

Stefan Szczepanik¹, Marek Wojtaszek², Jerzy Krawiarz³

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Metalurgii i Inżynierii Materiałowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

WPLYW TEMPERATURY WYCISKANIA NA STRUKTURĘ I WŁASNOŚCI KOMPOZYTÓW OTRZYMANYCH Z WYPRASEK Z PROSZKU STOPU Al_{8,84}%Cu_{6,33}%Si_{0,65}%Mg I CZĄSTEK WĘGLIKA KRZEMU

Omówiono zagadnienia związane z wpływem temperatury wyciskania wyprasek kompozytów otrzymanych z proszku stopu Al_{8,84}%Cu_{6,33}%Si_{0,65}%Mg i cząstek SiC na ich strukturę i własności mechaniczne po wyciskaniu. Badania wyciskania ze współczynnikiem $\lambda = 13,32$ przeprowadzono w temperaturze 510, 520 i 530°C po wygrzewaniu wyprasek w czasie 15 lub 30 min. W wypraskach nagrzewanych w temperaturze 510°C w czasie 30 min faza ciekła występuje w ilości 11,8% obj. oraz w ilości 28,7% obj. po nagrzewaniu w temperaturze 530°C w czasie 15 min (rys. rys. 2 i 3). Tak przyjęty przedział temperatury pozwolił na określenie wpływu udziału fazy ciekłej na wielkość i zmianę siły w czasie wyciskania (rys. 4) oraz na gęstość kompozytów po wyciskaniu (rys. 6). Zwiększenie temperatury wyciskania powoduje zmniejszenie siły potrzebnej do realizacji procesu zarówno dla wyprasek z materiału osnowy kompozytu, jak i wyprasek z kompozytów. Gęstości po wyciskaniu są zbliżone do gęstości teoretycznych, przy czym materiał kompozytowy o zawartości 5% obj. SiC ma nieznacznie mniejsze gęstości od kompozytu zawierającego 2% obj. SiC. Otrzymane materiały posiadają własności zależne od temperatury procesu wyciskania i zastosowanej obróbki cieplnej (tab. 1, rys. rys. 6 i 7). Znacznie lepsze własności wytrzymałościowe ma materiał po obróbce cieplnej. Podwyższenie temperatury wyciskania z 510 na 530°C, pomimo wzrostu udziału fazy ciekłej w odkształcanym materiale, nie spowodowało wyraźnego pogorszenia własności.

Słowa kluczowe: wyciskanie, wypraska, faza umacniająca, osnowa ze stopu aluminium, kompozyt, faza ciekła, własności mechaniczne

THE INFLUENCE OF EXTRUSION TEMPERATURE OF PREFORMS FROM Al_{8.84}%Cu_{6.33}%Si_{0.65}%Mg ALLOY REINFORCED WITH SiC PARTICLES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE PRODUCTS

The paper discusses the influence of the extrusion temperature of the preforms from Al_{8.84}%Cu_{6.36}%Si_{0.65}%Mg alloy based composites reinforced with SiC particles on the structure and mechanical properties of the products. The extrusion was carried out with the ratio $\lambda = 13.32$ at 510, 520, 530°C after the compacts have been heated during 15 or 30 min. In the compacts heated at 510°C during 30 min the liquid phase contents are 11.8 vol.% and 28.7 vol.% after heating at 530°C in 15 min (Figs. 2, 3). The adopted range of temperature allowed for the indirect determining of the influence of the liquid phase content on the force and its magnitude (Fig. 4) and the relative density of the products (Fig. 5). Thanks to the increase of the extrusion temperature, the force needed to the deformation is smaller for the matrix as well as for the composite. The relative densities of the extruded materials are comparable. The composite material with 5 vol.% SiC content has slightly smaller density than the material with 2 vol.% SiC. The obtained materials have their properties dependent on the extrusion temperature and the heat treatment conditions applied (Tab. 1 and Figs. 6, 7). The material after heat treatment has higher values of strength properties. The increase of the extrusion temperature from 510 to 530°C doesn't cause a significant change of these properties despite the increase of the liquid phase content.

Key words: extrusion, preform, reinforced phase, aluminum alloy matrix, composite, liquid phase, mechanical properties

WPROWADZENIE

Dla stopów trudno odkształcalnych stosowanych dotychczas głównie jako stopy odlewnicze poszukuje się warunków odkształcalności przez zmiany w ich strukturze. Jednym z kierunków takich poszukiwań jest ich odkształcanie z udziałem fazy ciekłej, która współistnieje z fazą stałą w stopach podczas ich krzepnięcia lub w wyniku nagrzewania do temperatury pomiędzy temperaturą solidus a likwidus. Dąży się przy tym do opracowania takich warunków odkształcania stopów z udziałem fazy ciekłej, które umożliwią otrzymanie wyrobów o

wysokich własnościach przy małych naciskach jednostkowych podczas jego realizacji. Faza ciekła obecna w strukturze odkształcanego materiału ułatwia wypełnianie przez niego wykroju matrycy, co umożliwia otrzymanie w jednym zabiegu odkuwek o skomplikowanych kształtach. W ostatnim okresie prowadzi się intensywne badania nad odkształcaniem stopów z udziałem fazy ciekłej [1-3, 7, 8]. Aktualnie zaawansowane są badania nad odkształcaniem stopów na osnowie aluminium [1-3, 9, 10]

¹ prof. dr hab. inż., ^{2,3} dr inż.

oraz stopów żelaza [3, 7, 8], których celem było opracowanie niekonwencjonalnych technologii wytwarzania półwyrobów i wyrobów o wysokich własnościach, przy jednoczesnym polepszeniu ekonomiki produkcji. Istnieją również potencjalne możliwości zastosowania tego procesu do odkształcania stopów otrzymanych metodą metalurgii proszków i kompozytów na ich podstawie [4-6]. W pracy zaprezentowano wyniki badań wyciskania kompozytów z proszku stopu aluminium $\text{Al}_{8,84\%}\text{Cu}_{6,33\%}\text{Si}_{0,65\%}\text{Mg}$ i cząstek węgla krzemu z udziałem fazy ciekłej i bez jej udziału oraz własności uzyskanych wyrobów.

BADANIA WŁASNE

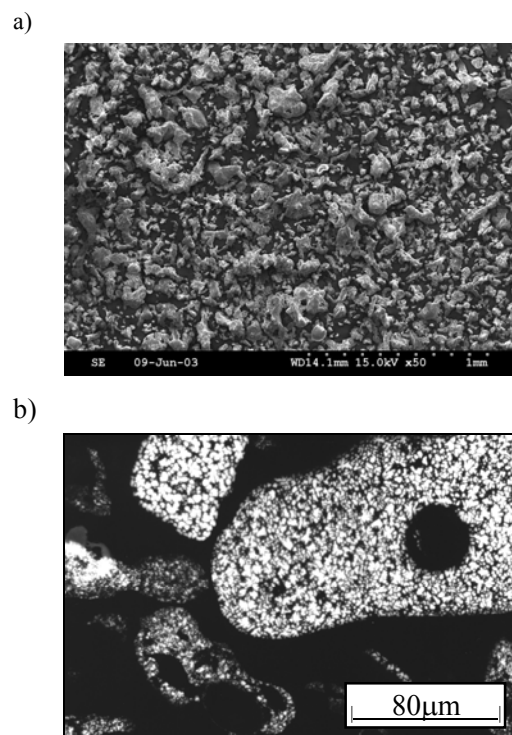
Celem badań jest określenie wpływu temperatury wyciskania na parametry siłowe i własności wyrobów wytwarzanych z wyprasek kompozytów otrzymanych z proszku stopu aluminium $\text{Al}_{8,8\%}\text{Cu}_{6,36\%}\text{Si}_{0,36\%}\text{Mg}$ i cząstek węgla krzemu w ilości 2 lub 5% obj. Wyciskanie zrealizowano w temperaturach: 510, 520 i 530°C, stosując współczynnik wyciskania 13,32.

MATERIAŁ DO BADAŃ I JEGO STRUKTURA

Dla stopu $\text{Al}_{8,84\%}\text{Cu}_{6,33\%}\text{Si}_{0,65\%}\text{Mg}$ w postaci odlewu i wypraski z proszku opracowano krzywe nagrzewania w układzie temperatura-czas. Poprzez analizę cieplną określono dla tego stopu temperaturę solidus, która wynosi 508°C. Na rysunku 1 pokazano kształt cząstek proszku stopu $\text{Al}_{8,84\%}\text{Cu}_{6,33\%}\text{Si}_{0,65\%}\text{Mg}$ i jego strukturę. Na podstawie badań [11], dotyczących wpływu postaci i stanu stopu na tworzenie się w nim struktury tixotropowej, przyjęto czas nagrzewania wyprasek 30 min w zadanej temperaturze przed wyciskaniem. Na rysunkach 2 i 3 pokazano struktury wyprasek z proszku po wygrzewaniu przed odkształcaniem w temperaturach 510 lub 530°C w ciągu 30 min i następnym ochłodzeniu w wodzie.

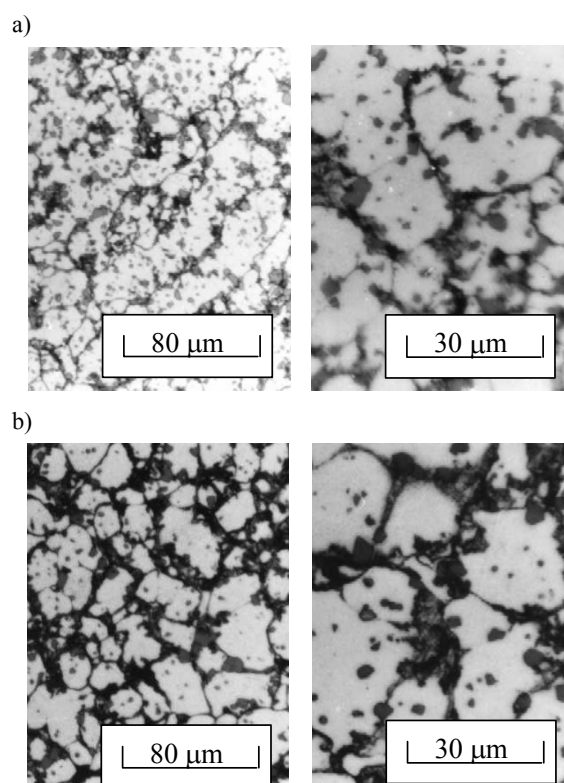
Produkty krystalizacji cieczy eutektycznej występują w postaci siatki po granicach ziarn fazy stałej typu roztworu stałego. W próbkach wyżarzonych w temperaturze 510°C w czasie 30 min udział fazy ciekłej wynosi 11,8% obj. (rys. 2). Więcej fazy ciekłej, około 28,7% obj., występuje w materiale wyżarzonym w temperaturze 530°C po wygrzewaniu w czasie 15 min (rys. 3).

Do wyciskania przygotowano wypraski kompozytu z mieszanki proszku stopu $\text{Al}_{8,84\%}\text{Cu}_{6,33\%}\text{Si}_{0,65\%}\text{Mg}$ i cząstek węgla krzemu w ilości 2 i 5% obj. Mieszanke proszków zagęszczano na wypraski o gęstości względnej $0,574 \pm 0,03$. Wypraski wyciskano ze współczynnikiem 13,32 w temperaturze: 510, 520 i 530°C, po ich uprzednim wygrzewaniu w zadanej temperaturze w czasie 30 min. Przy tak przyjętych temperaturach odkształcanie wyprasek prowadzone było z udziałem fazy ciekłej.



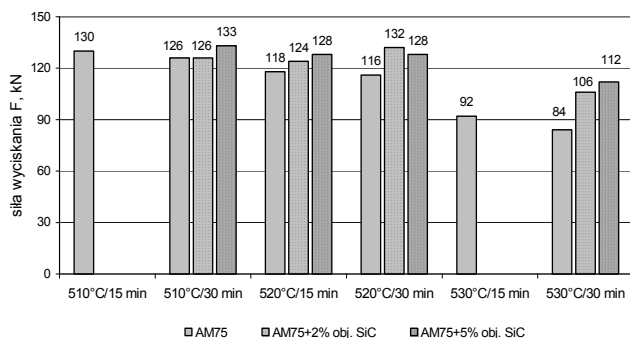
Rys. 1. Kształt (a) i struktura (b) cząstek proszku stopu $\text{Al}_{8,84\%}\text{Cu}_{6,33\%}\text{Si}_{0,65\%}\text{Mg}$

Fig. 1. Shape (a) and the structure (b) of $\text{Al}_{8.84\%}\text{Cu}_{6.33\%}\text{Si}_{0.65\%}\text{Mg}$ alloy powder particles



Rys. 2. Struktura wypraski z proszku stopu $\text{Al}_{8,84\%}\text{Cu}_{6,33\%}\text{Si}_{0,65\%}\text{Mg}$ po nagrzaniu: a) do temperatury 510°C, wytrzymaniu przy tej temperaturze 30 min oraz ochłodzeniu w wodzie, b) do temperatury 530°C i wytrzymaniu przy tej temperaturze 15 min oraz ochłodzeniu w wodzie

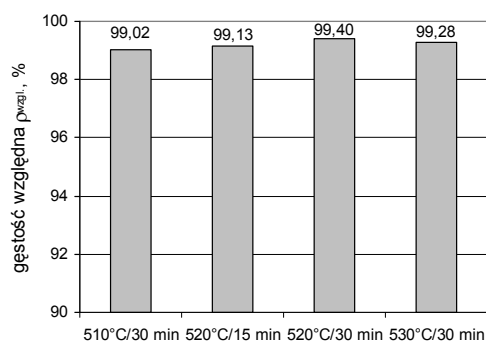
Fig. 2. Structure of the $\text{Al}_{8.84\%}\text{Cu}_{6.33\%}\text{Si}_{0.65\%}\text{Mg}$ alloy preform: a) after heating at 510°C during 30 min and cooling in water, b) after heating at 530°C during 15 min and cooling in water



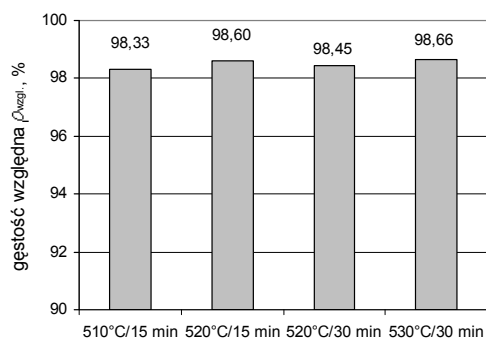
Rys. 3. Siła wyciskania w zależności od temperatury i czasu wygrzewania przed odkształcaniem dla wyprasek z proszku stopu Al8,84%Cu6,33%Si0,65%Mg (AM75) i kompozytów na jego podstawie umocnionych cząstkami węgla krzemu

Fig. 3. Extrusion force in dependence of temperature and heating time before forming of the Al8.84%Cu6.33%Si0.65%Mg (AM75) alloy preforms and composites on its basis reinforced with SiC particles

a)



b)



Rys. 4. Gęstość względna wyciskanego materiału w zależności od temperatury i czasu wygrzewania przed odkształcaniem wyprasek kompozytu na podstawie proszku stopu Al8,84%Cu6,33%Si0,65%Mg zawierającego: a) 2% obj. SiC, b) 5% obj. SiC

Fig. 4. Relative density of extruded materials vs temperature and time of heating before forming of composites with PM Al8.84%Cu6.33%Si0.65%Mg alloy matrix with content: a) 2 vol.% SiC, b) 5 vol.% SiC

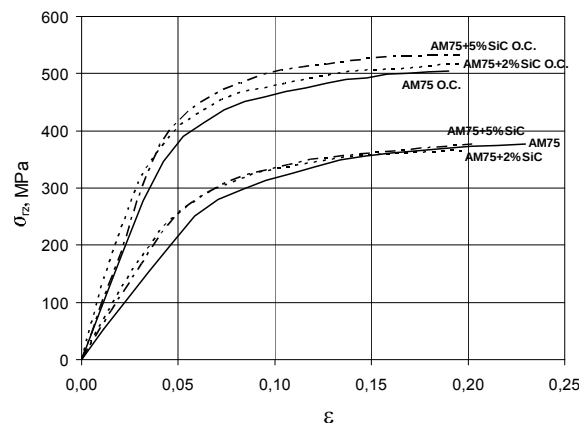
Podczas wyciskania w warunkach izotermicznych na prasie hydraulicznej dokonano pomiaru zmian siły w zależności od przemieszczenia stempla. Na rysunku 3 przedstawiono wartości sił wyciskania, które występują w ustabilizowanym etapie procesu odkształcania. Odkuwki po wyciskaniu chłodzono na powietrzu. W wyniku wyciskania wyprasek z proszku stopu Al8,84%Cu6,33%Si0,65%Mg i kompozytów na jego

osnowie otrzymano materiał o gęstościach zbliżonych do gęstości teoretycznej (rys. 4), niezależnie od temperatury realizacji procesu.

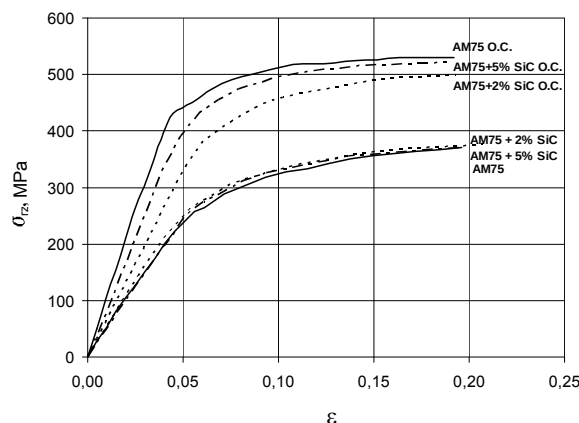
WŁASNOŚCI MECHANICZNE WYCISKANYCH MATERIAŁÓW

Własności mechaniczne wyciskanych materiałów określono w stanie po wyciskaniu i chłodzeniu na powietrzu oraz po obróbce cieplnej złożonej z przesycania (500°C, 4 h i chłodzenie w wodzie) oraz starzenia (180°C, 5 h). Badano twardość, wytrzymałość na zginanie oraz na ściskanie otrzymanych materiałów. Wartości średnie wskaźników badanych własności podano w tabeli 1. Na podstawie zmierzonych zależności siła-odkształcenia podczas ściskania opracowano krzywe umocnienia przedstawione na rysunkach 5 i 6.

a)

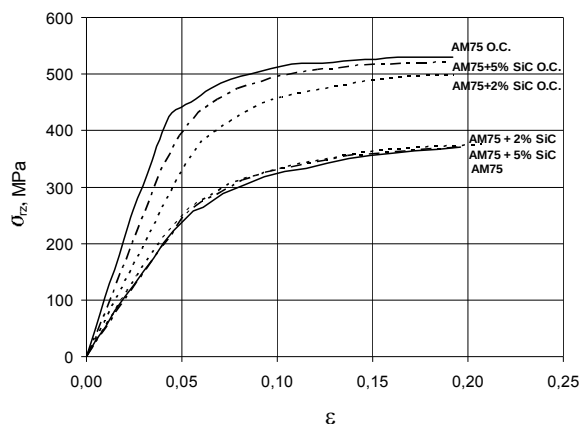


b)



Rys. 5. Zależność naprężenie-odkształcenie dla materiału osnowy i kompozytów umocnionych cząstkami węgla krzemu otrzymanych w procesie wyciskania w temperaturze 520°C wyprasek wytrzymałych przed wyciskaniem, w tej temperaturze w czasie: a) 15 min, b) 30 min oraz poddanych po wyciskaniu przesycaniu i starzeniu (OC)

Fig. 5. Stress-strain relationship for materials of the matrix and composites reinforced with SiC particles obtained by extrusion of preforms at 520°C and heated at this temperature during: a) 15 min, b) 30 min after solution treatment and ageing (OC)



Rys. 6. Zależność naprężenie-odkształcenie dla materiału osnowy i kompozytów umocnionych cząstkami węgla krzemu otrzymanych w procesie wyciskania w temperaturze 530°C wyprasek wytrzymałych w tej temperaturze przed wyciskaniem w czasie 30 min w stanie po wyciskaniu oraz po przesycaniu i starzeniu (OC)

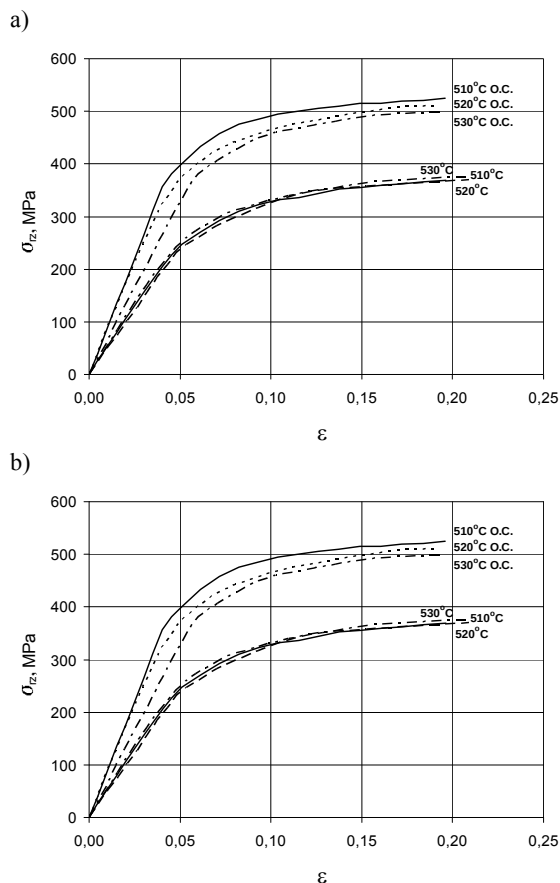
Fig. 6. Stress-strain relationship for materials of the matrix and composites reinforced with SiC particles obtained by extrusion of preforms at 530°C and heated at this temperature during 30 min after solution treatment and ageing (OC)

TABELA 1. Średnie wskaźniki własności mechanicznych wyciskanych wyrobów ze współczynnikiem wyciskania $\lambda = 13,32$ z proszku stopu Al8,84%Cu6,33%Si0,65%Mg oraz kompozytów na jego osnowie umocnionych cząstkami węgla krzemu w zależności od temperatury i czasu nagrzewania przed odkształceniem oraz stanu materiału po wyciskaniu

TABLE 1. Average mechanical properties the extruded products with ratio $\lambda = 13.32$ from Al8.84%Cu6.33%Si0.65%Mg powder and composites reinforced with SiC particles in dependence of temperature and heating time before forming and heat treatment

Temperatura wyciskania, °C	Czas nagrzewania przed wyciskaniem min	Wytrzymałość na ściskanie R_c , MPa	Odształcenie krytyczne przy ściskaniu ε_{kr}	Wytrzymałość na zginanie σ_{zg} , MPa	Twardość HB	Zawartość SiC, %	Uwagi
510	30	709±34	0,41±0,04	804	98	0	-
		1068±196	0,44±0,06	992	124	0	OC
		764±215	0,50±0,10	675±67	93	2	-
		755±74	0,30±0,02	901±75	128	2	OC
		599±22	0,34±0,05	614±12	97	5	-
		686±36	0,24±0,02	773±49	117	5	OC
520	15	777±44	0,47±0,03	601	91	0	-
		887±20	0,38±0,02	900	135	0	OC
		669±48	0,45±0,02	631±52	90	2	-
		774±25	0,30±0,03	896±21	136	2	OC
		587±19	0,34±0,03	572±36	92	5	-
		723±18	0,25±0,03	781±50	143	5	OC
	30	766±4	0,48±0,02	642	93	0	-
		898±38	0,50±0,03	908	134	0	OC
		741±73	0,49±0,04	660±33	92	2	-
		754±53	0,28±0,04	868±57	140	2	OC
		650±47	0,36±0,12	553±59	93	5	-
		662±36	0,24±0,04	723±45	144	5	OC
530	15	656±99	0,29±0,03	667±61	89	0	-
		751±169	0,35±0,06	917±133	140	0	OC
	30	688±114	0,42±0,06	648±47	88	0	-
		788±52	0,35±0,02	767±82	144	0	OC
		685±117	0,42±0,08	616±70	94	2	-
		741±28	0,30±0,02	857±89	152	2	OC
		570±14	0,32±0,04	544±6	92	5	-
		684±29	0,23±0,03	748±87	135	5	OC

OC: przesycanie 500°C, 4 h woda i starzenie 180°C, 5 h powietrze



Rys. 7. Zależność naprężenie-odkształcenie dla kompozytów umocnionych cząstkami węgla krzemowego w ilości: a) 2% obj., b) 5% obj. otrzymanych w procesie wyciskania w temperaturach 510, 520 i 530°C wyprasek wytrzymałych w tych temperaturach przed wyciskaniem w czasie 30 min w stanie po wyciskaniu oraz po przesycaniu i starzeniu (OC)

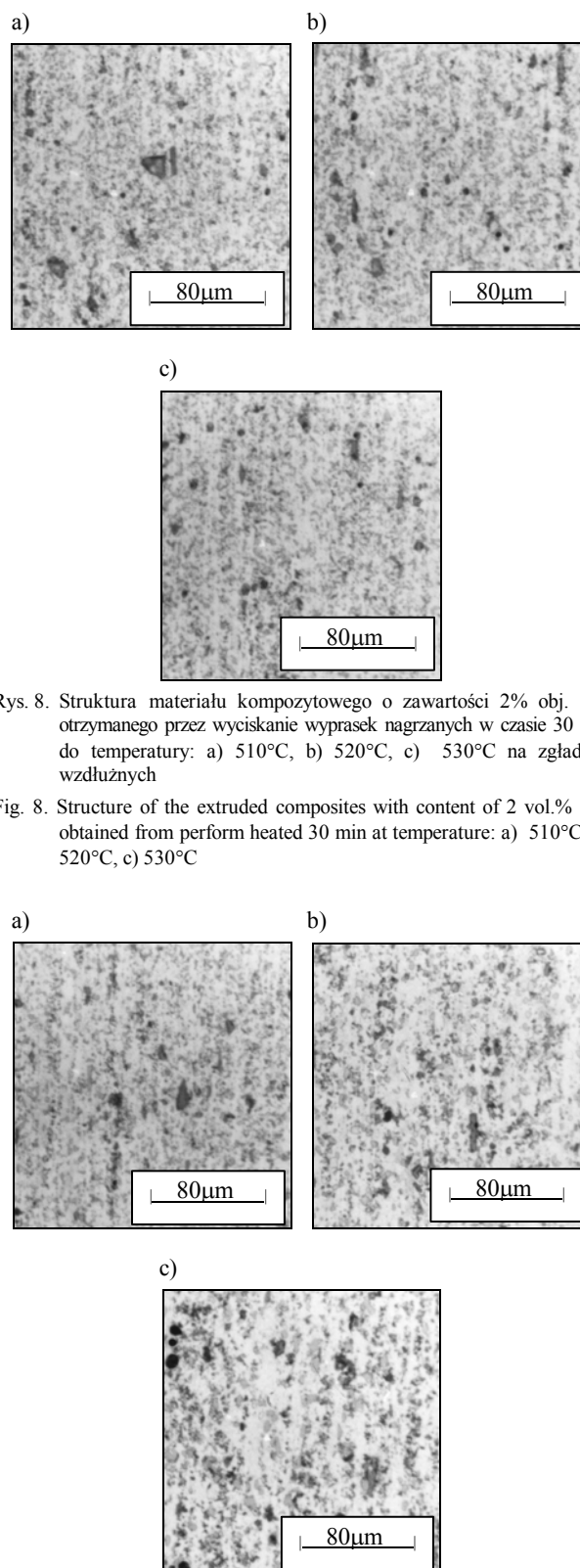
Fig. 7. Stress-strain relationship for materials of the matrix and composites reinforced with SiC particles: a) 2 vol.%, b) 5 vol.% obtained by extrusion at 520, 520, 530°C of preforms heated at these temperatures during 30 min and after solution treatment and ageing (OC)

STRUKTURA MATERIAŁÓW

Struktury wyciskanych materiałów, obserwowane na mikroskopie świetlnym, pokazano na zglądach wzdłużnych (rys. rys. 8 i 9). W części wyciśniętej wypraski siatka zakrzepniętej fazy ciekłej, widoczna w wyprase na rysunku 2, jest rozproszona i niewidoczna po granicach ziarn fazy stałej. Nie występują również pory na przekroju wyciśniętego materiału. Cząstki fazy umacniającej nie występują w skupiskach i są rozłożone nierównomiernie.

Powierzchnie przełomów próbek otrzymanych materiałów kompozytowych po próbie ich zginania mają charakter dołączkowy i wykazują cechy przełomów plastycznych. Przechodzą one zarówno przez drobnoziarniste produkty krzepnięcia fazy ciekłej, jak i przez ziarna fazy typu roztworu stałego tworzących osnowę metaliczną. Nie obserwuje się na przełomach pierwotnych granic cząstek proszków, co świadczy o wystarczającym stopniu przerobu materiału wyprasek. Widoczne

są na nich osadzone w osnowie metalicznej cząstki fazy umacniającej SiC (rys. rys. 10-15).

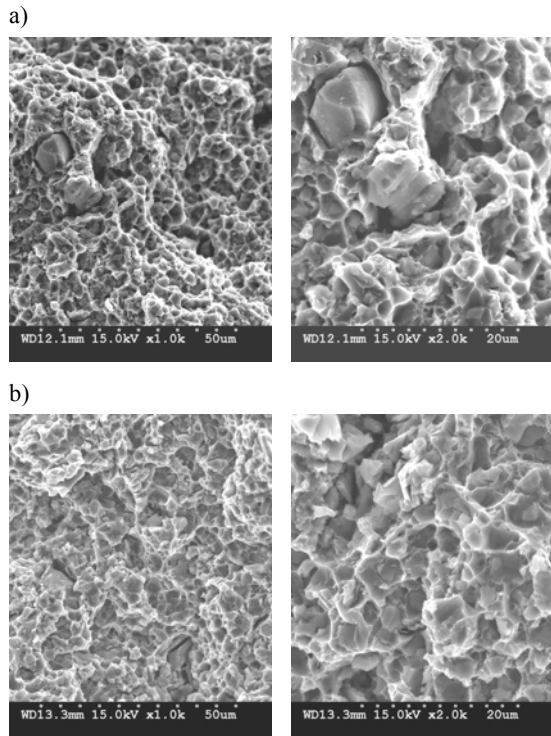


Rys. 8. Struktura materiału kompozytowego o zawartości 2% obj. SiC otrzymanego przez wyciskanie wyprasek nagranych w czasie 30 min do temperatury: a) 510°C, b) 520°C, c) 530°C na zglądach wzdłużnych

Fig. 8. Structure of the extruded composites with content of 2 vol.% SiC obtained from perform heated 30 min at temperature: a) 510°C, b) 520°C, c) 530°C

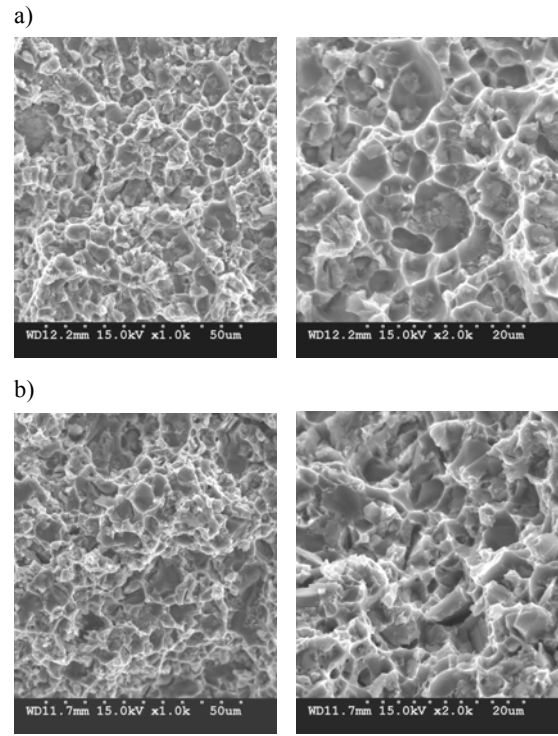
Rys. 9. Struktura materiału kompozytowego o zawartości 5% obj. SiC otrzymanego przez wyciskanie wyprasek wygrzanych przez 30 min w temperaturze: a) 510°C, b) 520°C, c) 530°C na zglądach wzdłużnych

Fig. 9. Structure of the extruded composites with content of 5 vol.% SiC obtained from performs heated 30 min at temperature: a) 510°C, b) 520°C, c) 530°C



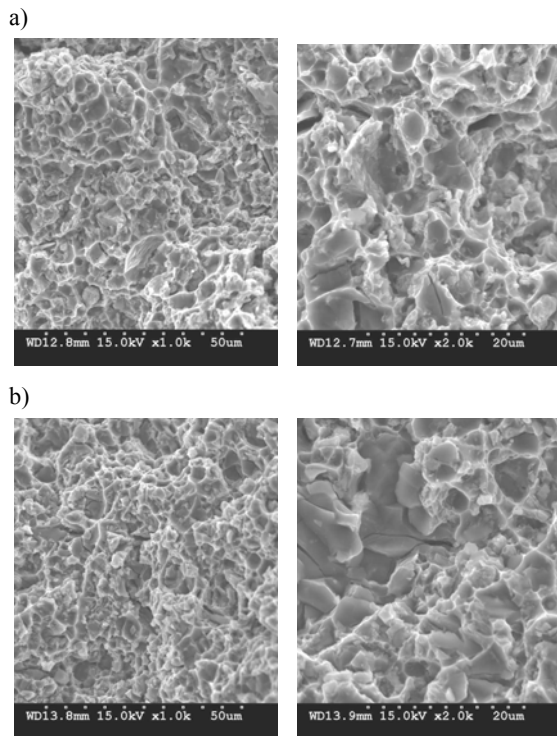
Rys. 10. Przelomy materiału kompozytowego otrzymanego przez wyciskanie wygrzanych przez 30 min w temperaturze 510°C wyprasek o zawartości 2% obj. SiC: a) w stanie po wyciskaniu, b) w stanie po wyciskaniu oraz przesycaniu i starzeniu

Fig. 10. Destruction surface of extruded composites from preforms with content 2% vol. SiC heated at 510°C during 30 min: a) after extrusion, b) after extrusion, solution and ageing



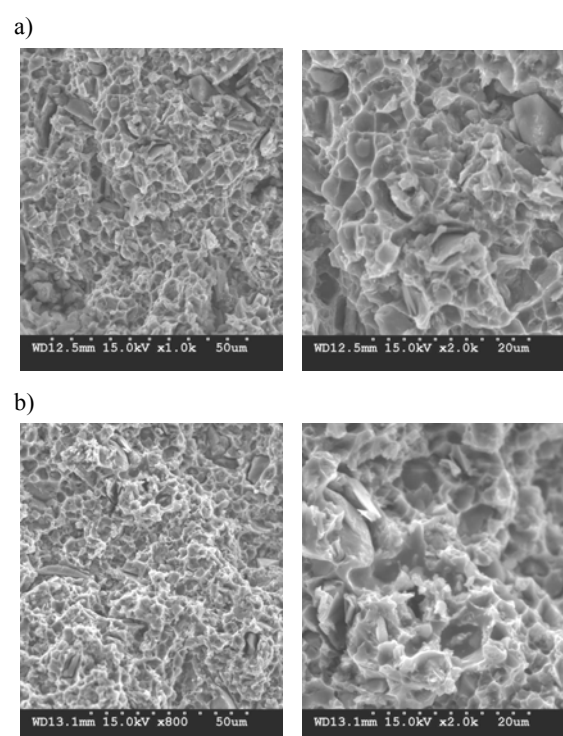
Rys. 12. Przelomy materiału kompozytowego otrzymanego przez wyciskanie wygrzanych przez 30 min w temperaturze 520°C wyprasek o zawartości 2% obj. SiC: a) w stanie po wyciskaniu, b) w stanie po wyciskaniu oraz przesycaniu i starzeniu

Fig. 12. Destruction surface of extruded composites from preforms with content 2% vol. SiC heated at 520°C during 30 min: a) after extrusion, b) after extrusion, solution and ageing



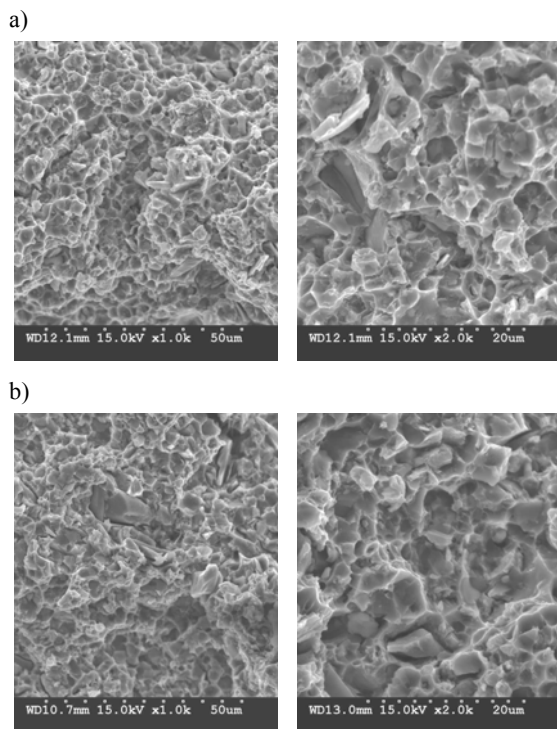
Rys. 11. Przelomy materiału kompozytowego otrzymanego przez wyciskanie wygrzanych przez 15 min w temperaturze 520°C wyprasek o zawartości 2% obj. SiC: a) w stanie po wyciskaniu, b) w stanie po wyciskaniu oraz przesycaniu i starzeniu

Fig. 11. Destruction surface of extruded composites from preforms with content 2% vol. SiC heated at 520°C during 15 min: a) after extrusion, b) after extrusion, solution and ageing



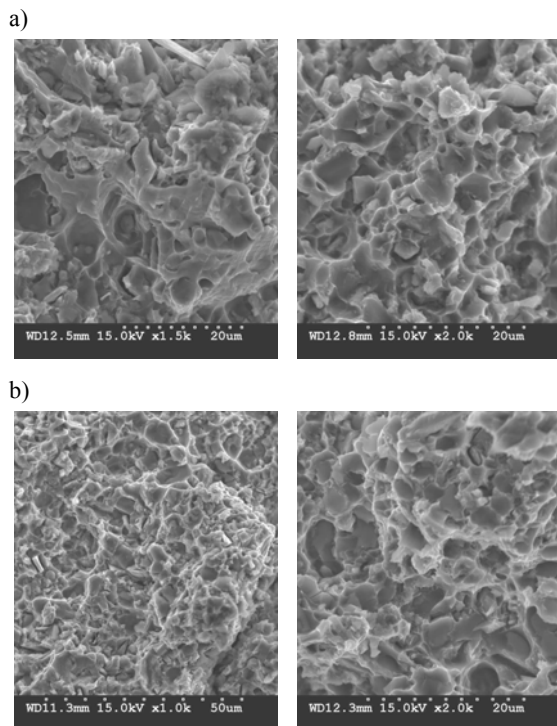
Rys. 13. Przelomy materiału kompozytowego otrzymanego przez wyciskanie wygrzanych przez 30 min w temperaturze 510°C wyprasek o zawartości 5% obj. SiC: a) w stanie po wyciskaniu, b) w stanie po wyciskaniu oraz przesycaniu i starzeniu

Fig. 13. Destruction surface of extruded composites from preforms with content 5% vol. SiC heated at 510°C during 30 min: a) after extrusion, b) after extrusion, solution and ageing



Rys. 14. Przelomy materiału kompozytowego otrzymanego przez wyciskanie wygrzanych w czasie 15 min w temperaturze 520°C wyprasek o zawartości 5% obj. SiC: a) w stanie po wyciskaniu, b) w stanie po wyciskaniu oraz przesycaniu i starzeniu

Fig. 14. Destruction surface of extruded composites from preforms with content 5% vol. SiC heated at 520°C during 15 min: a) after extrusion, b) after extrusion, solution and ageing



Rys. 15. Przelomy materiału kompozytowego otrzymanego przez wyciskanie wygrzanych w czasie 30 min w temperaturze 520°C wyprasek o zawartości 5% obj. SiC: a) w stanie po wyciskaniu, b) w stanie po wyciskaniu oraz przesycaniu i starzeniu

Fig. 15. Destruction surface of extruded composites from preforms with content 5% vol. SiC heated at 520°C during 30 min: a) after extrusion, b) after extrusion, solution and ageing

PODSUMOWANIE

1. Badania procesu wyciskania wyprasek z proszku stopu Al8,4%Cu6,33%Si0,65%Mg i kompozytów na jego podstawie w temperaturach 510, 520 i 530°C pozwoliły na wytworzenie wyrobów z materiałów z udziałem fazy ciekłej podczas ich odkształcania i pośrednio na analizę jej oddziaływania na własności wyrobów.
2. Proces wyciskania wyprasek z materiału osnowy i kompozytu umocnionego cząstkami SiC z udziałem fazy ciekłej wymaga znacznie mniejszych sił od sił występujących podczas wyciskania poniżej temperatury solidus.
3. Badania struktury wykazały, że produkty krzepnięcia fazy ciekłej są bardzo rozproszone w wyciśniętej części wyrobu w stosunku do sposobu ich rozmieszczenia w materiale wyjściowego w postaci wypraski z proszku.
4. Wyciskane materiały posiadają własności zależne od temperatury realizacji procesu i zastosowanej obróbki cieplnej, a występująca w nich określona ilość fazy ciekłej podczas wyciskania nie powoduje znacznych zmian własności wyrobów.

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2002-2005 jako projekt badawczy KBN 7 T08D 023.

LITERATURA

- [1] Łapkowski W., Odształcanie plastyczne stopów metali w stanie półciekłym, *Hutnik - Wiadomości Hutnicze* 1993, 327-329.
- [2] Kiuchi M., Sugiyama S., Application of Mashy State Extrusion, *Journal of Materials Shaping Technology* 1990, 8, 1, 39-51.
- [3] Łapkowski W., Kędziński Z., Sińczak J., Odształcanie w stanie półciekłym stopów o strukturze tiksotropowej, *Mat. Konf. Projekty badawcze z zakresu przeróbki plastycznej metaloznawstwa i technologii spiekowych*, Szklarska Poręba 1997, 76-85.
- [4] Li Z., Fearis W., North H., Particulate segregation and mechanical properties in transient liquid phase bonded metal matrix composite material, *Materials Science and Technology* 1995, 1, 363-369.
- [5] Askew J.R., Wilde J.F., Khan T.I., Transient liquid phase bonding of 2124 aluminium metal matrix composite, *Materials Science and Technology* 1998, 14, 920-924.
- [6] Moreno M.F., Urretavizcaya G., Gonzalez Oliver C.J.R., Hot pressing densification of Al (Al-Cu) short Al₂O₃ fibres mixtures, *Powder Metallurgy* 2000, 43, 1, 83-88.
- [7] Bremer T., Martens H.-P., Kopp R., Thixoschmieden. Umformtechnik mit Kreativität zu innovativen Lösungen, *Aachener Stahlkolloquium*, Aachen 1995.
- [8] Kopp R., Müller T., Neudenberger D., Winning G., Thixoforming and Thixoextrusion - Benefits of Innovative Forming Technologies, *Proceedings of the 6th International Con-*

- ference on Technology of Plasticity, Advanced Technology of Plasticity, Nürnberg 1999, 3, 1677-1682.
- [9] Szczepanik S., Frydrych J., Śleboda T., Wojtaszek M., Wyciskanie wyprasek ze stopów aluminium z udziałem fazy ciekłej, *Rudy i Metale Nieżelazne* 2002, 47, 2, 89-93.
- [10] Szczepanik S., Frydrych J., Krawiarz J., Wiśniewski B., Kucie w matrycach zamkniętych wyprasek z proszku stopu Al-Cu-Si z udziałem fazy ciekłej, *Rudy i Metale Nieżelazne* 2002, 48, 10-11, 473-479.
- [11] Szczepanik S., Krawiarz J., Frydrych J., Influence of the Initial State and Heating Conditions of the Al-Cu-Si Alloy on the Evolution of the Thixotropic Structure (be printed in Proc. XVIIth Physical Metallurgy & Materials Science Conference AMT 2004).

Recenzent
Maria Trzaska