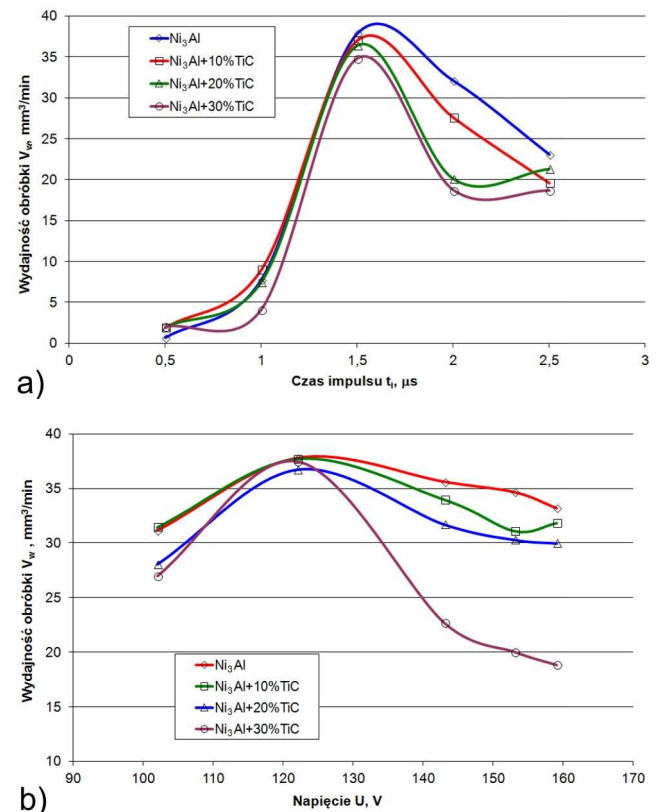
Tab. 3. Parametry obróbki WEDM

Nastawa	2	4	6	8	10
Napięcie U	102 V	122 V	143 V	153 V	159 V
Czas impulsu t_i	0,5 μs	1 μs	1,5 μs	2 μs	2,5 μs

4. WYNIKI BADAŃ

■ Wydajność obróbki WEDM

Intensywność usuwania materiału kompozytowego w procesie cięcia WEDM oceniano ilością usuniętego materiału w jednostce czasu i określano jako wydajność obróbki V_w (mm^3/min). Na rysunkach 1a i 1b przedstawiono wpływ czasu trwania impulsu t_i i wartości napięcia roboczego U na wydajność obróbki dla materiału samej osnowy Ni_3Al i kompozytów z cząstkami TiC.



Rys. 1. Wydajność obróbki V_w w funkcji: a) czasu trwania impulsu t_i , b) napięcia U

V_w (dla ustalonego napięcia U) wraz ze wzrostem t_i najpierw rośnie. Dla $t_i = 1,5 \mu s$, osiąga wartości największe a następnie spada - co dobrze jest widoczne na rys. 1a. Tak więc występuje wyraźne optimum wydajności obróbki (a także prędkości cięcia) dla określonego czasu impulsu t_i . Podobne optimum obserwuje się dla zależności V_w od napięcia roboczego. Przykład takiej zależności przedstawiono na rys. 1b. Dla $t_i = 1,5 \mu s$, największą wydajność obróbki uzyskano dla $U = 122 V$.

Wraz ze wzrostem zawartości fazy zbrojącej w kompozytach wydajność obróbki V_w zmniejsza się. Tą zależność można uzasadnić kilkoma przyczynami. Po pierwsze cząstki ceramiczne mają dużą odporność termiczną. W efekcie utrudniają topienie i parowanie osnowy co jak wiadomo stanowi główny mechanizm usuwania materiału podczas obróbki elektroerozyjnej. Po wtóre cząstki ceramiczne nie topią się a ich usuwanie podczas obróbki polega na ich wyrzuceniu z osnowy a także na pękaniu [7] w wyniku szoków termicznych. Należy dodać, że w innych pracach autorów nad EDM kompozytów aluminiowych z cząstkami ceramicznymi [9] obserwowano podobne zjawiska.

Wystające z powierzchni obrabianej cząstki ceramiczne ułatwiają przepłukiwanie szczeliny iskrowej przez dielektryk tylko wtedy, gdy zapewniony jest intensywny przepływ dielektryka. W innym przypadku, cząstki TiC zatrzymują drobiny roztopionej osnowy na powierzchni, tworząc tzw. mostki przewodzące pomiędzy elektrodami - co powoduje zakłócenia wyładowań a w efekcie mniej skuteczną obróbkę. Dlatego też prawidłowe płukanie szczeliny międzyelektrodowej, jest bardzo ważne dla osiągnięcia sukcesu w EDM kompozytów.

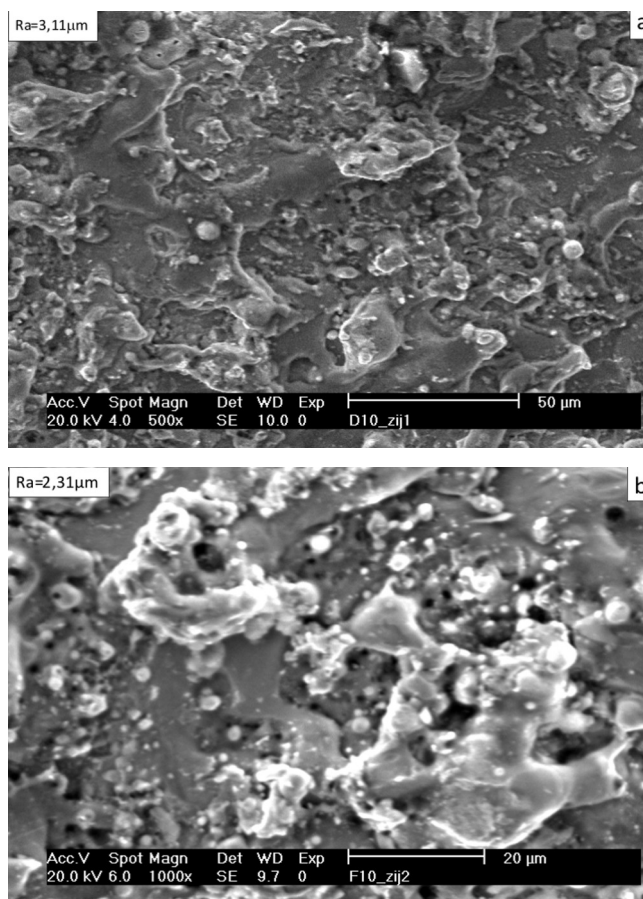
■ Topografia powierzchni

Powierzchnia próbek po WEDM ma niejednorodną strukturę spowodowaną charakterem elektrycznych wyładowań występujących w szczelinie roboczej pomiędzy elektrodą i obrabianym materiałem. Jak wiadomo, przy każdym wyładowaniu na powierzchni obrabianego materiału powstaje krater po usuniętym materiale. Jego rozmiary tj. szerokość i głębokość są wprost zależne od energii pojedynczego impulsu, ta zaś jest wprost proporcjonalna do czasu trwania impulsu t_i i napięcia w impulsie U . Sam obraz powierzchni jest sumą elementarnych kraterów obserwowaną jako różnorodne wgłębienia z nadtopieniami materiału.

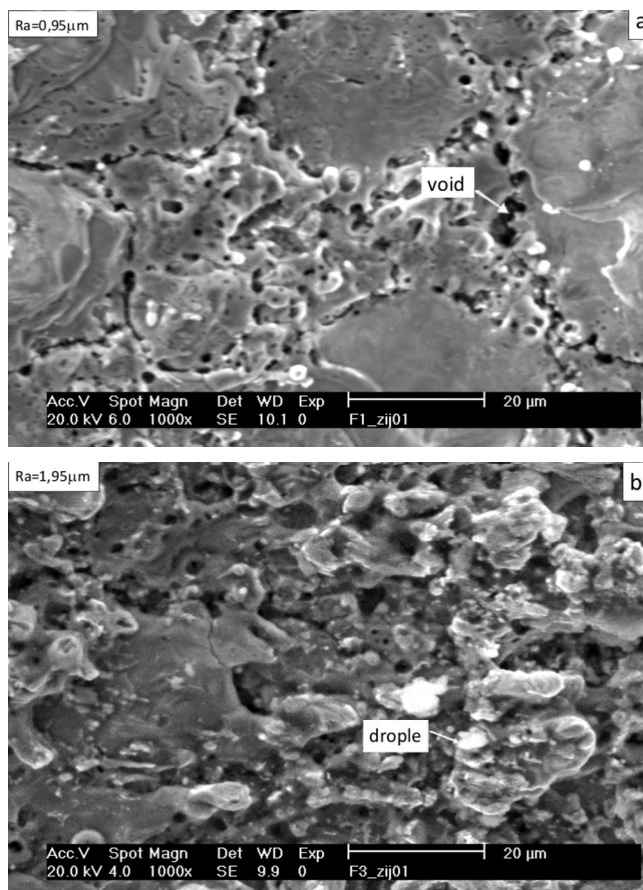
Na rys. 2 i 3 przedstawiono przykłady obrazów powierzchni osnowy i kompozytu z 20% zawartością cząstek TiC.

Porównanie powierzchni próbek osnowy i kompozytu - rys.2 pozwala stwierdzić, że w tych samych warunkach obróbki - t_i i U , na powierzchni próbek osnowy występują większe wgłębienia świadczące o skuteczniejszym usuwaniu materiału. Odpowiada to zależnościom przedstawionym na rys. 1.

Obrazy powierzchni pokazane na rys. 3 dotyczą wpływa czasu trwania impulsu t_i przy ustalonej wartości napięcia 122 V. Im większe jest t_i tym powierzchnia jest bardziej chropowata. Odnotowano także wpływ wartości napięcia na topografię powierzchni po WEDM. Przy rosnącym napięciu (i ustalonym t_i) wgłębienia na powierzchni kompozytu są bardziej rozległe i płytsze.



Rys. 2. Topografia SEM powierzchni: a) osnowy Ni₃Al, b) kompozytu Ni₃Al-20%TiC po WEDM przy $t_i = 1,5 \mu s$ i $U = 159 V$



Rys. 3. Topografia SEM powierzchni kompozytu Ni₃Al-20%TiC po WEDM przy: a) $t_i = 0,5 \mu s$, $U = 122 V$, b) $t_i = 1,5 \mu s$, $U = 122 V$

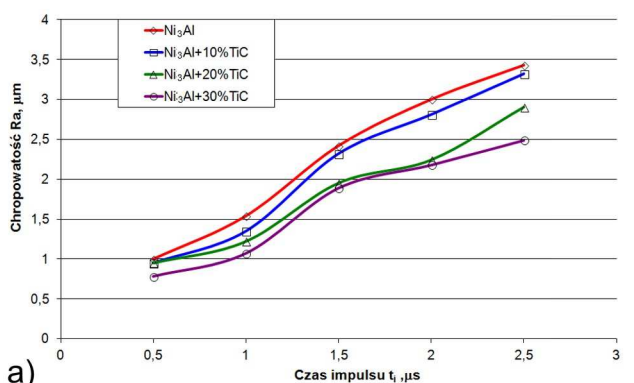
Warto zauważyć, że na powierzchniach po obróbce elektroerozyjnej występują sporadycznie drobne pęknięcia, pustki i zastęgle kropelki stopionego materiału osnowy. Jest to charakterystyczne dla tego rodzaju obróbki. Ich ilość zmniejsza się ze wzrostem zawartości cząstek TiC w kompozycie. Pęknięcia na powierzchni częściej występują w kompozytach niż w próbkach samej osnowy. Jest to spowodowane znaczną różnicą w wartości współczynnika rozszerzalności cieplnej Ni_3Al i TiC (odpowiednio $12,5 \times 10^{-6} K^{-1}$ i $7,4 \times 10^{-6} K^{-1}$).

■ Chropowatość powierzchni

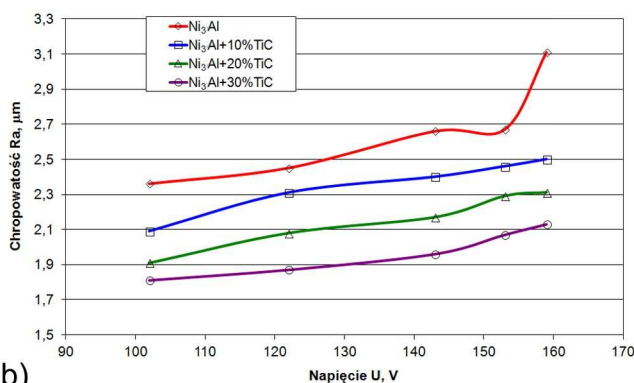
Chropowatość powierzchni oceniano za pomocą aparatu Taylor-Hobson typu Surtronic 3P.

Do oceny przyjęto parametry chropowatości Ra i Rymax.

Na rys. 4 przedstawiono wybrane wyniki pomiarów parametru chropowatości Ra w funkcji: czasu trwania impulsu t_i (rys. 4a) i napięcia w impulsie U (rys. 4b).



a)



b)

Rys. 4. Chropowatość powierzchni po WEDM: a) w funkcji t_i przy $U=122$ V, b) w funkcji U przy $t_i=1,5$ μs

Wyniki potwierdziły oczekiwania, że istnieje ścisły związek pomiędzy chropowatością Ra, wydajnością obróbki V_w i topografią powierzchni. Największą chropowatość wykazują próbki z materiału osnowy Ni_3Al dla której obserwowano najskuteczniejsze usuwanie materiału. Z kolei na chropowatość wpływ także obecność fazy zbrojącej TiC w kompozytach. Im większa była zawartość tych cząstek tym mniejsze było V_w i mierzono mniejsze wartości Ra powierzchni. Ponadto istnieje przypuszczenie, że odrywane z powierzchni obrabianego kompozytu cząstki TiC i ich fragmenty porywane przez przepływający z dużą prędkością w szczelinie roboczej dielektryk mogą oddziaływać wygładzająco (polegująco) na powierzchnię kompozytu.

■ Warstwa biała

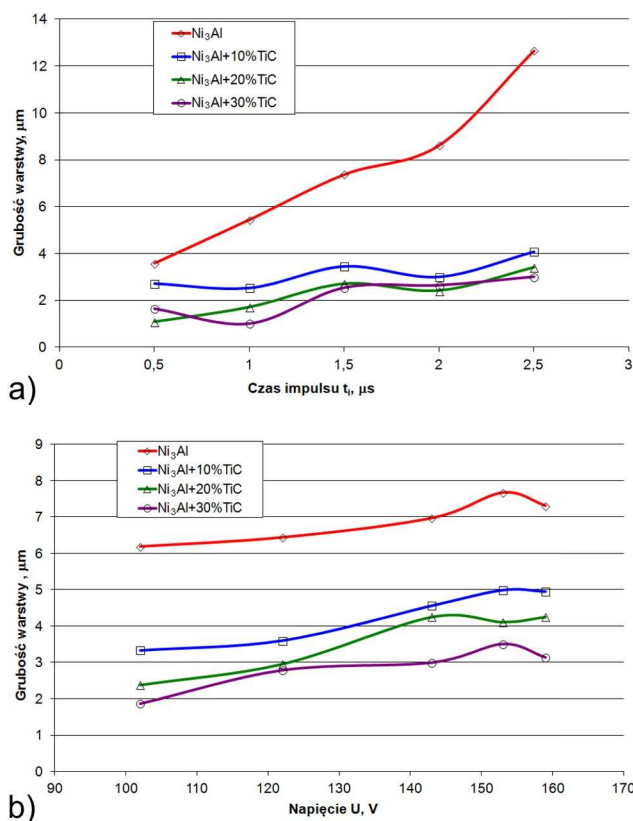
Podczas elektrycznych wyładowań w obróbce elektroerozyjnej, w obszarze kanału plazmowego, występuje lokalnie bardzo wysoka temperatura i wysokie ciśnienie. Występuje omówione wcześniej zjawisko gwałtownego topienia, parowania i sublimacji oraz usuwania cząstek materiału obrabianego. Część stopionego materiału pozostaje na powierzchni, jest gwałtownie studzona przez dielektryk i relatywnie chłodniejsze podłoże. W efekcie występują znaczne zmiany w strukturze metalograficznej a ściślej w jej warstwie wierzchniej. Tę warstwę przyjęto nazywać „warstwą białą” [9].

Na rys. 5 pokazano dwa wybrane zglądy metalograficzne z zaznaczoną warstwą białą. Pierwszy dotyczy materiału samej osnowy Ni_3Al , drugi kompozytu $Ni_3Al-20\%TiC$.



Rys. 5. Mikrostruktura próbek z uwidocznioną warstwą białą: a) materiał osnowy Ni_3Al ($t_i=1,5$ μs , $U=159$ V), b) kompozyt $Ni_3Al-20\%TiC$ ($t_i=1,5$ μs , $U=122$ V)

Warstwa ma zmienną grubość. Dlatego dokonywano wielu pomiarów i obliczano średnią. Przykład takich działań jest zaznaczony na rys. 5a gdzie oznaczono cyframi kolejne miejsca pomiaru grubości.



Rys. 6. Grubość warstwy białej: a) w funkcji t_i przy $U = 122 \text{ V}$, b) w funkcji U przy $t_i = 1,5 \mu\text{s}$

Zależność grubości warstwy białej od czasu impulsu i napięcia w impulsie zaprezentowano na rys. 6. Z rys. 6a wynika, że grubość warstwy białej wzrasta ze wzrostem t_i i że kompozyty mają tę warstwę wyraźnie cieńszą niż materiał osnowy Ni_3Al . W oparciu o dane z rys. 6b można także stwierdzić, że grubość warstwy białej jest największa dla najwyższej wartości zastosowanego napięcia U , czyli 159 V . Iloczyn t_i i U świadczy o poziomie energii w impulsie. Dłuższe działanie impulsu i większa energia to dłuższe oddziaływanie cieplne na materiał, a w efekcie grubsza warstwa biała.

Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników obróbki elektroerozyjnej kompozytów z intermetaliczną osnową Ni_3Al i z cząstkami zbrojącymi TiC można stwierdzić, że:

- wydajność obróbki V_w rośnie wraz ze wzrostem czasu trwania impulsu do pewnej wartości ($1,5 \mu\text{s}$), a następnie spada. Podobny pik V_w występuje dla napięcia w impulsie ok. 122 V ,
- chropowatość powierzchni R_a wzrasta zarówno ze wzrostem t_i jak i U . Wzrasta wtedy energia wyładowań i rozmiary kraterów na obrabianej powierzchni,
- obecność cząstek zbrojenia TiC wpływa na obniżenie V_w i R_a i jest tym skuteczniejsza im większa jest zawartość zbrojenia w osnowie kompozytu. Dla próbek bez zbrojenia (osnowy) V_w i R_a są największe,
- grubość warstwy zmienionej (białej) jest także zależna od rodzaju kompozytu i warunków obróbki. Jest najgrubsza dla próbek materiału osnowy i dla obróbki przy największej wartości t_i i U .

LITERATURA

1. Bauser M, Sauer G, Siegert K, Extrusion, Wyd. ASM International, Materials Park, Ohio, 2006
2. Sobczak J., Kompozyty metalowe. Wyd. Instytut Odlewnictwa i Instytut Transportu Samochodowego, Kraków – Warszawa, 2008.
3. Grzesik W., Podstawy Skrawania materiałów metalowych, WNT, Warszawa 2010
4. Bednarski P., Biało D., Brostow W., Czechowski K., Polowski W., Rusek P., Toboła D., Improvement of Tribological Properties in Metal Matrix Composites by Means of Slide Burnishing, Materials Science (Medziagotyra), 4, 367-372, 19, 2013.
5. Perończyk J., Obróbka elektroerozyjna kompozytów na osnowie metalowej i ceramiki technicznej, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji, Warszawa, 2008.
6. Perończyk J., Biało D., Pracki M., Wiśniewski W.: Wpływ parametrów obróbki elektroerozyjnej kompozytu $\text{AlSi7Mg}/20\% \text{Al}_2\text{O}_3$ na jego charakterystyki technologiczne. Inżynieria Maszyn, 1, 86-93, 12, 2009,
7. Perończyk J., Biało D., Pracki M., Wiśniewski W.: Stan warstwy wierzchniej kompozytu $\text{AlSi7Mg}/20\% \text{Al}_2\text{O}_3$ po obróbce elektroerozyjnej. Inżynieria Maszyn, 1, 77-85, 12, 2009.
8. Duszczyk J., Biało D., Perończyk J., Daniels R., Electro-discharge Machining of type H13 Tool Steel Titanium Carbide Composites, Composites, Theory and Practice, 1, 8-12, 14, 2014.
9. Kurth J. P., van Humbek J., Stevens L., Mikrostruktural Investigation and Metalographic Analysis of the White Layer of a Surface Machined by Electro Discharge Machining.