

Stefan Szczepanik*, Marek Wojtaszek

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
* Corresponding author. E-mail: szczepan@metal.agh.edu.pl

Otrzymano (Received) 29.01.2009

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW WIELOWARSTWOWYCH OTRZYMANÝCH Z KOMPOZYTÓW NA OSNOWIE PROSZKU ALUMINIUM PRZEZ KUCIE NA GORĄCO W MATRYCY ZAMKNIĘTEJ

Przedstawiono wyniki badań otrzymywania wyrobów wielowarstwowych ze skokowym gradientem składu chemicznego z metalowych materiałów kompozytowych, otrzymanych z proszku aluminium RAl-1 i mieszanek tego proszku ze stopowym proszkiem Al17Si5Fe3Cu1,1Mg0,6Zr (oznaczony Al17) w ilości 20, 40 i 60% masowych. Zagęszczono wstępnie na zimno wypraski z proszku aluminium i z mieszanek proszków nagrzewano do temperatury 485°C i odkształcano w podgrzewanych matrycach zamkniętych na prasie śrubowej. Dla otrzymanych w ten sposób materiałów określono takie właściwości, jak: gęstość, twardość, wytrzymałość na rozciąganie, zginanie i na ściskanie w stanie po odkształceniu i po przesycaeniu oraz starzeniu. Gęstość wyrobów po tych zabiegach odpowiada gęstości teoretycznej. Wszystkie badane właściwości mechaniczne z wyjątkiem wytrzymałości na rozciąganie zwiększają się wraz ze wzrostem zawartości stopu aluminium w kompozytach. Wytrzymałość na rozciąganie osiąga wartość największą dla zawartości 40% mas. proszku stopowego. Ze wzrostem zawartości proszku stopowego maleje odkształcenie krytyczne podczas ściskania. Wytworzono wyroby wielowarstwowe w analogicznych warunkach jak materiały kompozytowe. Dla tworzyw warstwowych zbadano ich właściwości podczas zginania w zależności od składu chemicznego warstw i sposobu ich ułożenia w stosunku do kierunku obciążenia. Stwierdzono, że wytrzymałość na zginanie silnie zależy od sposobu ułożenia warstw w odniesieniu do kierunku obciążenia próbki podczas badań.

Słowa kluczowe: lekkie materiały kompozytowe na osnowie aluminium, materiały wielowarstwowe, kucie w matrycach zamkniętych, właściwości mechaniczne

SOME PROPERTIES OF MULTI-LAYER PM ALUMINIUM MATRIX COMPOSITES AFTER HOT CLOSED - DIE FORGING

Manufacturing of layer specimens with gradient chemical compositions from mixtures of aluminium RAl1 and aluminium alloy Al17Si5Fe3Cu1.1Mg0.6Zr (designated Al17) was investigated. The preforms were manufactured by cold pressing - such that the concentration changed from 0 to 60% alloy at 20% intervals. Preforms and gradient layer preforms were closed - die forged at 485°C on a screw press. The structure and the mechanical properties after forging and additional heat treatment were investigated. Microstructure examination indicated no porosity in all samples. The influence of chemical composition on mechanical properties in tensile, bending and compression tests was examined. With increasing Al17 content, an increase in the compression and bend strengths appeared. Highest tensile strength was recorded for 40% Al17 content. The critical strain during a compression test decreased with an increase of Al17 powder in the composites.

The multi layer materials were manufactured as the composites. The dependences of the bend strength on construction of specimens, gradient of chemical composition and manner of their loading were analysed. Tests were carried out parallel to the concentration gradient in these specimens. Layer Al-60%Al17 on top of the specimens (specimen DCB) resulted in higher values than when the top layer had the highest aluminium concentration (specimen BCD).

Keywords: aluminium matrix composites, layer materials, closed - die forming, mechanical properties

WSTĘP

Konstrukcyjne materiały gradientowe są tworzywami o zmieniającej się względem odpowiedniego układu odniesienia charakterystyce materiałowej. Zastosowanie takich materiałów poszerza znacznie zakres możliwości rozwiązań materiałowych elementów konstrukcyjnych. Prace badawcze, zmierzające do dalszego rozwoju tych materiałów, ukierunkowane są przede wszystkim na pozyskanie danych eksperymentalnych

niezbędnych do projektowania ich składu chemicznego, struktury i właściwości [1-4]. W pracy [5] analizowano własności kompozytów Fe-Al, otrzymanych przez zagęszczanie w matrycy zamkniętej na gorąco. Obejmują one również opracowanie metod produkcji półwyrobów i wyrobów z gradientem składu chemicznego [1, 5-7].

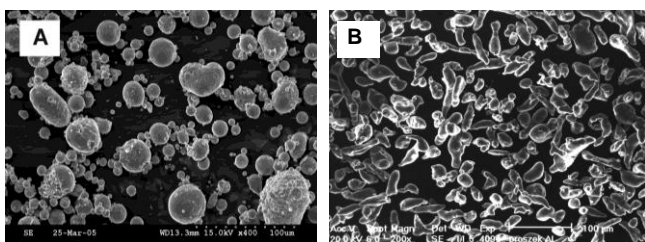
W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań otrzymywania lekkiego materiału kompozytowego ze

skokowym gradientem składu chemicznego, wytworzono z proszków o zmiennym udziale proszku stopu Al17Si5Fe3Cu1,1Mg0,6Zr w osnowie aluminiowej. Materiał otrzymany metodą metalurgii proszków kuto w matrycach zamkniętych na gorąco i obrabiono cieplnie. Badano zachowanie się kompozytów warstwowych podczas zginania.

BADANIA WŁASNE

Cel i zakres badań

Celem badań było zbadanie właściwości materiałów wielowarstwowych, otrzymanych z kompozytów aluminium-stop aluminium, wytworzonych metodą metalurgii proszków i kucia na gorąco w matrycy zamkniętej. Materiały kompozytowe wykonano z mieszanek proszku aluminium RA1-1 i proszku stopu Al17Si5Fe3Cu1,1Mg0,6Zr, oznaczonego w dalszej części pracy Al17 (rys. 1). Wielkość cząstek proszku RA1-1 jest w przedziale 0÷200 µm, a proszku Al17 0÷50 µm. Do badań wytworzono mieszanki na osnowie proszku aluminium z dodatkiem 20, 40 i 60% masowych proszku stopowego Al17, z których wytworzono materiały kompozytowe oraz wypraski warstwowe.



Rys. 1. Morfologia proszku: A) proszku aluminium RAI-1, B) proszku stopowego Al17Si5Fe3Cu1,1Mg0,6Zr

Fig. 1. Morphology of: A) powder aluminium RAI-1, B) powder aluminium alloy Al17Si5Fe3Cu1.1Mg0.6Zr

Z proszku RAI-1 oraz mieszanek tego proszku z proszkiem Al17 prasowano na zimno wypraski o średnicy 48 mm i o masie około 60 g. Składy chemiczne komponentów warstw podano w tabeli 1. Tak otrzymane wypraski nagrzewano do temperatury 485°C, przetrzymywano w tej temperaturze przez 30 minut i odkształcano w matrycy zamkniętej o średnicy 50 mm na prasie śrubowej. W wyniku kucia otrzymano odkuvki o gęstości zbliżonej do teoretycznej. Gęstość ρ , twardość Brinella HB , wytrzymałość na rozciąganie R_m , wytrzymałość na ściskanie R_c oraz krytyczne odkształcenie ϵ_k podczas ściskania materiałów kompozytowych po kuciu i obróbce cieplnej polegającej na przesycaaniu (480°C, 0,5 h, woda) i starzeniu (180°C, 4 h) przedstawiono w tabeli 1. Mikrostrukturę tych materiałów obserwowaną na zglądach nietrawionych przedstawiono na rysunku 2.

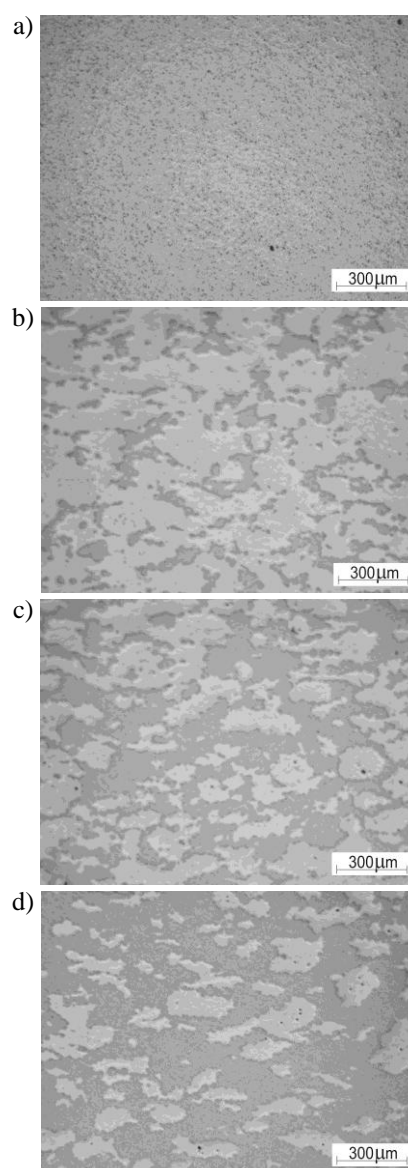
Z materiałów o takiej charakterystyce wykonano wielowarstwowe wyroby kompozytowe o całkowitej masie 60 g, ze skokowym gradientem składu chemicz-

nego, przez prasowanie na zimno, stosując naciski jednostkowe 180 MPa. Modele budowy wielowarstwowych wyprasek z materiałów kompozytowych przedstawiono na rysunku 3.

TABELA 1. Gęstość i własności mechaniczne materiałów kompozytowych

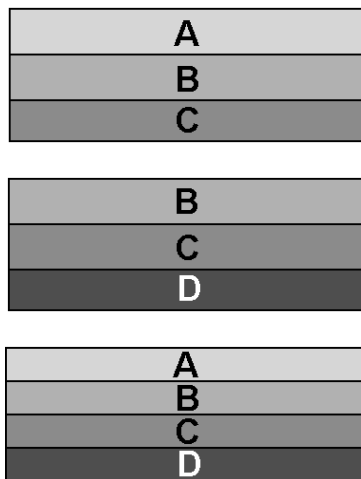
TABLE 1. Density and mechanical properties of composite materials

Oznaczenie/ materiał	ρ g/cm ³	HB	R_m MPa	R_c MPa	ϵ_k
A/Al	2,744	34±1	107±10	-	-
B/Al-20%Al17	2,703	51±2	160±32	490	0,52
C/Al-40%Al17	2,735	72±2	214±29	470	0,20
D/Al-60%Al17	2,767	98±8	173±63	530	0,12



Rys. 2. Mikrostruktury materiałów kompozytowych Al-Al17 po kuciu i obróbce cieplnej: a) osnowy aluminiowej, b) Al-20%Al17, c) Al-40%Al17, d) Al-60%Al17. Zgląd nietrawiony

Fig. 2. Microstructures of materials obtained from: RAI-1 powder (a), and mixtures of Al and Al alloy powders: Al-20% mas. Al17 (b), Al-40% mas. Al17 (c) and Al-60% mas. Al17 (d). Not etched



Oznaczenia:

- A - aluminium
- B - Al - 20% Al17
- C - Al - 40% Al17
- D - Al - 60% Al17

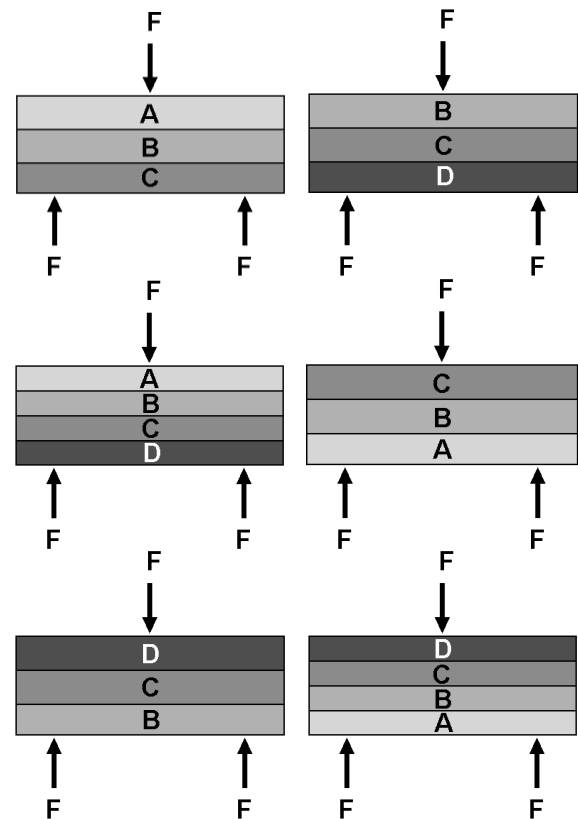
Rys. 3. Sposób rozlokowania warstw w próbkach z materiałów kompozytowych

Fig. 3. Layer position in composite preforms

Otrzymane wypraski odkształcano przez kucie w warunkach identycznych jak komponenty warstw, a następnie poddano przesycaaniu (480°C, 0,5 h, woda) i starzeniu (180°C, 4 h). W wyniku kucia wyprasek wytworzono tworzywa o średniej gęstości wynoszącej odpowiednio dla próbek trójwarstwowych typ ABC 2,709 g/cm³, typ BCD 2,714 g/cm³ oraz czterowarstwowych typ ABCD 2,725 g/cm³.

Badano wytrzymałość na zginanie wielowarstwowych próbek kompozytów w zależności od ich konstrukcji, tj. składu chemicznego warstw, z których zostały wykonane, oraz sposobu ich ułożenia w odniesieniu do kierunku przyłożenia siły. Układ warstw podczas badań na zginanie przedstawiono na rysunku 4. Na rysunkach 5 i 6 zestawiono odpowiednio zmiany naprężenia jednostkowego podczas zginania próbek oraz wytrzymałość na zginanie warstwowych materiałów kompozytowych.

Przebieg zależności średniego naprężenia na przekroju próbki podczas zginania determinowany jest konstrukcją próbki i składem chemicznym warstw. W próbkach trójwarstwowych typu DCB o warstwie wierzchniej z kompozytu Al-60%Al17 występują podczas testu największe wartości naprężeń (rys. 5). Zmiana ułożenia warstw próbki względem przyłożonego obciążenia powoduje zmniejszenie wartości naprężenia średniego podczas zginania. Podobnie wytrzymałość na zginanie zależy od ułożenia warstw w próbce względem przyłożonego obciążenia podczas zginania. Największą wytrzymałość na zginanie mają próbki typu DCB (rys. 6).

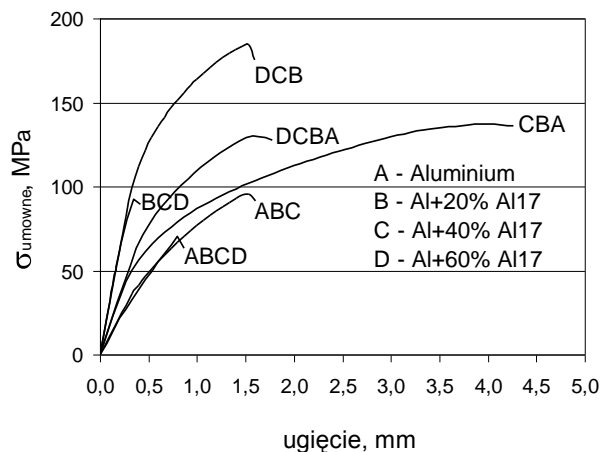


Legenda oznaczeń:

- A - aluminium
- B - Al + 20% masowych Al17Si5Fe3Cu1,1Mg0,6Zr
- C - Al + 40% masowych Al17Si5Fe3Cu1,1Mg0,6Zr
- D - Al + 60% masowych Al17Si5Fe3Cu1,1Mg0,6Zr

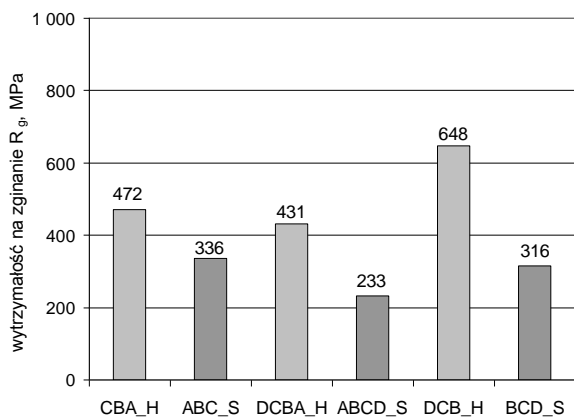
Rys. 4. Sposób ułożenia warstw w próbkach z materiałów kompozytowych i sposób obciążenia podczas ich zginania

Fig. 4. Layer position in composites specimens and their loading during bend testing



Rys. 5. Zmiana naprężenia jednostkowego podczas zginania próbek warstwowych wykonanych z materiałów kompozytowych

Fig. 5. Stress vs displacement during bend test of layer composite materials



Rys. 6. Wytrzymałość na zginanie próbek warstwowych wytworzonych z materiałów kompozytowych. A, B, C, D - oznaczenia warstw jak w tab. 1. Położenie warstwy o największej koncentracji proszku stopowego odpowiednio: H - od strony przyłożenia obciążenia, S - po przeciwnej stronie

Fig. 6. Bend strengths of composite layer specimens A, B, C, D - with layers marked as designated in Table 1. Layer position with highest concentration of powder alloy: H - in direction of force, S - in opposite direction

WNIOSKI

W wyniku zagęszczania na gorąco mieszanek z proszków aluminium RA1-1 i stopowego proszku $Al_{17}Si_5Fe_3Cu_{1,1}Mg_{0,6}Zr$ otrzymano materiały kompozytowe o gęstości zbliżonej do gęstości teoretycznej. Właściwości wytrzymałościowe tak otrzymanych materiałów kompozytowych determinowane są udziałem proszku stopowego $Al_{17}Si_5Fe_3Cu_{1,1}Mg_{0,6}Zr$ w osnowie aluminiowej. Ze wzrostem jego udziału następuje ich zwiększenie. Obniża się jednak znacząco wielkość odkształcenia krytycznego przy ściskaniu.

W wytworzonym warstwowym materiale kompozytowym ze skokowym gradientem składu chemicznego uzyskano kierunkową wytrzymałość na zginanie. Jest ona znacznie większa podczas obciążenia próbki

siłą przyłożoną od strony warstwy o najwyższej zawartości proszku stopowego. Największą wytrzymałość na zginanie uzyskano dla próbki typu DCB, która wynosi 648 MPa, podczas gdy dla próbki typ BCD 316 MPa.

Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2009 jako projekt badawczy nr N507 093 32/2562.

LITERATURA

- [1] Neubrand A., Rödel J., Gradient materials: an overview of a novel concept, *Zeitschrift für Metallkunde* 1997, 88, 358-371.
- [2] Kieback B., Meyer-Olbersleben F., Bautaile mit konträren Eigenschaften aus Gradientenwerkstoffen herstellbar, *Maschinenmarkt* 1999, 105, 38-40.
- [3] Raßbach S., Lehnert W., Simulation of the deformation of graded materials, *Advanced Engineering Materials* 2000, 2, 442-444.
- [4] Szczepanik S., Krawiarz J., Struktura i wybrane własności kompozytu z gradientem składu chemicznego otrzymanego z proszku aluminium i stopu Al-Si-Fe-Cu-Mg, *Kompozyty (Composites)* 2008, 4, 367-374.
- [5] Szczepanik S., Raßbach S., Hot forming of aluminium based gradient materials, *ESAFORM the 5th international conference on Material forming*. Kraków 2002, April 14-17, eds. M. Pietrzyk, Z. Mitura, J. Kaczmar, Publishing House „Akapit”, Kraków 2002, 335-338.
- [6] Szczepanik S., Wojtaszek M., Struktura i wybrane własności kompozytów warstwowych ze stopów Fe-Al otrzymanych metodą metalurgii proszków po zagęszczaniu w matrycy zamkniętej, *Kompozyty (Composites)* 2008, 4, 317-321.
- [7] Szczepanik S., Wpływ zagęszczania na gorąco wyprasek z mieszanek proszków aluminium i stopu $Al_{17}Si_{3,3}Cu_{1,4}Mg_{0,6}Zr$ na własności otrzymanych materiałów, *Rudy i Metale Nieżelazne* 2007, 11, 707-711.