



11th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

## Badania kompozytu wytworzonego w wyniku reakcji ciekłego Al ze stałym Ti

P. Zagierski

University of Oslo, Centre for Materials Science  
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norwegia

Dla potrzeb norweskiego przemysłu aluminiowego, w Centrum Badań Materiałowych przy Uniwersytecie w Oslo, przeprowadzono wiele eksperymentów otrzymywania kompozytów o osnowie metalowej, m.in. w wyniku reakcji jakie zachodzą między tytanem a aluminium. W artykule opisano sposoby otrzymania kompozytu Al-Al<sub>3</sub>Ti i wpływ trzeciego pierwiastka na własności kompozytu.

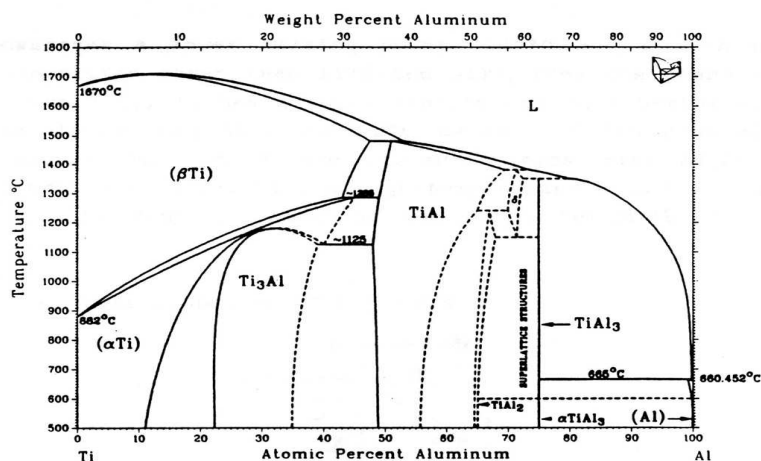
### 1. WSTĘP

Duże zapotrzebowanie na kompozyty inspiruje do nowych poszukiwań. Wiele nowych konstrukcji bazuje na materiałach kompozytowych. Większość z nich używana jest do budowy pojazdów latających, więc ich osnową są metale lekkie wzmacniane tlenkiem aluminium, grafitem, borem lub węglikiem krzemu. Z dużym zainteresowaniem spotkały się wytwarzane w Centrum Badań Materiałowych przy Uniwersytecie w Oslo kompozyty wzmacniane fazami międzymetalicznymi, osiągające własności mechaniczne zbliżone do własności kompozytów aluminium-ceramika.

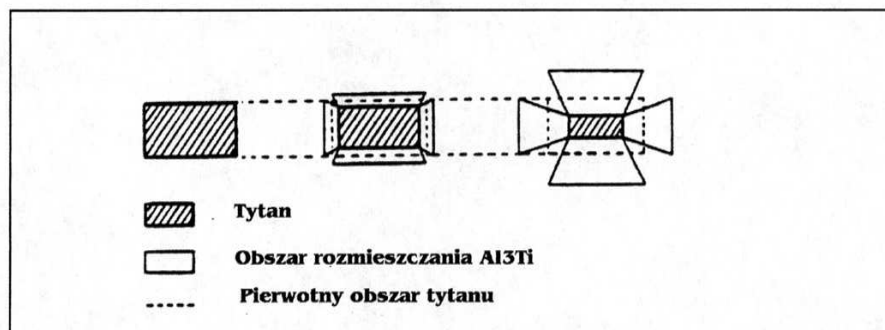
### 2. KOMPOZYT Al-Al<sub>3</sub>Ti

Aluminium i tytan mogą tworzyć trzy rodzaje faz międzymetalicznych: AlTi<sub>3</sub>, AlTi, Al<sub>3</sub>Ti (rys. 1). Niniejsze badania skoncentrowano na fazie Al<sub>3</sub>Ti krystalizującej w układzie tetragonalnym o sieci krystalicznej typu D0<sub>22</sub>.

Rys. 1. Wykres układu równowagi Ti-Al

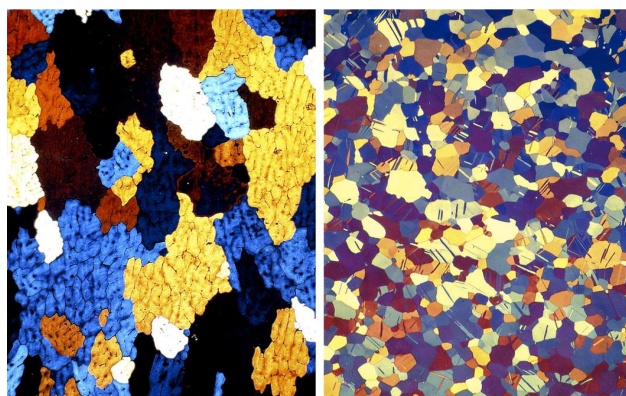


W latach 1956–68 Macoviak i Shreir obserwowali reakcje i mechanizm powstawania  $\text{Al}_3\text{Ti}$  na granicy stałego Ti oraz ciekłego Al i określili kierunki przebiegu tej reakcji (rys. 2).



Rys. 2. Obszar rozmieszczenia  $\text{Al}_3\text{Ti}$  na granicy stałego Ti oraz ciekłego Al

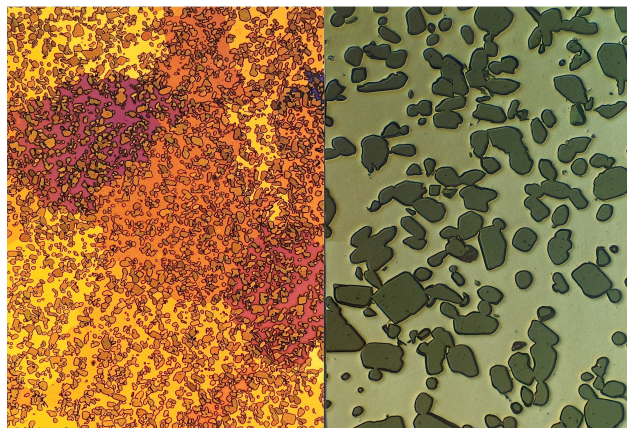
Do badań użyto czystego aluminium (99%, HV 35) i tytanu w stanie wyżarzonym (stopień czystości 2, HV 150), których strukturę przedstawiono na rysunku 3. Próby przeprowadzono w zakresie temperatury 680-900°C, w atmosferze argonu.



Rys. 3. Struktura czystego aluminium i tytanu w stanie wyżarzonym

Z obserwacji reakcji na powierzchni granicznej między stałym Ti i płynnym Al wynika, że tytan najszybciej reaguje z aluminium w temperaturze 800°C. Szybkość tej reakcji wynosi ok. 1 mm/godzinę.

Produktem reakcji są cząsteczki  $\text{Al}_3\text{Ti}$  o wielkości ok. 10  $\mu\text{m}$ , o twardości 320-400 HV, równomiernie rozmieszczone w miękkiej (35 HV) osnowie aluminium (rys. 4).

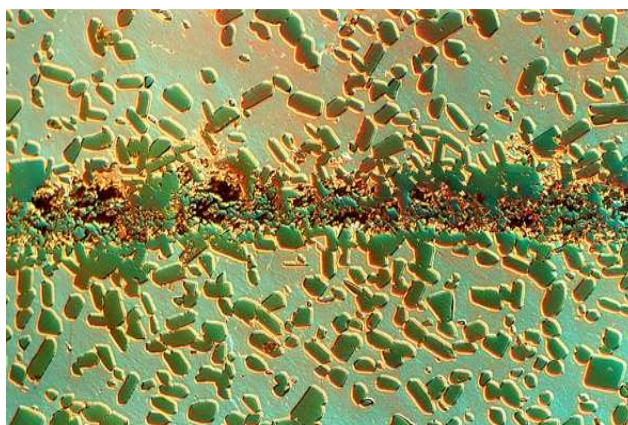


Rys. 4. Rozmieszczenie cząsteczek  $\text{Al}_3\text{Ti}$  w osnowie aluminium



Początkowo występowały problemy z powstawaniem por w procesie otrzymywania kompozytu. W materiale powstawały pory (rys. 5), m.in. z powodu zmniejszania się objętości, o 7%, jak to wynika z obliczeń według wzorów Kirkedalla, dotyczących dyfuzji.

Rys. 5. Pory powstałe w procesie wytwarzania kompozytu



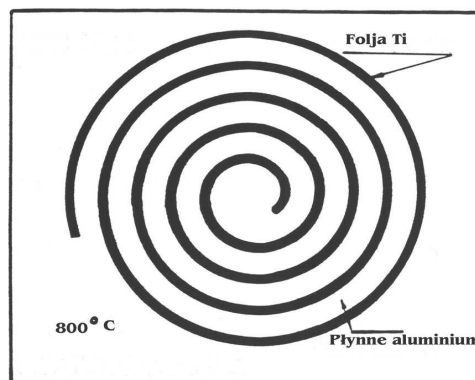
Poza tym tworzyła się warstwa tlenków Al (rys. 6), które stanowią barierę dla swobodnego przemieszczania się powstających cząsteczek  $Al_3Ti$ .

Rys. 6. Warstwa tlenków Al powstała w strukturze kompozytu



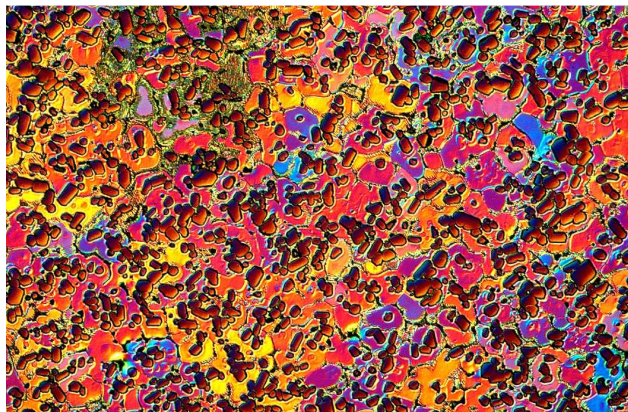
Zadowalające wyniki uzyskano wytwarzając kompozyt z folii tytanowej zwiniętej w formie spirali (rys. 7) lub z proszku tytanu.

Rys. 7. Kompozyt z folii tytanowej zwiniętej w formir spirali



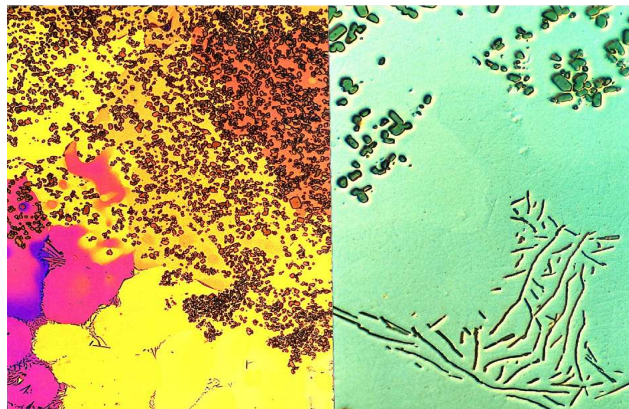
W optymalnej temperaturze ( $800^{\circ}C$ ) dobrano tak czas, aby tytanowa folia całkowicie przeszła w fazę międzymetaliczną  $Al_3Ti$ . W wyniku takiego zabiegu uzyskano kompozyt z równomiernie rozmieszczonymi cząsteczkami  $Al_3Ti$  w osnowie aluminium (rys. 8).

Rys. 8. Struktura kompozytu z równomiernie rozmieszczonymi cząsteczkami  $Al_3Ti$  w osnowie aluminium



### 3. INNE EKSPERYMENTY

W aluminium z dodatkami (Fe, Si, Mg, Mn) stwierdzono, że tworzące się cząsteczki  $Al_3Ti$  przemieszczają i zagęszczają wydzielenia faz  $Mg_2Si$  lub  $AlSiFeMn$ , tworząc w strukturze obszary tych faz bez cząsteczek  $Al_3Ti$  (rys. 9).



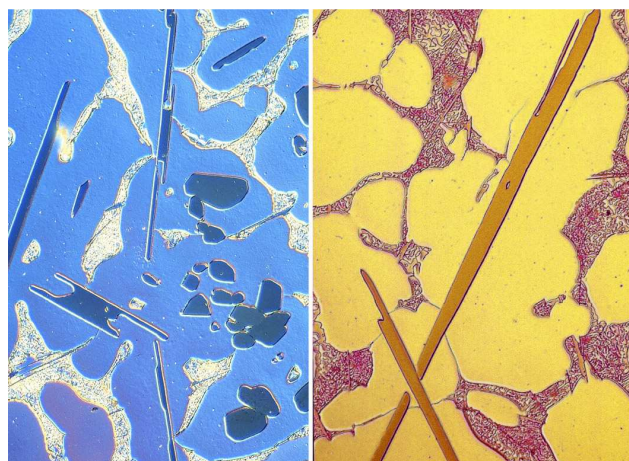
Rys. 9. Wpływ cząsteczek  $Al_3Ti$  na wydzielenia faz  $Mg_2Si$  lub  $AlSiFeMn$

Na obecnym etapie badań nie można regulować wielkości wydzielonych cząsteczek. Udało się natomiast regulować szybkość i ilość powstających cząsteczek w jednostce osnowy. Nie wielka zawartość cynku w stopie, znacznie przyspiesza proces tworzenia się fazy  $Al_3Ti$ .

Kompozyt z czystego aluminium i czystego tytanu ma cząsteczki  $Al_3Ti$  w osnowie aluminium o wielkości ok.  $10\ \mu m$ , odległe od siebie  $20-30\ \mu m$ .

Zwiększając procentowy udział cynku w stopie można otrzymać wydzielenia  $Al_3Ti$  w objętości niemal 80 % kompozytu, w bardzo krótkim czasie.

Niewielki udział miedzi w stopie Al zmienia kształt cząsteczek  $Al_3Ti$  z prawie sferoidalnego na płytkowy (rys. 10).



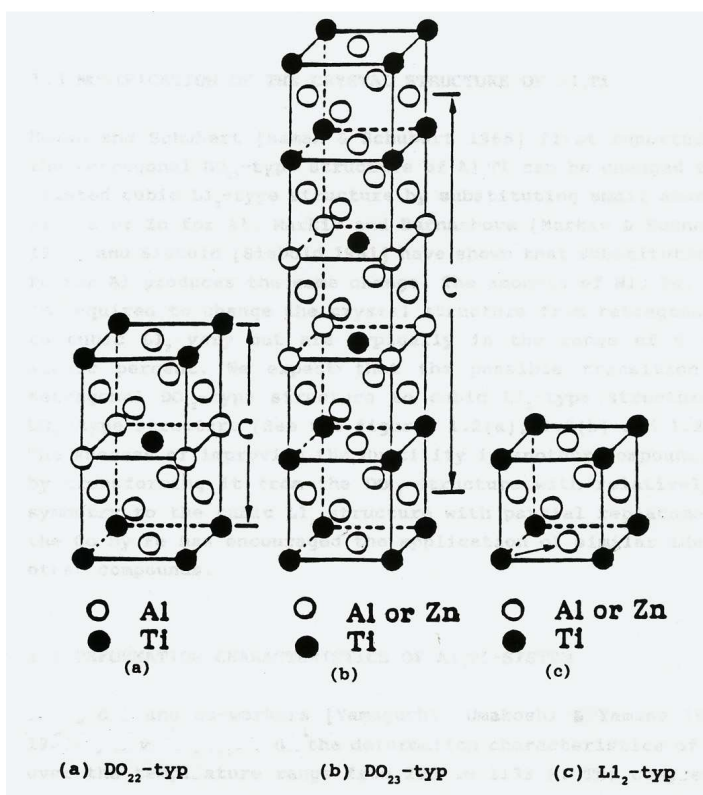
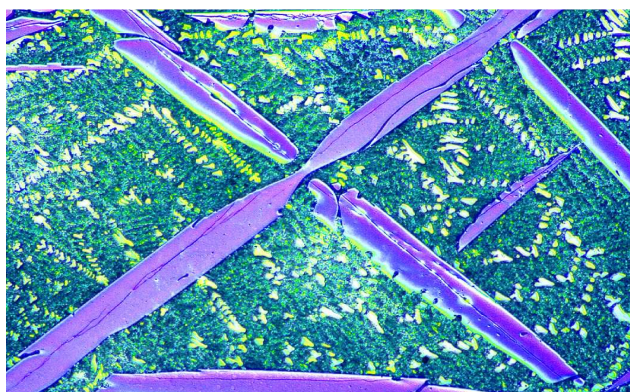
Rys. 10. Wpływ dodatku miedzi w stopie Al na kształt cząsteczek  $Al_3Ti$

Przy kilkunastu procentach miedzi i reakcji w temperaturze  $900^\circ C$  wydzielenia fazy  $Al_3Ti$  są tylko w kształcie dużych płytek w osnowie aluminium i eutektyki z  $Al_2Cu$  (rys. 11).

Proszek  $Al_3Ti$  jest twardy, o sieci tetragonalnej, topi się w temperaturze  $1340^\circ C$  i ma dużą odporność na korozję. Jest więc duże zainteresowanie przemysłu, ażeby pokrywać nim powierzchnie wyrobów aluminiowych.



Rys. 11. Płytkowe wydzielения fazy  $\text{Al}_3\text{Ti}$  w osnowie aluminium i eutektyki z  $\text{Al}_2\text{Cu}$

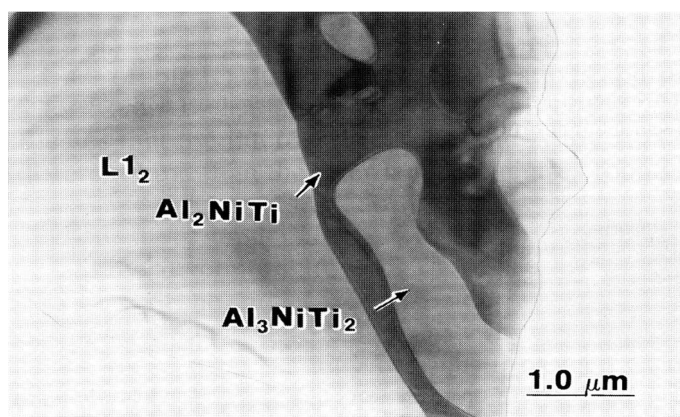


Dalsze badania polegały na dodaniu małej ilości trzeciego pierwiastka: Zn, Fe, Cu albo Ni, aby otrzymać sieć regularną cząsteczek  $\text{Al}_3\text{Ti}$  (rys. 12), tak jak krystalizuje np.  $\text{Al}_3\text{Ni}$ .

W wykonanych eksperymentach jako trzeciego pierwiastka użyto niklu i uzyskano cząsteczki  $\text{Al}_2\text{NiTi}$  i  $\text{Al}_3\text{NiTi}_2$  (rys. 13) o sieciach regularnej i heksagonalnej.

Rys. 12. Sieci regularne cząsteczek  $\text{Al}_3\text{Ti}$

Rys. 13. Wydzielения  $\text{Al}_2\text{NiTi}$  i  $\text{Al}_3\text{NiTi}_2$  powstałe w wyniku dodatku niklu do kompozytu



#### 4. WNIOSKI

Z badań reakcji między płynnym aluminium a stałym tytanem wynika, że tytan najszybciej reaguje z aluminium w temperaturze 800°C. Produktem reakcji są cząsteczki  $\text{Al}_3\text{Ti}$  o wielkości ok. 10  $\mu\text{m}$  równomiernie rozmieszczone w osnowie Al.

Kilkuprocentowa zawartość Zn znacznie przyspiesza reakcje i zwiększa ilość wydzielań. Niewielki dodatek Cu zmienia kształt cząsteczek  $\text{Al}_3\text{Ti}$  z prawie sferoidalnego na płytkowy. Dodanie trzeciego pierwiastka, takiego jak Zn, Fe, Cu, lub Ni, może zmienić sieć krystaliczną cząsteczek z tetragonalnej na regularną.

#### LITERATURA

1. M. Yamaguchi, Y. Umakoshi and Yamane, *Mat. Res. Soc.* 81 (1987) 275.
2. M. Yamaguchi, Y. Umakoshi and Yamane, *Phil. Mag. A.* 55 (1987) 301.
3. Taftø J., *J. Appl. Cryst.* 15 (1982) 378.
4. Ya.E. Geguzin, L.N. Ref. no.76893, 1975, *Partiskaga Physics Abstracts*.
5. E.A. Feest and J.H. Tweed, *In High Temperature Intermetallics*, Royal Society, London, (1990) 30.
6. C.D. Turner, W.O. Powers and J.A. Wert, *Acta Metall.* 37 (1989) 2635.
7. K. Shubert, H.G. Meissner, A. Raman and W. Rossteutscher, *Naturwissenschaften* 51 (1964) 287.
8. A.J. Bradley and A. Taylor, *Phil. Mag.* 23 (1937) 1049.
9. V.Y. Markiv, V.V. Durnashova and V.R. Ryabov, *Metallofizika* 46 (1973) 103.
10. A.E. Gunnaes, A. Olsen and J. Taftø, *Journal of Materials Science* 33 (1998) 4961-4969.