https://doi.org/10.62753/ctp.2003.16.6.6

Dionizy Biało[1]
Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki, Instytut Inżynierii Precyzyjnej i Biomedycznej, ul. św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa

TWORZENIE EKSPLOATACYJNEJ WARSTWY WIERZCHNIEJ W KOMPOZYTACH ALUMINIOWYCH PODCZAS TARCIA

Praca dotyczy badań nad tworzeniem tzw. eksploatacyjnej warstwy wierzchniej (EWW) w kompozytach aluminiowych podczas tarcia. Badaniom poddano kompozyty wytworzone metodą metalurgii proszków. Zawierały one osnowę Al + 4,5 Cu + + 0,7 Si + 0,5 Mg i fazę umacniającą w postaci cząstek Al_2O_3 w ilości 10%. Ziarnistość fazy umacniającej wynosiła: 3, 9, 23, 53 µm. Próby tribologiczne prowadzono na maszynie typu trzpień-tarcza w warunkach tarcia na sucho o stalową przeciwpróbkę przy następujących parametrach: nacisk jednostkowy 0,5÷5 MPa, prędkość tarcia 1 m/s, droga tarcia 6000 m. Wykazano, że przypowierzchniowa warstwa w kompozycie jest odkształcona plastycznie, ma strukturę steksturowaną i rozdrobnioną. Jest ponadto znacznie utwardzona w stosunku do twardości materiału położonego głębiej. Grubość EWW jest tym większa, im większe zastosowano naciski jednostkowe przy tarciu i im bardziej plastyczny jest materiał. Największe grubości warstwy wierzchniej występują dla materiału osnowy. Dla kompozytów grubość EWW jest tym mniejsza, im większy jest rozmiar cząstek fazy umacniającej.

Słowa kluczowe: tarcie, warstwa wierzchnia, kompozyty aluminiowe, metalurgia proszków

FORMATION OF THE OPERATION SURFACE LAYER IN ALUMINIUM MATRIX COMPOSITES DURING FRICTION

In this work the results of experimental study on formation of the operation surface layer in aluminium matrix composites during friction have been presented. Composites manufactured by powder metallurgy route contain: Al + 4.5 Cu + 0.7 Si + + 0.5 Mg matrix and reinforcing phase - Al_2O_3 particle with 10% volume fraction. Average size of reinforcing phase was 3, 9, 23 and 53 µm.

Tribological experiments were carried out on the pin-on-disk apparatus at dry friction condition with the steel counterspecimen at the following parameters: contact pressure of 0.5÷5 MPa, friction velocity of 1 m/s, friction distance of 6000 m. It was noticed that surface layer undergo to plastic deformation, and has texturing, reducing grain structure (Figs. 1, 2).

Operation surface layer hardness nearby the friction surface is higher then hardness of the not deformed material (the core) (Fig. 3). Thickness of the surface layer is the higher, the higher was contact pressure during friction tests and more ductile the material was (Fig. 4).

The greatest thickness of the operation surface layer occuring for the matrix material. For the composite materials the dependence between surface layer thickness and granularity of the reinforcing phase was observed. Thickness of this layer was the smaller, the larger was the size of alumina particle.

Key words: surface layer, aluminium matrix, friction, powder metallurgy

WPROWADZENIE

Tarciu dwóch elementów towarzyszą złożone procesy tribologiczne występujące w obszarze styku. Ich przebieg zależy w dużym stopniu od stanu warstw wierzchnich (WW) położonych przy powierzchni tarcia każdego elementu. Samo zużycie tribologiczne elementów maszyn jest w rzeczywistości niszczeniem ich warstwy wierzchniej [1].

Warstwa wierzchnia jest definiowana jako zewnętrzna warstwa przedmiotu powstała w wyniku działania na przedmiot procesów fizycznych i chemicznych, jakościowo lub ilościowo różniąca się od materiału położonego głębiej (tzw. rdzenia). Jako grubość warstwy wierzchniej przyjmuje się głębokość zalegania zmian jednej lub kilku cech WW: mikrotwardości, naprężeń własnych, rodzaju struktury, rozkładu wdyfundowanych lub zaimplantowanych atomów danego pierwiastka [2].

Wyróżnia się dwa pojęcia WW. Pierwsze to „techno-logiczna warstwa wierzchnia" (TWW), będąca skutkiem zastosowanych procesów technologicznych wykonania przedmiotu: skrawania, odlewania, obróbek powierzchniowych itp. Pod wpływem wymuszeń tribologicznych (podczas eksploatacji): nacisku, prędkości, temperatury, oddziaływań otaczającej atmosfery i środków smarowych TWW ulega przekształceniu [3] w „eksploatacyjną warstwę wierzchnią" (EWW).

Prezentowana praca dotyczy badań nad tworzeniem EWW podczas tarcia kompozytów o osnowie aluminiowo-miedziowej umocnionych cząstkami Al_2O_3. Przed-

[1] dr inż.

stawiono wybrane wyniki badań obejmujące wpływ nacisków jednostkowych i rozmiaru cząstek umacniających. Grubość EWW określano według kryterium zmian twardości.

MATERIAŁY ZASTOSOWANE W BADANIACH

Do badań tribologicznych wytworzono materiały kompozytowe o osnowie stopu aluminium umocnione cząstkami tlenku glinu. Na osnowę zastosowano proszek o składzie Al + 4,5 Cu + 0,7 Si + 0,5 Mg. Jako fazę umacniającą zastosowano proszek Al_2O_3 o nieregularnym kształcie ziarn i średniej wielkości ziarn: 3, 9, 23, 53 μm. Udział objętościowy fazy umacniającej we wszystkich kompozytach był jednakowy i wynosił 10%.
Proces wytwarzania kompozytów obejmował następujące operacje: mieszanie proszku osnowy z cząstkami fazy umacniającej, prasowanie wstępne do gęstości względnej ok. 82%, spiekanie wyprasek w atmosferze ochronnej, wyciskanie na gorąco i obróbkę cieplną obejmującą przesycanie i starzenie.
Skład i wybrane właściwości kompozytowych materiałów oraz materiału osnowy przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. **Materiały zastosowane w badaniach**
TABLE 1. **Composition and properties of the tested materials**

Oznaczenie materiałów	Skład			Twardość osnowy HV001	R_m MPa	Wydłużenie a %
	Osnowa	Faza umacniająca				
		% obj.	Rozmiar μm			
M	Al + 4,5% Cu + 0,7% Si + 0,5% Mg	0	-	123	377	8,32
A3		10	3	128	389	6,11
A9			9	130	422	5,33
A23			23	138	416	4,50
A53			53	154	428	3,67

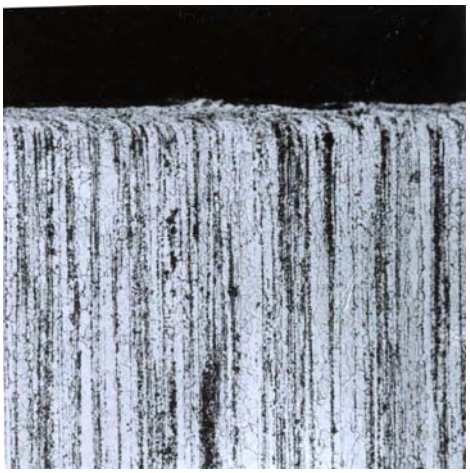
BADANIA TRIBOLOGICZNE

Próby tarcia i zużycia przeprowadzono na urządzeniu własnej konstrukcji pracującym w układzie trzpień-tarcza w następujących warunkach:
- nacisk jednostkowy 0,5; 1,5; 3 i 5 MPa
- prędkość tarcia 1 m/s
- droga tarcia 6000 m
- środowisko powietrze, ok. 20ºC
- rodzaj tarcia technicznie suche
- przeciwpróbka tarcza stalowa, 58 HRC
- wymiary próbki kompozytowej Φ5x15

WYNIKI BADAŃ

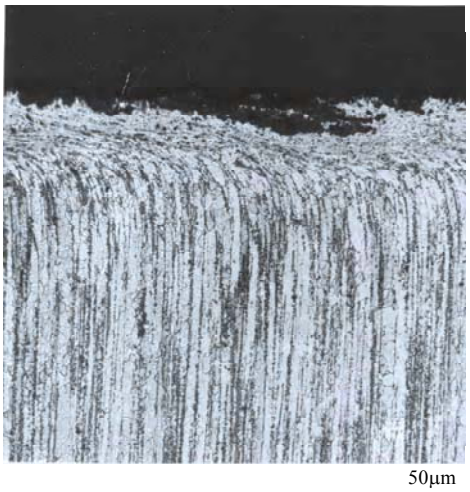
Badania struktury materiałów kompozytowych i materiału niezawierającego cząstek umacniających (osnowy M) przeprowadzono na zgładach metalograficznych wykonanych w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni tarcia, wzdłuż śladów tarcia. Wykazano, że podczas tarcia warstwa materiału bezpośrednio przylegająca do powierzchni tarcia ulega znacznym zmianom w stosunku do stanu przed tarciem. Tworzy się tzw. eksploatacyjna warstwa wierzchnia EWW w miejsce tzw. technologicznej warstwy wierzchniej TWW uformowanej w procesie obróbki próbek.
Na rysunku 1 przedstawiono zgłady metalograficzne materiału osnowy M po próbach tarcia przy dwóch wartościach nacisku jednostkowego 0,5 i 3 MPa. Próbki materiału mają typową pasmową strukturę wynikającą z zastosowanego procesu wytwarzania przez wyciskanie. Struktura ta w warstwie wierzchniej uległa zaburzeniu w wyniku oddziaływania nacisku przeciwpróbki i siły tarcia stycznej do powierzchni. Wystąpiły znaczne odkształcenia plastyczne. Głębokość ich zalegania zależy przede wszystkim od wartości zastosowanego nacisku jednostkowego pomiędzy próbką i przeciwpróbką.

a)



50μm

b)

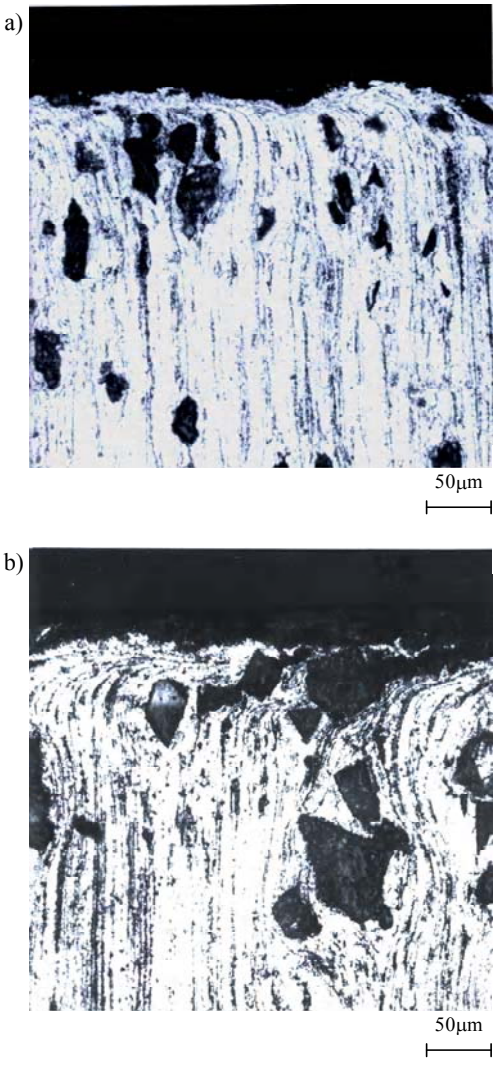


50μm

Rys. 1. Zgłady poprzeczne do powierzchni tarcia próbek materiału osnowy po próbach tribologicznych przy p = 0,5 MPa (a) i p = 3 MPa (b)

Fig. 1. Microstructure of the matrix material in the plane perpendicular to the friction surface after the tribological test at p = 0,5 MPa (a) i p = 3 MPa (b)

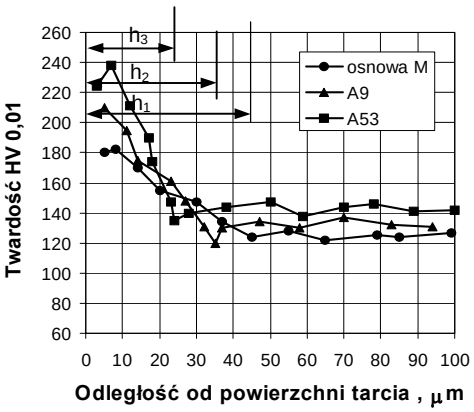
Rysunek 2 przedstawia zgłady kompozytów umocnionych cząstkami 23 i 53 μm. Tutaj także widać wpływ nacisków jednostkowych na głębokość występowania odkształceń - rysunek 2a dotyczy prób tribologicznych przeprowadzonych przy p = 3 MPa, zaś rysunek 2b prób przy p = 5 MPa. Należy odnotować, że w warstwie odkształconej plastycznie cząstki umacniające mają tendencję do układania się swoim największym wymiarem wzdłuż linii płynięcia. Takie zjawisko wyraźniej jest obserwowane w przypadku umocnienia kompozytu krótkimi włóknami ceramicznymi [4]. Na powierzchni tarcia występują zagłębienia po usuniętych cząstkach umacniających. Stanowią one lokalne osłabienia struktury materiału kompozytowego. Materiał położony wokół wgłębienia gorzej przenosi obciążenia normalne, łatwiej ulega odkształceniom i zużywaniu.



Rys. 2. Zgłady metalograficzne w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni tarcia kompozytu umocnionego: a) 23 μm cząstkami Al_2O_3, po testach przy p = 3 MPa, b) 53 μm cząstkami Al_2O_3, po testach przy p = 5 MPa

Fig. 2. Microstucture of the composite in the plane perpendicular to the friction surface reinforced: a) with 23 μm particles Al_2O_3 after test at p = 3 MPa, b) with 53 μm particles Al_2O_3 after test at p = 5 MPa

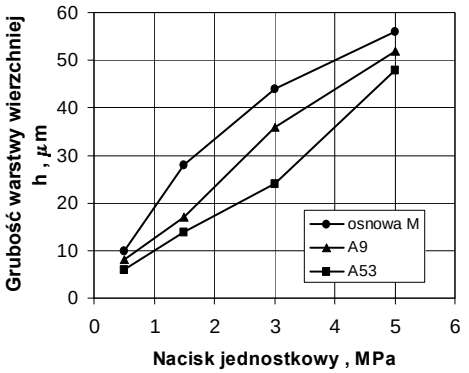
Twardość odkształconej plastycznie warstwy w wyniku tarcia określano na zgładach metalograficznych próbek wykonanych pod kątem 6º do powierzchni tarcia. Pomiary twardości prowadzono metodą Vickersa przy obciążeniu 0,098 N. Mierzono twardość osnowy w obszarach pomiędzy cząstkami umacniającymi.



Rys. 3. Zmiany twardości w warstwie wierzchniej osnowy kompozytów A9 i A53 i materiału samej osnowy M w zależności od odległości od powierzchni po tarciu (przy p = 3 MPa, v = 1 m/s i L = = 6000 m)

Fig. 3. Hardness changes in the surface layer of the matrix of composite A9 and A53 and matrix material M vs. distance from friction surface after friction (at: p = 3 MPa, v = 1 m/s i L = 6000 m)

Na rysunku 3 pokazano wyniki takich pomiarów dla materiału osnowy M i dwóch wybranych materiałów kompozytowych A9 i A53, tj. umocnionych cząstkami o wymiarach 9 i 53 mikrometrów. Twardość warstwy odkształconej jest największa w pobliżu powierzchni tarcia i maleje w miarę oddalania się od tej powierzchni. Po przekroczeniu wartości h, innej dla każdego materiału, twardość osiąga wartość twardości materiału nieodkształconego. Jest to granica wewnętrzna warstwy wierzchniej. Tak więc wartość odległości h od powierzchni tarcia może być interpretowana jako grubość warstwy wierzchniej wg kryterium twardości [2]. Jest ona tym większa, im bardziej plastyczny jest materiał.



Rys. 4. Wpływ nacisku jednostkowego na zmiany grubości warstwy wierzchniej w materiale osnowy M i w kompozytach A9 i A53 po tarciu (przy v = 1 m/s i L = 6000 m)

Fig. 4. Influence of contact pressure on changes of surface layer thickness in matrix material M and composite A9 and A53 after friction (at v = 1 m/s i L = 6000 m)

Dane przytoczone na rysunku 3 dotyczą materiałów po próbach tribologicznych przy nacisku jednostkowym p = 3 MPa. Zmiana wartości nacisku jednostkowego prowadzi do zmian grubości warstwy wierzchniej. Na rysunku 4 pokazano taką zależność dla materiału osnowy M oraz kompozytów A9 i A53.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań nad stanem warstwy wierzchniej kompozytów aluminiowych po próbach tribologicznych można sformułować następujące wnioski:

- Równoczesne oddziaływanie nacisków normalnych i stycznych sił tarcia powoduje istotne zmiany w przypowierzchniowej warstwie materiału. Utworzona tzw. eksploatacyjna warstwa wierzchnia jest plastycznie odkształcona, ma strukturę steksturowaną i rozdrobnioną.
- Warstwa ta charakteryzuje się znacznym, bo kilkudziesięcioprocentowym wzrostem twardości w stosunku do twardości materiału położonego głębiej.
- Grubość eksploatacyjnej warstwy wierzchniej jest tym większa, im większe zastosowano naciski jednostkowe podczas tarcia.
- Grubość warstwy wierzchniej jest tym mniejsza, im mniej plastyczny jest materiał. Największa grubość warstwy wierzchniej występuje dla materiału osnowy, najmniejsza zaś dla kompozytu umocnionego największymi cząstkami (53 μm).

LITERATURA

[1] Hebda M., Wachal A., Trybologia, WNT, Warszawa 1980.
[2] Wierzchoń T., Burakowski T., Inżynieria powierzchni metali, WNT, Warszawa 1995.
[3] Burakowski T., Marczak R., Eksploatacyjna warstwa wierzch- nia i jej badania, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn 1995, 30, 3, 327-337.
[4] Biało D., Tribologiczne właściwości kompozytów aluminiowych z fazą umacniającą w postaci włókien krótkich, III Konf. Nauk.-Techn. Mechatronika'97, Warszawa, 22-20 listo-pada 1997, Prace Naukowe Konferencje z. 14 OW Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997, 2, 426-429.

Recenzent
Jan Ryszard Dąbrowski