https://doi.org/10.62753/ctp.2001.21.2.2

Jan Perończyk[1]
Politechnika Warszawska, Instytut Technologii Maszyn, al. Niepodległości 222, 00-663 Warszawa
Dionizy Biało[2]
Politechnika Warszawska, Instytut Inżynierii Precyzyjnej i Biomedycznej, ul. Chodkiewicza 8, 02-525 Warszawa

WYBRANE PROBLEMY OBRÓBKI ELEKTROEROZYJNEJ KOMPOZYTÓW ALUMINIOWYCH

Przedmiotem badań jest materiał kompozytowy zawierający aluminiową osnowę 6061 i fazę zbrojącą Al_2O_3 w ilości 20% obj. Kompozyt wytworzono metodami metalurgii proszków. Przedstawiono wyniki badań wstępnych obróbki elektroerozyjnej (EDM), w szczególności procesów przecinania i drążenia. Wykazano, że taka obróbka może stanowić alternatywny dla obróbki skrawaniem, a czasem bezkonkurencyjny proces kształtowania wyrobów kompozytowych. Obróbka EDM kompozytów przebiega trudniej niż materiałów jednorodnych pozbawionych zbrojenia. Obecność twardych i odpornych termicznie cząstek zbrojenia, a ponadto nieprzewodzących prądu elektrycznego wpływa na zmniejszenie prędkości (wydajności) obróbki, wpływa także na większe zużycie elektrod roboczych podczas obróbki.

SELECTED PROBLEMS OF ELECTRODISCHARGE MACHINING OF ALUMINUM MATRIX COMPOSITES

The preliminary research on electrodischarge machining (EDM) of the composite consisting of aluminum alloy matrix 6061 type and of 20 vol. % ceramic Al_2O_3 reinforcement is presented. The composite was manufactured by the powder metallurgy route using hot extrusion process. Test of EDM cutting with wire electrode and EDM hole drilling were conducted on the composite material and on the matrix material for comparison. It was noticed that velocity (productivity) of composite cutting was nearly 7-times less than of the material without reinforcements. Besides EDM composite cutting is running less stable.

During EDM hole drilling, cooper electrode with 0.5 mm diameter was used. The following parameters of EDM process were determined: running drilling speed V_{sr}, linear wear electrode coefficient ϑ_L and hole enlargement $2S_b$. It was presented that hard and thermal resistant particles of reinforcement in composite influence on significant decreasing of the productivity (velocity) of EDM drilling. Concurrently, the wear of holing during EDM process of composite is much higher than that of EDM process of the matrix materials (without reinforcements).

WPROWADZENIE

Kompozyty o osnowach metalowych należą do materiałów trudnych do kształtowania technikami obróbki skrawaniem [1-3]. Główną trudność powoduje obecność w ich osnowie twardych, najczęściej ceramicznych, cząstek fazy zbrojącej: tlenków, azotków, węglików itd. Powodują one intensywne zużywanie narzędzi skrawających. Ponadto wprowadzają one nieciągłości w strukturze i w efekcie ostrze skrawające jest poddawane złożonym zjawiskom dynamicznym przy przechodzeniu przez granicę fazową na styku cząstka-osnowa, co objawia się chwilowymi pikami sił skrawania. Ostrze skrawające łatwiej ulega zmęczeniowemu wykruszaniu niż przy obróbce materiałów jednorodnych.

W procesie wytwarzania wyrobów kompozytowych obróbka skrawaniem pozostaje nadal nieodzowna, szczególnie w operacjach końcowych, przesądzających o dokładności kształtów i wymiarów. Np. w tłoku silnika spalinowego wytworzonego z kompozytu aluminiowego przez odlewanie czy kucie spiekanego półfabrykatu takiej obróbki wymagają: otwór sworznia, rowki tłokowe itd.

Do obróbki skrawaniem kompozytów metalowych zaleca się zazwyczaj narzędzia z węglików spiekanych czy specjalnych gatunków ceramiki. Mają one jednak ograniczoną trwałość. Stosunkowo efektywne jest skrawanie narzędziami z polikrystalicznego diamentu, ale materiał ten nie może być wykorzystany na ostrza wszystkich narzędzi skrawających, np. wierteł o małych średnicach, cienkich frezów tarczowych itd.

Alternatywę dla obróbki skrawaniem kompozytów stanowi obróbka elektroerozyjna (EDM) we wszystkich swoich odmianach, tj. drążenie kształtowe wgłębień, drążenie otworów, przecinanie drutem (WEDM), mikrodrążenie (μEDM), szlifowanie, polerowanie.

Prezentowana praca dotyczy obróbki EDM wybranego kompozytu o osnowie aluminiowej zbrojonego cząstkami Al_2O_3. Przeprowadzono próby wstępne przecinania i drążenia EDM. Dla porównania przedsta-

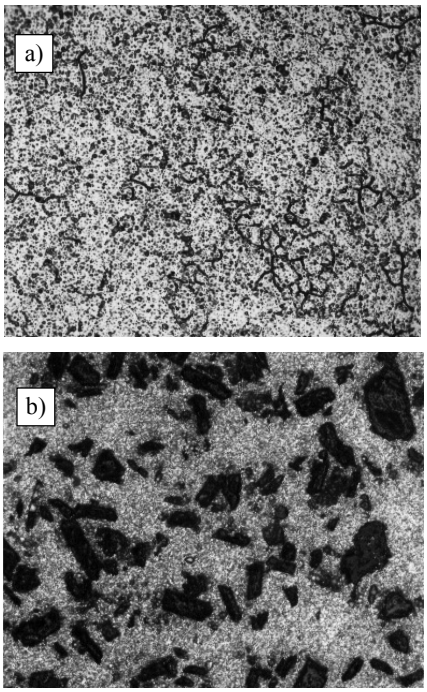
[1] mgr inż., [2] dr inż.

wiono wyniki obróbki EDM niezbrojonej osnowy kompozytu.

MATERIAŁ KOMPOZYTOWY

Do wytworzenia materiału kompozytowego użyto proszku ze stopu aluminium o symbolu 6061 i proszku tlenku glinu. Proszek 6061 stanowiący materiał osnowy kompozytu zawierał: Al+1,1%Mg+0,6%Si+0,5%Fe+ +(Cu, Cr, Zn, Ti razem) 0,45%. Proszek wytworzony został metodą rozpylania ciekłego metalu argonem. Proszek miał cząstki o nieregularnym obłym kształcie i przeciętnej ziarnistości ok. 50 μm. Proszek Al_2O_3 stanowiący fazę zbrojącą kompozytu miał cząstki o nieregularnym kształcie z ostrymi narożami i krawędziami oraz ziarnistości 22÷36 μm.

Proces wytworzenia kompozytu [4] obejmował następujące etapy:
- mieszanie odważonych porcji proszku osnowy i proszku Al_2O_3,
- prasowanie matrycowe cylindrycznych kształtek przy ciśnieniu 150 MPa do gęstości względnej 82÷86%,
- spiekanie kształtek z odgazowaniem w piecu muflowym w temperaturze 590°C w czasie 1 godziny w atmosferze przepływającego azotu,
- wyciskanie (ekstruzja) na gorąco w temperaturze 450°C, przy stopniu redukcji 1:20 i prędkości wyciskania 3 m/min.



Rys. 1. Zgłady metalograficzne osnowy: a) 6061, b) kompozytu 6061/20% Al_2O_3, pow. 250x

Fig. 1. Microstructures of the 6061 matrix material (a) and composite 6061/20% Al_2O_3 (b), magn. 250x

Na rysunku 1 przedstawiono zgłady metalograficzne materiału osnowy i otrzymanego kompozytu. Kompozyt zawiera 20% obj. fazy zbrojącej. Jak widać, proces wytwórczy kompozytu przez ekstruzję na gorąco zapewnia otrzymanie struktury o pełnym, 100% zagęszczeniu i dość równomiernym rozproszeniu zbrojenia w osnowie.

PRZECINANIE ELEKTROEROZYJNE

Przecinanie EDM prowadzono na obrabiarce firmy Charmilles typu 290P. Jako narzędzie zastosowano drut mosiężny o średnicy 0,25 mm, jako dielektryk - wodę destylowaną i dejonizowaną.
Parametry obróbki:
- amplituda napięcia - 80 V,
- amplituda prądu - 8 A,
- czas trwania impulsu - 1,2 μs,
- czas przerwy impulsu - 4,1 μs.

Przecinano poprzecznie wałki o średnicy 50 mm.
Uzyskano następujące wartości średniej prędkości cięcia:
- dla osnowy 6061 - $V_{śr}$ = 6,22 mm/min,
- dla kompozytu 6061/20% Al_2O_3 - $V_{śr}$ = 0,97 mm/min.

Przecinanie EDM materiału osnowy nie sprawiało kłopotu, przebiegało płynnie, stabilnie i niemal 7-krotnie szybciej niż kompozytu.
Przecinanie EDM kompozytu jest możliwe tylko dzięki metalowej osnowie. Wyładowania elektryczne decydujące o przebiegu procesu erozji zachodzą bowiem pomiędzy osnową a narzędziem - drutową elektrodą. Wyładowania oddziałują także na cząstki zbrojenia Al_2O_3, powodując ich nadtapianie, kruszenie i oddzielanie od osnowy. Są one następnie wypłukiwane ze szczeliny roboczej przez przepływający dielektryk.
Warto podkreślić, że proces przecinania EDM kompozytu musi być prowadzony umiejętnie, bowiem w przypadku gdy drutowa elektroda natrafia na skupisko cząstek zbrojenia lub dużą cząstkę, automatyczny układ sterujący dosuwem elektrody „traktuje" takie cząstki (o dużej rezystancji) jak zbyt dużą wolną przestrzeń z dielektrykiem, którą należy skompensować; przyspiesza dosuw i może spowodować zerwanie naprężonej elektrody. Ważny jest więc umiejętny dobór warunków cięcia EDM, by nie dopuszczać do zrywania elektrody.

DRĄŻENIE ELEKTROEROZYJNE

Drążenie elektroerozyjne przeprowadzono na obrabiarce zbudowanej w Instytucie Technologii Maszyn Politechniki Warszawskiej [5], wyposażonej w generator zasobnikowy RLC.
Jako narzędzie zastosowano elektrodę miedzianą (M1E) o średnicy 0,5 mm, jako dielektryk - naftę kosmetyczną.

Drążono otwory przelotowe w płaskich próbkach o grubości 5 mm wykonanych z materiału osnowy i z kompozytu.

Podczas badań określano następujące wskaźniki technologiczne obróbki EDM:

- średnią prędkość drążenia $V_{śr}$, μm/s,
- liniowy współczynnik zużycia elektrody

$$\vartheta_1 = \frac{\Delta l_E}{\Delta l_M} \cdot 100\%, \%$$

gdzie: Δl_E i Δl_M - odpowiednio ubytki elektrody (skrócenie elektrody) i głębokość wydrążonego otworu (równa grubości próbki).

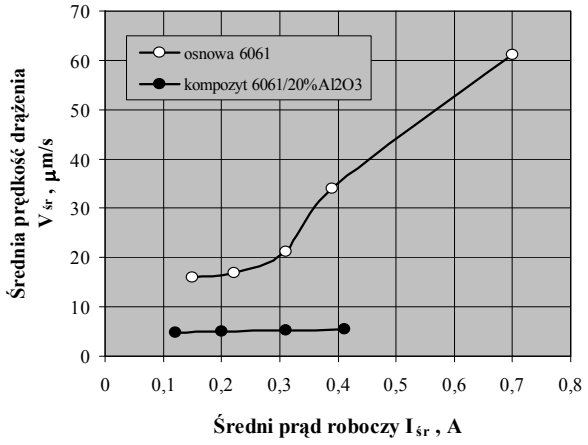
- rozbicie wykonanego otworu

$$2S_b = D - d_E, \text{ mm}$$

gdzie: D - średnica wydrążonego otworu, d_E - średnica elektrody.

Wyniki badań drążenia przedstawiono na rysunkach 2-4.

Wartości średniej prędkości drążenia $V_{śr}$ różnią się zasadniczo dla obu materiałów, tj. kompozytu i nieuzbrojonej osnowy (na niekorzyść kompozytu) - rys. 2. Prędkość drążenia materiału osnowy zdecydowanie rośnie ze wzrostem wartości średniego prądu (w impulsie) podobnie jak dla innych materiałów o strukturze jednorodnej. W przypadku kompozytu zmiany $V_{śr}$ są niewielkie, a wartości tego wskaźnika zawierają się w zakresie 4,9÷5,4 μm/s przy wzroście $I_{śr}$ od 0,12 do 0,41 A. Jest to niewątpliwie wpływ obecności w kompozycie twardych i odpornych termicznie cząstek zbrojenia. Im większe jest napełnienie kompozytu zbrojeniem, tym trudniej przebiega obróbka EDM.

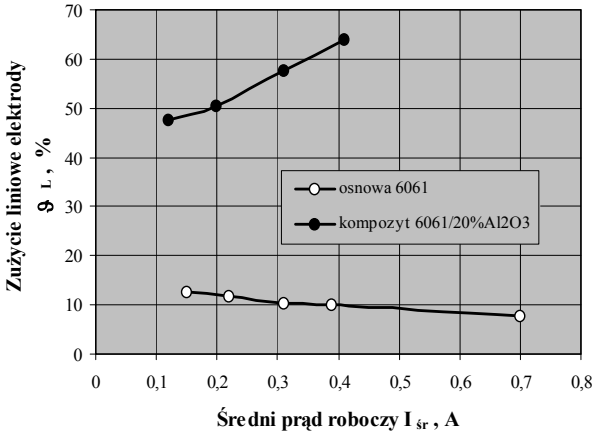


Rys. 2. Zależność prędkości drążenia $V_{śr}$ od średniego prądu roboczego $I_{śr}$ przy drążeniu elektroerozyjnym

Fig. 2. EDM holing velocity $V_{śr}$ as a function of the average current intensity $I_{śr}$

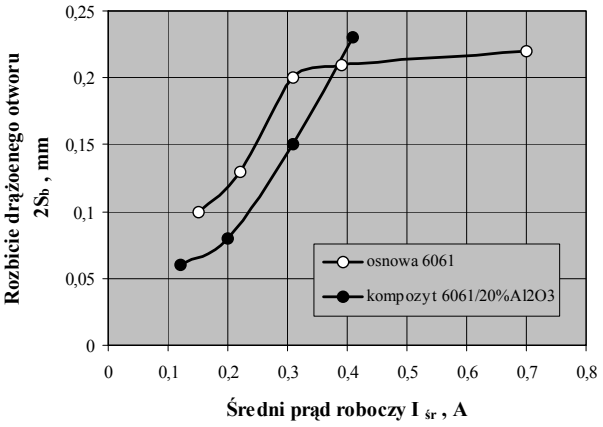
Zużycie miedzianej elektrody przy drążeniu kompozytu jest dużo większe niż przy drążeniu materiału osnowy (rys. 3). Skrajne wartości ϑ_L wynoszą odpowiednio 64 i 12,5%.

Wartości rozbicia otworów przy drążeniu EDM (rys. 4) są zbliżone dla obu materiałów, przy czym w zakresie prądów roboczych mniejszych od 0,4 A wzrost średnicy otworów jest większy dla materiału osnowy, zaś powyżej tej wartości $I_{śr}$ średnice otworów w kompozycie były większe.



Rys. 3. Zależność zużycia liniowego elektrody ϑ_L od średniego prądu roboczego $I_{śr}$ przy drążeniu elektroerozyjnym

Fig. 3. Linear wear of the electrode ϑ_L as a function of the average current intensity $I_{śr}$



Rys. 4. Zależność rozbicia drążonego otworu $2S_b$ od średniego prądu roboczego $I_{śr}$ przy drążeniu elektroerozyjnym

Fig. 4. Hole enlargement $2S_b$ during EDM drilling as a function of the average current intensity $I_{śr}$

Należy odnotować, że proces drążenia materiału osnowy 6061 przebiegał stabilnie w odróżnieniu od procesu drążenia kompozytu, przy którym ruch dosuwowy elektrody charakteryzował się okresowymi gwałtownymi wycofaniami elektrody. Było to spowodowane faktem pozostawania w szczelinie roboczej uwolnionych z kompozytu cząstek Al_2O_3 lub fragmentów cząstek na skutek ich ograniczonego wypłukiwania dielektrykiem. Jest to przyczyną spowolnienia procesu erozji obrabianego kompozytu, a jednocześnie wpływa na zwiększone zużycie elektrody.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania cięcia i drążenia elektroerozyjnego materiału kompozytowego o aluminiowej osnowie zbrojonego cząstkami Al_2O_3 w ilości 20% pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- obróbka EDM może stanowić alternatywny dla obróbki skrawaniem proces kształtowania wyrobów kompozytowych, szczególnie w przypadku wykonywania złożonych kształtów, wgłębień i otworów o małych średnicach,
- obróbka EDM kompozytów przebiega trudniej niż dla materiałów jednorodnych; obecność twardych i odpornych termicznie cząstek zbrojenia wpływa na zmniejszenie prędkości (wydajności) obróbki,
- zużycie elektrody roboczej przy obróbce EDM kompozytów jest zdecydowanie większe niż przy obróbce materiałów o składzie osnów (bez zbrojenia).

LITERATURA

[1] Jankowiak M., Kawalec M., Król G., Skrawność ostrzy narzędzi podczas toczenia stopów aluminium wzmacnianych cząstkami Al_2O_3 oraz SiC, ZN Politechniki Rzeszowskiej 1995, 133, Mechanika 44.

[2] Morin E., Masounawe J., Laufer E.E., Effect of drill wear on cutting forces in the drilling of metal-matrix composites, Wear 1995, 184, 11-16.

[3] Naplocha K., Kurzawa A., Janus A., Kaczmar J.W., Technologiczne aspekty obróbki skrawaniem materiałów kompozytowych, IV Seminarium Kompozyty 2000 - Teoria i praktyka, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2000.

[4] Biało D., Wytwarzanie kompozytów o osnowie Al z twardymi wtrąceniami przez ekstruzję na gorąco, I Polska Konferencja Metalowych Materiałów Kompozytowych, Kraków 22-23.10.1992, ref. 13.

[5] Perończyk J., Technologia mikrootworów o różnych kształtach drążonych elektroerozyjnie, Raport końcowy z projektu badaw- czego realizowanego w ramach Programu Priorytetowego Politechniki Warszawskiej, Nowe Technologie, Warszawa 2000.

Recenzent
Józef Gawroński