

Badania wytrzymałości na ściskanie materiałów kompozytowych na osnowie stopu AW-AlCu4Mg2Mn umacnianych cząstkami SiC

A. Kurzawa, J. W. Kaczmar

Institut Technologii Maszyn i Automatykacji, Politechnika Wrocławska,
ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław, Polska

Kontakt korespondencyjny: e-mail: adam.kurzawa@pwr.wroc.pl, jacek.kaczmar@pwr.wroc.pl

Received 11.04.2011; Approved for print on: 26.04.2011

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie materiałów kompozytowych na osnowie stopu AW-AlCu4Mg2Mn. Materiały do badań zostały wytworzone metodą infiltracji pod ciśnieniem stopem AW-AlCu4Mg2Mn porowatych kształtek ceramicznych wykonanych z cząstek SiC o wielkości $6\div 10\mu\text{m}$. Praca zawiera analizę przebiegu σ - ε materiałów kompozytowych dla zawartości cząstek SiC wynoszących 10, 20, 30% obj. oraz stopu nieumocnionego. Ponadto przedstawiono analizę mikroskopową powierzchni złomów próbek w płaszczyźnie równoległej do działania siły ściskającej. Wykazano, że badane kompozyty charakteryzują się wyraźnym zmniejszeniem wartości odkształcenia plastycznego wraz ze wzrostem zawartości cząstek umacniających. Materiały nieumocnione w całym zakresie odkształceń wykazują znaczną plastyczność. W przypadku materiałów zawierających 10%obj. SiC w zakresie odkształceń plastycznych następuje nieznaczne umocnienie materiału. Wprowadzenie większej objętości cząstek umacniających do materiałów kompozytowych powoduje znaczne zmniejszenie plastyczności materiałów. Próbki z materiałów o objętości 20 i 30%obj. cząstek SiC ulegają kruchemu pękaniu przy znacznie większych wartościach naprężeń σ .

Słowa kluczowe: materiały kompozytowe, kształtka ceramiczna, krzywa płynięcia, infiltracja ciśnieniowa

Wprowadzenie

Szerokie możliwości zastosowań aluminiowych materiałów kompozytowych na osnowie stopów aluminium w budowie elementów nośnych maszyn i urządzeń [1, 2, 4] sprawiają, że materiały te są niejednokrotnie poddane znacznym i złożonym

obciążeniami. Stosunkowo często wytwarza się z nich części urządzeń (np. układów hamulcowych), w których poddane są ścisłaniu. Z uwagi na to w pracy przeprowadzono analizę zachowania się tych materiałów podczas próby jednoosiowego ścisłania. Jak wykazują badania [1-3, 5-9], wraz ze wzrostem ilości cząstek ceramicznych następuje wzrost twardości, sztywności i odporności na zużycie ścierne takich materiałów

kompozytowych, lecz zmniejsza się ich plastyczność. Zachodzi zatem potrzeba określenia w jakim stopniu wzrost zawartości tych cząstek wpływa na przebieg procesu odkształcania i umacniania się materiału kompozytowego oraz przy jakich wartościach naprężenia dochodzi do jego całkowitego zniszczenia przy działaniu obciążeń ściskających. Ponadto analiza przebiegów krzywych odkształcania (σ - ϵ) otrzymanych podczas ściskania materiałów o różnej objętości cząstek SiC w temperaturze otoczenia może stanowić dodatkową cenną informację przy plastycznym kształtowaniu tych materiałów na zimno. Otrzymane wyniki mogą posłużyć również, między innymi, do projektowania procesów plastycznego kształtowania materiałów kompozytowych, jak również modelowania i symulacji tych procesów z zastosowaniem nowoczesnych technik komputerowych.

Materiały i metodyka badań

Celem badań było określenie wpływu zawartości cząstek ceramicznych SiC w materiałach kompozytowych na przebieg charakterystyk odkształcania plastycznego (σ - ϵ) w czasie próby jednoosiowego ściskania.

Badania zostały przeprowadzone na materiałach kompozytowych wytworzonych w procesie infiltracji pod ciśnieniem stopem AW-AlCu4Mg2Mn (Tabela 1) porowatych kształtek wykonanych z cząstek ceramicznych SiC [4, 6, 8]. Elementy z materiałów kompozytowych zawierające cząstki ceramiczne po infiltracji ciśnieniowej mogą stanowić wyrób gotowy, lecz również dzięki wykorzystaniu na osnowę materiału przeznaczonego do przeróbki plastycznej charakteryzującego się znaczną plastycznością, dają możliwość ich dalszemu kształtowaniu (np. w procesie kucia, walcowania). Zastosowanie metod przeróbki plastycznej do ostatecznego kształtowania wyrobu, w czasie którego dochodzi do przemieszczania się cząstek umacniających w plastycznym materiale osnowy przyczynia się do poprawy równomierności ich rozmieszczenia, a także do „zamykania” ewentualnych porowatości powstałych w wyniku niepełnej infiltracji.

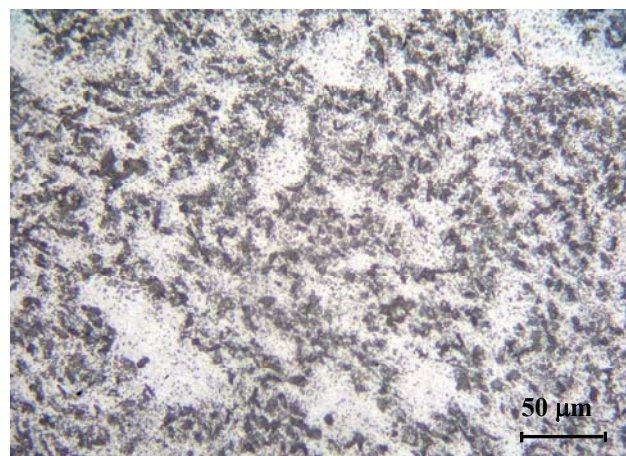
Tabela 1. Skład chemiczny stopu AW-AlCu4Mg2Mn

Udział wagowy [%]	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr
	0,11	0,28	4,33	0,75	1,31	0,01
	Ni	Zn	Ti	Zr	Pb	Al
0,01	0,10	0,03	0,14	0,0021	reszta	

Jako materiał umacniający zostały zastosowane kształtki ceramiczne wykonane z cząstek SiC-CARBOREX wyprodukowane przez firmę Orkla Exolon z Norwegii. Zastosowano cząstki o wielkości 6÷10 μ m. W ramach badań wytworzono materiały kompozytowe zawierające odpowiednio 10%, 20% i 30%obj. cząstek SiC. Na rys. 1 przedstawiono przykładową mikrostrukturę kompozytu zawierającego 10%obj cząstek SiC.

W ramach badań wykonano próbę jednoosiowego ściskania na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 1126, przy stałej prędkości odkształcania wynoszącej 0,033 mm/s w

temperaturze otoczenia $T=20^{\circ}\text{C}$. Badania prowadzono na próbkach w kształcie walca o średnicy $\phi=6\text{mm}$ i wysokości $h=9\text{mm}$ wykonanych z materiałów kompozytowych jak również z nieumocnionego materiału osnowy AW-AlCu4Mg2Mn poddanemu prasowaniu w stanie ciekłym pod ciśnieniem $P=100\text{MPa}$. Wszystkie badane materiały zostały poddane obróbce cieplnej polegającej na przesycaaniu przez 3 godziny w temperaturze 500°C i sztucznym starzeniu przez 12 godzin w temperaturze 170°C (proces T6 – wg ASM).



Rys. 1. Mikrostruktura materiału kompozytowego AW-AlCu4Mg2Mn - 10%obj. cząstek SiC

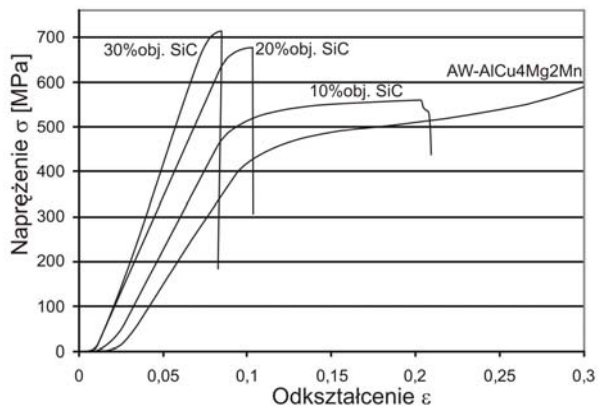
Powierzchnie złomów po próbie jednoosiowego ściskania poddano obserwacjom mikroskopowym na mikroskopie optycznym firmy OLYMPUS CK-40M oraz mikroskopie skaningowym firmy TESLA BS-340. Analizie mikroskopowej poddano powierzchnie próbek uzyskane z ich przecięcia w płaszczyźnie równoległej do kierunku działania siły niszczącej.

Wyniki badań i ich dyskusja

Wyniki przeprowadzonych prób ściskania przedstawiono na rys. 2 w postaci krzywych odkształcania σ - ϵ . Przebiegi te obrazują wpływ objętości cząstek ceramicznych SiC w osnowie stopu AW-AlCu4Mg2Mn na wartość naprężeń σ i stopień odkształcania ϵ .

Jak wynika z przedstawionych zależności, badane kompozyty charakteryzują się wyraźnym zmniejszeniem wartości odkształcania plastycznego wraz ze wzrostem zawartości cząstek umacniających. W przypadku kompozytów zawierających 10%obj. SiC w zakresie odkształceń plastycznych następuje nieznaczne umocnienie materiału. Próbką ulega zniszczeniu przy odkształceniu o wartości 0,2 a wytrzymałość na ściskanie tych materiałów wynosi $R_c=560\text{MPa}$. Zwiększenie zawartości objętościowej cząstek SiC w materiałach kompozytowych powoduje znaczne zmniejszenie plastyczności tych materiałów. Wprowadzenie do osnowy 20% obj. i 30% obj. cząstek SiC powoduje dalsze zmniejszenie

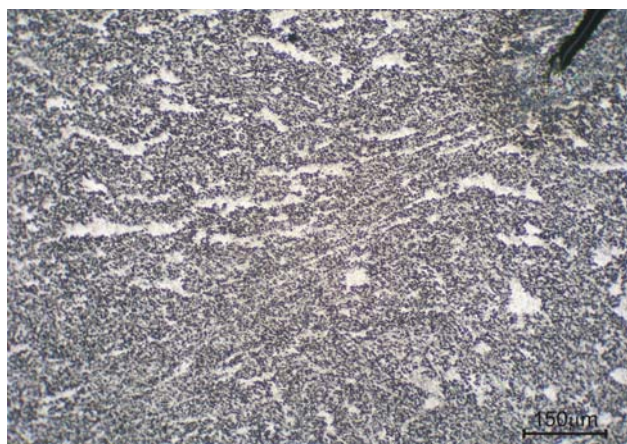
plastyczności i zniszczenie próbek następuje przy znacznie wyższych wartościach naprężeń i przy ok. 50% mniejszym odkształceniu.



Rys 2. Charakterystyki odkształcania σ - ϵ nieumocnionego stopu AW-AlCu4Mg2Mn i materiałów kompozytowych z różnymi zawartościami objętościowymi cząstek SiC

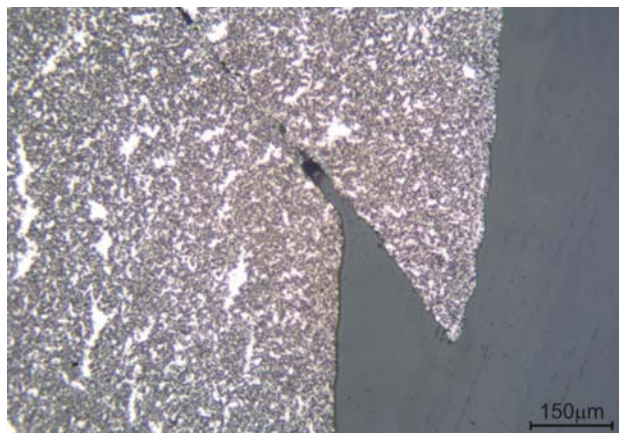
Wytrzymałość na ściskanie dla tych materiałów wynosi odpowiednio: $R_c=675\text{MPa}$ przy 20%obj. SiC i $R_c=710\text{MPa}$ w kompozytach z 30%obj. SiC. Próbkę wykonaną ze stopu AW-AlCu4Mg2Mn nie zawierającego cząstek SiC charakteryzowały się dużą plastycznością ulegając podczas próby ściskania spęczaniu, bez efektu pęknięcia.

W ramach obserwacji mikroskopowych dokonano oceny sposobu tworzenia się złomów w próbkach kompozytowych podczas prowadzonej próby ściskania. We wszystkich próbkach zawierających cząstki umacniające SiC złom powstawał głównie pod kątem 45° do kierunku działania sił ściskających, po płaszczyznach ścinania przebiegających zgodnie z kierunkiem największych naprężeń ścinających. W materiale kompozytowym zawierającym 10%obj. cząstek SiC przy złomie próbki w okolicy płaszczyzny ścinania obserwuje się rozległe odkształcenie plastyczne materiału (rys. 3).

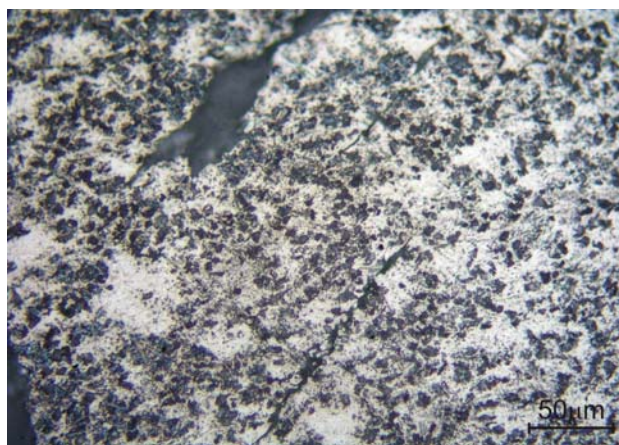


Rys. 3. Strefa przyległa do złomu materiału kompozytowego z zawartością 10%obj. cząstek SiC poddanej jednoosiowemu ściskaniu.

Największy „transport” cząstek obserwuje się na granicach obszarów zawierających dużą koncentrację cząstek z obszarami wypełnionymi materiałem osnowy nie wykazującymi obecności SiC. W miejscach, w których występuje nagromadzenie cząstek SiC efekt płynięcia materiału jest znacznie mniejszy. W próbkach z materiałów zawierających 20 i 30% obj. cząstek SiC strefa odkształceń plastycznych ulega znacznemu zmniejszeniu. Ograniczona przez cząstki plastyczność osnowy prowadzi do efektu kruchego pęknięcia wzdłuż płaszczyzny ścinania (rys. 4).

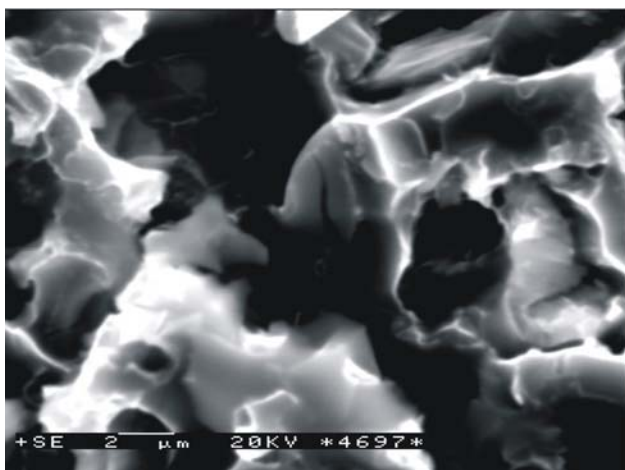


Rys. 4. Złom materiału kompozytowego z zawartością 30%obj. cząstek SiC poddanej jednoosiowemu ściskaniu.



Rys. 5. Złom próbki materiału kompozytowego z 30%obj. cząstek SiC poddanej jednoosiowemu ściskaniu.

Oprócz pęknięcia głównego w okolicy płaszczyzny ścinania występują również pęknięcia dodatkowe. Ich kierunek najczęściej pokrywa się z kierunkiem przebiegu pęknięcia głównego (rys. 5). Obserwacje pęknięć w materiałach kompozytowych przeprowadzone na mikroskopie skaningowym pozwalają stwierdzić, że inicjacja procesu pęknięcia lokalizuje się głównie wewnątrz materiału osnowy oraz w miejscach o dużym nagromadzeniu cząstek ceramicznych. Stosunkowo rzadko proces ten odbywał się po granicach rozdziału cząstka/osnowa. W nielicznych przypadkach obserwowano również pęknięcia przechodzące przez cząstki (rys. 6).



Rys. 6. SEM materiału kompozytowego z zawartością 30% obj. SiC

Podsumowanie

1. Nieumocniony materiał osnowy na osnowie stopu AW-AlCu4Mg2Mn oraz materiał kompozytowy zawierający 10%obj. SiC wykazują podczas ściskania w zakresie odkształceń plastycznych umocnienie, przy czym materiały zawierające cząstki uległy zniszczeniu na skutek pęknięcia, a materiał nieumocniony był spęczany bez pęknięć.
2. Materiał kompozytowy z zawartością 10%obj. cząstek SiC w porównaniu do materiałów zawierających 20% i 30% obj. cząstek SiC wykazuje znaczną zdolność do odkształceń plastycznych.
3. Zwiększenie objętości cząstek ceramicznych SiC w badanych materiałach kompozytowych wpływa na zmniejszenie stopnia odkształcenia ϵ i powoduje zwiększenie naprężeń ściskających.
3. Zniszczenie próbek materiałów z zawartością 20 i 30% obj. SiC następowało głównie poprzez kruche pęknięcie próbek. W materiałach o największej objętości cząstek (30% obj.) pęknięcia najczęściej występowały w miejscach o dużym nagromadzeniu cząstek SiC. W tych materiałach obserwowano także znacznie częściej pęknięcia cząstek ceramicznych.

The compression strength investigations of AW-AlCu4Mg2Mn alloy based composites reinforced with SiC particles

Abstract

In this paper strength tests of composite materials based on AW-AlCu4Mg2Mn obtained in uniaxial compression test was studied. Materials used for examination were made from AW-AlCu4Mg2Mn alloy and porous preforms of SiC particles (grain size 6-10 μ m) by pressure infiltration (squeeze casting). The stress-strain curves of the materials with 10% vol., 20% vol., 30% vol. particles of SiC, as well unreinforcement alloy and microstructure of scrap surface samples in a plane parallel to the compressive force were analyzed. The investigated metal matrix composites are characterized by marked reduced the plastic strain values with increasing particle strengthening while the unreinforcement materials throughout the range of deformation show considerable plasticity. In the case of the material containing 10% vol of SiC the plastic strain is a slight strengthening of the material. With increasing of the particle content the plasticity decreases. Materials with 20%vol and 30%vol of SiC particles were brittle cracked at much higher values of stress σ .

4. W materiałach kompozytowych zawierających 10%obj. SiC dochodzi podczas ściskania do rozległych deformacji materiału w okolicach płaszczyzny ścinania.
5. Pęknięcia materiału inicjowane były głównie wewnątrz materiału osnowy, a tylko w nielicznych przypadkach przechodziły przez granicę rozdziału cząstka/osnowa i wewnątrz cząstek SiC.

Literatura

- [1] Qiang Zhang., Gaohui Wu., Long Tao: Tensile deformation behavior of a sub-micrometer Al₂O₃/6061Al composite, *Materials Science and Engineering: A*, vol. 483-484, 2008, 281-284.
- [2] Rosso M.: Ceramic and metal matrix composites: route and properties, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 175, 2006, 364-375.
- [3] Wojtaszek M., Szczepanik S.: Wybrane własności kompozytów aluminium-cząstki węgla krzemu otrzymanych z proszków w procesie kucia na gorąco i po odkształcaniu na zimno, *Kompozyty*, nr 3, 2005, 68-76.
- [4] Kaczmar J.W. Kurzawa A.: Structure and properties of porous ceramic preforms made of α -alumina particles, *Archives of Foundry Engineering*, vol. 10, spec. iss. 1, 2010, 157-162.
- [5] Fraś E., Klubs A., Janas A.: Wpływ rodzaju fazy wzmacniającej na naprężenie płynięcia plastycznego wybranych kompozytów MMCs o osnowie aluminiowej, *Kompozyty*, nr 6, 2003, 120-124.
- [6] Kurzawa A, Kaczmar J.W, Janus A: Selected mechanical properties of aluminum composite materials reinforced with SiC particles, *Archives of Foundry Engineering*, vol. 8, iss. 2, 2008, 99-102.
- [7] Kurzawa A, Kaczmar J.W, Janus A: Wear properties of AW-AlCu4Mg2Mn-SiC composite materials, *Visnik Chmel'nickogo Nacional'nogo Universitetu*, nr 4, t.2, 2007, 44-47.
- [8] Kurzawa A, Kaczmar J.W, Janus A: Badania mikroskopowe materiałów kompozytowych typu PA7-SiCp, *Materialove Inzinerstvo*, Roc. 13, cis. 3, 2006, 82-84.
- [9] Braszczyńska-Malik K., N. Chmielowiec P.: Behaviour of MgZn6-SiCp composites during compression test, *Composites*, vol. 5, 2005, 99-104.