



**EMISJA AKUSTYCZNA W KOMPOZYTACH NA OSNOWIE
DWUFAZOWYCH STOPÓW Mg-Li-Al ŚCISKANYCH
W PODWYŻSZONEJ TEMPERATURZE**

**Acoustic emission in diphasic Mg-Li-Al alloy matrix
composites compressed at elevated temperature**

**Andrzej Pawelek, Andrzej Piątkowski, Zdzisław Jasieński, Stanisław Kúdela*
Alina Litwora, Marek Faryna, Przemysław Ranachowski**, Feliks Rejmund**
Zbigniew Ranachowski****

Institut Metallurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, ul. Reymonta 25, 30-059 Kraków

*Instytut Materiałów i Mechaniki Maszyn SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava

**Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa

E-mail: nmpawele@imim-pan.krakow.pl

STRESZCZENIE

W pracy wykorzystano metodę emisji akustycznej (EA) w badaniach wytrzymałości mechanicznej kompozytów na bazie stopów dwufazowych Mg8Li wzmocnionych krótkimi włóknami ceramicznymi δ Al₂O₃, poddanych nieswobodnemu ściskaniu w temperaturze podwyższonej (140°C). Przeprowadzono również badania mikrostruktury optycznej i skaningowej oraz wyznaczono moduły Younga metodą pomiaru prędkości fal ultradźwiękowych. Stwierdzono, że efekt anizotropii rozkładu włókien względem kierunku ściskania ND - wyraźnie występujący w kompozytach w temperaturze otoczenia [3] - w podwyższonej temperaturze jest znacznie mniej wyraźny gdyż dominujący wpływ na EA mają procesy pęknięcia włókien, które przebiegają znacznie intensywniej niż w temperaturze otoczenia. Wyniki przedyskutowano w oparciu o dyslokacyjne mechanizmy plastycznego płynięcia oraz mechanizmy związane z procesami mikropeknięcia w kompozytach.

1. WPROWADZENIE

Kompozyty na osnowie stopów magnezu z litem wzmocniane np. włóknami ceramicznymi znajdują coraz szersze zastosowanie jako lekkie i wytrzymałe materiały konstrukcyjne. Stopy Mg-Li występują w kilku postaciach. W zakresie koncentracji Li do 4%wt. -jako faza heksagonalna α o sieci A3 (*hcp*), a w zakresie powyżej 12%wt. Li – jako faza β o sieci regularnej A2 (*bcc*). Własności mechaniczne fazy α są gorsze niż fazy β , która cechuje się bardzo dobrą skrawalnością i spawalnością [2]. Stopy o zawartości Li od 4 do 12%wt. są dwufazowe i występują jako mieszanina faz $\alpha+\beta$. Dodatki stopowe np. 3 do 5% Al, nieznacznie zwiększając gęstość, poprawiają własności wytrzymałościowe.

Celem pracy jest wyjaśnienie związków pomiędzy przyczynami emisji akustycznej i mechanizmami odkształcenia w kompozytach na osnowie stopów Mg8Li poddanych ścisaniu w temperaturze podwyższonej 140°C. W dyskusji wykorzystano koncepcje znane z literatury [1,6] oraz własne sugestie [5] upatrujące głównych przyczyn EA w materiałach metalicznych w procesach kolektywnego przyspieszania ruchu dyslokacji jak i w procesach zsynchronizowanej wewnętrznej i powierzchniowej anihilacji dyslokacji.

2. METODY BADAWCZE

Stopy i kompozyty na bazie Mg-Li wykonano w ramach współpracy z Bratysławą. Szczegółowy opis technologii przedstawiono w poprzednich pracach [2-4]. Próbki kompozytów przeznaczone do testów ścisania posiadały kształt sześcianów o krawędzi 10 mm.

Testy prowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej typu INSTRON – 6025. Równocześnie z rejestracją siły zewnętrznej, F , mierzono parametr EA w postaci szybkości (tempa) zdarzeń $\Delta N_z/\Delta t$. Szerokopasmowy czujnik piezoelektryczny pozwalał rejestrować impulsy akustyczne w zakresie częstotliwości od 100 kHz do 1 MHz. Obok badań mikrostruktury optycznej i skaningowej wykonano również serię pomiarów ultradźwiękowych. Bardziej szczegółowy opis przedstawiono w poprzednich pracach [4].

3. WYNIKI I DYSKUSJA

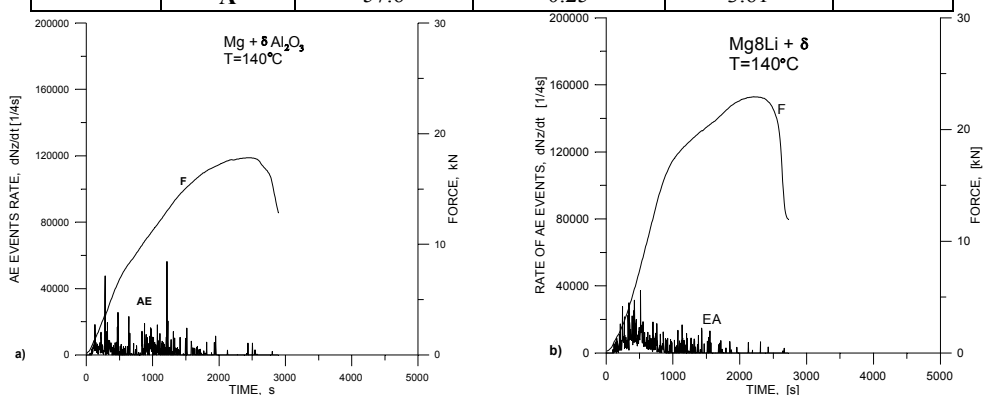
Punktem wyjścia do dyskusji EA w kompozytach ścisanych w temperaturze 140°C są wyniki uzyskane w poprzednich pracach dla czystego magnezu, stopów i odpowiednich kompozytów testowanych w temperaturze otoczenia [3,4]. Niespodzianką jest wyraźnie wyższa intensywność EA w kompozycie Mg/δ w 140°C (Rys.1a) niż w czystym Mg w temperaturze otoczenia, która z kolei jest kilkakrotnie wyższa niż w tym samym kompozycie ścisany również w temperaturze otoczenia. Natomiast aktywność EA w kompozycie Mg/δ, podobnie jak w temperaturze otoczenia, utrzymuje się niemal przez cały czas trwania testu, co jest charakterystyczne dla kompozytów. Ponadto można zauważyć dwa zakresy aktywności EA, które zarówno w kompozycie Mg/δ jak i w kompozycie dwufazowym Mg8Li/δ (Rys.1b) są związane z załamaniem na krzywej umocnienia - wyraźniejszym w tym ostatnim przypadku.

Na Rys.2 przedstawiono zachowanie się EA w kompozytach Mg8Li3Al/δ o różnym usytuowaniu włókien. Można zauważyć nieznacznie większą aktywność EA w przypadku włókien równoległych (Rys.2b), lecz nie jest to zadawalające potwierdzenie efektu anizotropii, wyraźnie występującego w temperaturze otoczenia. Z analizy wyników pomiarów ultradźwiękowych: dynamicznego modułu Younga E , współczynnika Poissona ν oraz współczynnika tłumienia α (Tabela 1) wynika, że najmniejsze wartości E , ν oraz α występują w przypadku gdy włókna są prostopadłe do kierunku ścisania ND, co potwierdza wcześniejsze wyniki [3,4] i sugeruje, że efekt anizotropii włókien potencjalnie również powinien występować w temperaturze podwyższonej.

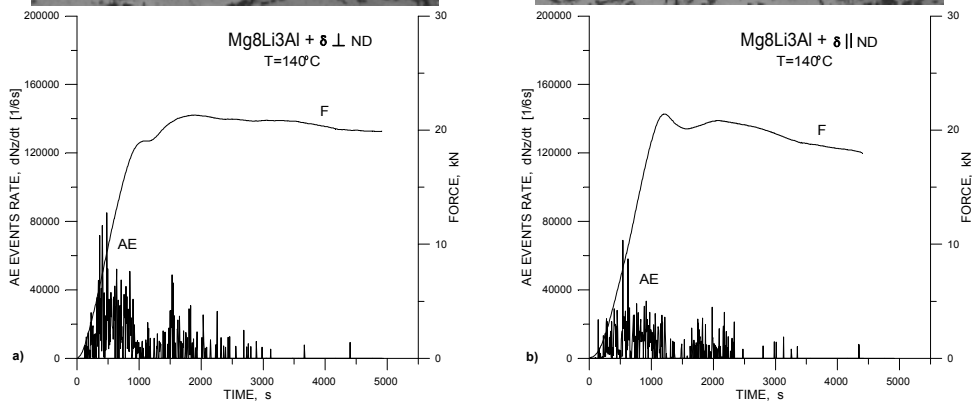
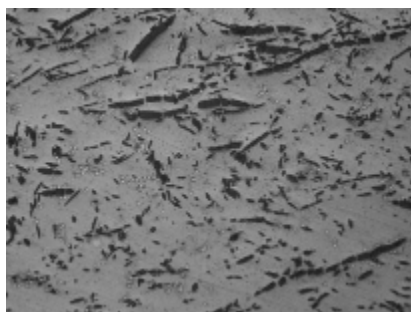
Widać tu również występowanie drugiego zakresu aktywności EA (po ok. 1500s). Ponadto, intensywność EA w kompozytach w podwyższonej temperaturze jest kilkakrotnie wyższa niż to ma miejsce w temperaturze otoczenia. Niespodziewane zachowanie się EA w kompozytach Mg/δ, znajduje więc potwierdzenie w zachowaniu się EA w kompozytach Mg8Li/δ.

TABELA 1. Wyniki pomiarów ultradźwiękowych dla kompozytów: **I** – Mg8Li/ δ , **II** – Mg8Li5Al/ δ

Rodzaj kompozytu	Testowana ściana	Moduł Younga E [GPa]	Współczynnik Poissona, ν	Współczynnik tłumienia, $-\alpha$	Gęstość ρ [g/cm ³]
I	B \perp ND	51.8	0.22	2.21	1.71
	A	53.4	0.22	2.28	
II	B \perp ND	56.1	0.24	3.28	1.74
	A	57.6	0.25	3.61	

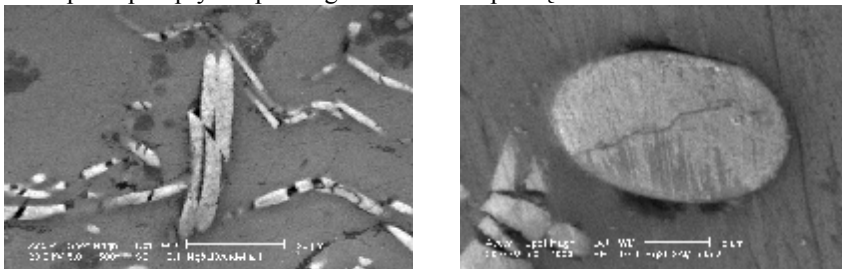


Rys.1. EA i siła podczas nieswobodnego ściskania kompozytów Mg/ δ (a) i Mg8Li/ δ (b) w temperaturze podwyższonej 140 °C



Rys.2. EA w kompozytach Mg8Li3Al/ δ w temperaturze 140°C: (a) – włókna prostopadłe, (b) – równoległe do kierunku ściskania. U góry mikrostruktury optyczne po odkształceniu

Wyższa intensywność EA i dwuzakresowość aktywności EA jest spowodowana procesami, które na tyle dominują, że efekt anizotropii jest znacznie mniej wyraźny niż w temperaturze otoczenia. Takim procesem może być osłabianie wytrzymałości mechanicznej włókien w wyższej temperaturze, powodujące zwiększenie ilości mikropełnięć generujących zdarzenia EA. W myśl powyższego drugi zakres aktywności EA wiązałby się z mikropełnieniem „drugiej porcji” włókien, których wytrzymałość została osłabiona dopiero po upływie pewnego czasu od rozpoczęcia testu w 140°C.



Rys.3. Mikrostruktury skaningowe kompozytu Mg8Li3Al/d po odkształceniu w 140°C

Mikrostruktury skaningowe ujawniają, że mikropełnięcia włókien zachodzą na skutek dyslokacyjnego ścięcia (Rys.3, z lewej), np. w wyniku relaksacji wysokich naprężeń wewnętrznych powstających na czole spiętrzeń dyslokacji bądź na skutek odklejania się włókien od osnowy, tzw. debondingu (Rys.3, z prawej), który to proces może wносить pokazywany wkład do obserwowanych sygnałów EA.

4. WNIOSKI

1. Poziom intensywności EA w kompozytach Mg/δ oraz kompozytach na bazie Mg8Li ściskanych w temperaturze 140°C jest niespodziewanie znacznie wyższy niż w przypadku tych kompozytów testowanych w temperaturze otoczenia.
2. Przebiegi EA w kompozytach testowanych w podwyższonej temperaturze wykazują występowanie dwóch zakresów aktywności EA.
3. Wyższa intensywność i dwuzakresowość aktywności EA w 140°C może być wytłumaczona na oparciu o procesy osłabiania wytrzymałości mechanicznej włókien, prowadzące do wzrostu liczby mikropełnięć generujących zdarzenia EA.

LITERATURA

1. V S. BOIKO, R I. GARBER, L F. KRIVENKO, Fiz. Tverd. Tela **16**, 1233-1235 (1974).
2. S. KÚDELA, Z. TROJANOVÁ, V. KOLENČIAK, P. LUCÁČ, Short fibre reinforced Mg-8Li-xAl matrix composites – preparation, structure and properties, Proc. of the Int. Conf. Advances in Composites, Bangalore, 24-26 August 2000, pp. 679-686.
3. A. PAWELEK, Sprawozdania roczne IMIM PAN za lata 2001 i 2002.
4. A. PAWELEK, Z. JASIEŃSKI, S. KUDELA, A. PIĄTKOWSKI, P. RANACHOWSKI, F. REJMUND, Acoustic Emission in Channel-Die Compressed Mg-Li-Al Alloys Reinforced with Short Ceramic Fibres, pp. 225-228; Influence of β Phase on Mechanical and Acoustic Behaviour of Mg-Li-Al Alloys, pp.229-234, Proc of the Int. Conf. on Advanced Metallic Materials, Smolenice Castle, SLOVAKIA, November 5 – 7, 2003.
5. A. PAWELEK, A. PIĄTKOWSKI, Z. JASIEŃSKI, S. PILECKI, Acoustic Emission and Strain Localization in FCC Single Crystals Compressed in Channel-Die at Low Temperature, Z. Metallkde., **92**, 376-381 (2001).
6. A. VINOGRADOV, Scripta Mater. **39**, 797-805 (1998).