

## **Sposób wytwarzania metodą in-situ kompozytów na podstawie stopów magnezu w stanie stało-ciekłym i odlewania tiksotropowego kompozytów**

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania metodą in-situ kompozytów na osnowie stopów magnezu prowadzony w stanie stało-ciekłym i odlewania tiksotropowego kompozytów.

Stopy magnezu stosowane są w przemyśle motoryzacyjnym oraz lotniczym ponieważ charakteryzują się niską gęstością właściwą, jednak stosunkowo niska ich wytrzymałość ogranicza ich szeroką komercjalizację [1]. Ich właściwości wytrzymałościowe można poprawić poprzez wprowadzenie do stopu fazy umacniającej.

Metody wytwarzania kompozytów można podzielić ze względu na stan, w którym proces został przeprowadzony, tj. w fazie stałej, ciekłej lub stało-ciekłej [2-4]. Do pierwszej grupy zaliczyć można metalurgię proszków [5]. Natomiast do grupy procesów wytwarzania kompozytów z fazy ciekłej należą: odlewanie grawitacyjne, ciśnieniowe, w tym squeeze casting (po wcześniejszym wprowadzeniu do ciekłego stopu cząstek, np. węgliku krzemu SiC, węgliku tytanu TiC, azotku aluminium AlN i wymieszaniu mechanicznym lub za pomocą energii fal ultradźwiękowych) [6]. Krytycznym czynnikiem dla wytworzenia kompozytów jest eliminacja aglomeracji cząstek wzmacniających, które działają jak punkty koncentracji naprężeń, a także uzyskanie czystej granicy międzyfazowej osnowa/cząstka [7].

Alternatywną metodą do konwencjonalnie stosowanych procesów produkcji kompozytów metalicznych (odlewanie, metalurgia proszków) z dodatkiem cząstek umacniających jest ich otrzymywanie ze stanu stało-ciekłego (formowanie tiksotropowe). W stosunku do metod odlewniczych, w których miesza się cząstki ze

stopem w pełni przetopionym, proces ten oferuje: niższą temperaturę (eliminując w ten sposób np. zapalanie się nano-cząstek podczas ich wprowadzania do kąpielii metalowej), wysoką lepkość w zakresie solidus-likwidus, która uniemożliwia wypływanie cząstek na powierzchnię na skutek ich uwięzienia pomiędzy ziarnami fazy nieroztopionej. Dodatkowo, stosując tę metodę można wprowadzić nawet do 30% obj. fazy wzmacniającej.

Formowanie tiksotropowe prowadzone jest w zakresie temperatur pomiędzy solidusem a likwidusem oraz przy odpowiednio przygotowanej strukturze wyjściowej, która składa się z globularnych ziaren fazy stałej (nie roztopionej podczas procesu) otoczonej przez fazę ciekłą. Dzięki unikalnym właściwościom reologicznym stopów w stanie stało-ciekłym, polegającym na spadku lepkości pod wpływem naprężeń ścinających, możliwe jest uzyskanie laminarnego przepływu do formy podczas procesu odlewania. Powyższe czynniki prowadzą do redukcji porowatości, homogenizacji składu chemicznego, a w konsekwencji wyższych właściwości mechanicznych otrzymanych elementów niż przy odlewaniu grawitacyjnym lub ciśnieniowym.

Przy kształtowaniu tiksotropowym stopów metali wyróżnia się dwie zasadnicze operacje: (I) – wytworzenie struktury tiksotropowej, (II) – formowanie stało-ciekłej zawiesiny o globularnym ziarnie i ściśle określonym udziale fazy ciekłej. Strukturę tiksotropową można otrzymać z fazy ciekłej podczas chłodzenia (mówimy wówczas o procesie reformowania) lub nagrzewając go do zakresu stało-ciekłego (taki proces nosi nazwę tiksoformowania). Proces reoformowania zachodzący podczas chłodzenia stopu z fazy ciekłej do zakresu stało ciekłego ma na celu uzyskanie struktury bez udziału dendrytów, dzięki zastosowaniu odpowiednich zabiegów, (najczęściej poprzez mechaniczne lub elektromagnetyczne mieszanie, przelewanie przez pochyloną rynnę, modyfikację lub szybką krystalizację), a następnie ukształtowaniu w jednym cyklu temperaturowym. Proces ten prowadzi się zwykle przy udziale fazy ciekłej od 50 do 99% [8]. W procesie tiksoformowania, którego odmianą jest thixomolding, granulki stopu są podgrzewane do zakresu stało-ciekłego, a następnie odkształcane plastycznie w wyniku przemieszczania się w układach mieszająco-ścinnających, co prowadzi do niszczenia pierwotnej struktury dendrytycznej i formowania się globularnych ziaren otoczonych przez fazę ciekłą. W następnym etapie stop jest wtryskiwany do formy.

W opisanych wyżej procesach, wprowadzenie fazy zbrojącej do mikrostruktury w celu wytworzenia kompozytu odbywa się po osiągnięciu zakresu temperatur pomiędzy solidusem a likwidusem, przy jednoczesnym mieszaniu lub wymuszonym przepływie.

Procesy wytwarzania kompozytów możemy również podzielić ze względu na sposób wprowadzania fazy umacniającej do osnowy; to jest wytwarzanie w technologii *in-situ* (w której cząstki powstają na skutek reakcji magnezu z innym składnikiem podczas procesu grzania, mieszania itp.) oraz w technologii *ex-situ*, gdzie odpowiednio przygotowane cząstki są wprowadzane do stopu podczas procesu, a następnie mieszane z osnową w celu uzyskania ich homogenicznego rozkładu.

Obecnie znanych jest kilka przykładów wytwarzania kompozytów w technologii *in-situ*. Zaliczyć do nich można m.in. kompozyt  $Mg_2Si/Mg$  otrzymany na drodze mechanicznego mielenia proszków  $Mg$ ,  $Al$  i  $Si$  w wyniku czego następuje tworzenie  $Mg_2Si$  [9, 10], reakcję  $Mg$  z  $Ti$  i  $C$  w celu otrzymania fazy  $TiC$  (węgiel tytanu) w osnowie  $Mg$  [11] i  $Mg-TiB_2-TiB$  (borki tytanu) formujących się dzięki reakcji  $Mg$  z  $KBF_4$  (tetrafluoroboran potasu) i  $K_2TiF_6$  (fluorek tytanu potasowego) [12].

W literaturze występuje stosunkowo niewielka liczba prac dotyczących wytwarzania kompozytów na bazie  $Mg$  zawierających tlenek ogniotrwały  $MgO$  (gęstość  $3,5\text{ g/cm}^3$ , temperatura topnienia  $2780\text{ }^\circ\text{C}$ ) o doskonałej stabilności termodynamicznej i dobrych właściwościach (moduł Younga  $320\text{ GPa}$ , twardość  $910\text{ HV}$ ) [13]. Tlenki magnezu (dalej nazywane  $MgO$ ) są uzyskiwane poprzez reakcję *in-situ* opartą na kontrolowanym utlenianiu w procesie metalurgii proszków, a następnie zagęszczaniu [14]. W pracy [15] tworzenie się tlenku  $MgO$  jest produktem ubocznym spiekania proszków poprzez odtlenianie lub reakcje utleniania zachodzące podczas mieszania cząstek czystego magnezu i  $CNT-SiO_2$  (nanorurki węglowe-tlenek krzemu) lub dodatków  $B_4C$  (węgiel boru). Niemniej jednak wszystkie wyżej wymienione prace wykazały pozytywny wpływ  $MgO$  na właściwości mechaniczne otrzymanego materiału. Tlenek  $MgO$  jest stosowany jako wzmacniająca faza w stopach  $Mg$  jest głównie tworzony podczas reakcji *in-situ* [15], jak również metodami *ex-situ* (w których cząstki dodaje się do cieczy i miesza w celu ich homogenicznego rozkładu). Należy również zauważyć, że cząstki tlenku magnezu są dobrze zwilżalne z ciekłym magnezem.

Reaktywny gaz  $CO_2$  (dwutlenek węgla), który podawany był do ciekłego stopu przy równoczesnym mieszaniu, zastosowano w procesie wytwarzania kompozytów *in-*

situ. Jayalakshmi i in. [16] wprowadzili CO<sub>2</sub> do ciekłego stopu Mg-Al (magnez-aluminium) i obserwowali tworzenie węglików Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> (węglik aluminium), natomiast w publikacji Ye i in. [17] otrzymywano AlN w stopionym stopie Mg-Al przez przedmuchiwanie gazowym azotem.

Dotychczas stosowane urządzenia do odlewania ze stanu stało-ciekłego stopów magnezu z wykorzystaniem efektu przepływu tiksotropowego opierają się na zastosowaniu wtryskarki wyposażonej w pojedynczy ślimak, który pobiera granulację magnezową w fazie stałej, podgrzewa go do zakresu stało-ciekłego przy jednoczesnym ścinaniu zachodzącym podczas przemieszczania materiału pomiędzy wewnętrzną ścianką cylindra a ślimakiem [US5996679A]. Stało-ciekła zawieszina gromadzona w przestrzeni cylindra przed ślimakiem w wyniku ruchu układu ślimakowego jest wtryskiwana do szczelnie przyłączonej formy.

Powyżej opisane procesy były prowadzone w atmosferze gazu obojętnego np. argonu (Ar). Uniemożliwiało to zajścia reakcji tworzenia dodatkowych, nowych faz ze stopem magnezu, znajdującym się w fazie stało-ciekłej. W konsekwencji nie stwierdzono występowania faz umacniających (in-situ), powstających bezpośrednio podczas procesu.

Zgodnie z wynalazkiem sposób wytwarzania metodą in-situ kompozytów na osnowie stopów magnezu prowadzony w stanie stało-ciekłym i odlewania tiksotropowego kompozytów, w którym stop magnezu nagrzewa się do temperatury powyżej temperatury solidus, a następnie prowadzi się proces mieszania i ścinania i wtryskuje stop w stanie stało-ciekłym do formy, charakteryzuje się tym, że stop magnezu w fazie stałej w formie granulek poddaje się intensywnemu mieszaniu i ścinaniu na obracającym się ślimaku lub zestawie ślimaków umieszczonych w cylindrze, których prędkość obrotowa reguluje się w zakresie od 1 do 500 obr/min. Stop przemieszczający się wzdłuż cylindra przy pomocy ślimaka lub zestawu ślimaków podgrzewa się do zakresu stało-ciekłego do temperatury odpowiadającej od 1% do 50% fazy stałej w atmosferze gazu reaktywnego lub mieszanki gazu reaktywnego i obojętnego.

Proces prowadzi się w atmosferze reaktywnej dwutlenku węgla, lub mieszance argonu i dwutlenku węgla, lub azocie lub mieszance azotu i argonu.

Proces prowadzi się w atmosferze mieszanki gazów obojętnego (argonu) i reaktywnego (dwutlenku węgla lub azotu) w stosunku 1-99% do 1-99%.

Opis procesu: Do zasobnika maszyny jednoślindakowej podawany jest gaz reaktywny CO<sub>2</sub> lub N lub mieszanka gazów reaktywnych z gazem obojętnym Ar razem ze stopem magnezu w formie granulek, które zabierane są przez obracający się ślimak który transportujący granulki do strefy pierwszej, podgrzanej do temperatury 400-650 °C za pomocą grzałek umieszczonych na cylindrze. Ślimak obraca się z prędkością 1-500 obr/min. i przemieszcza w zakresie 5-100 mm dzięki układowi napędowemu wraz z systemem hydrauliki siłowej. W wyniku ruchu obrotowego ślimaka stop przemieszcza się do strefy drugiej, w której następuje utlenianie stopu i tworzenie tlenków MgO (7) na powierzchni nadtopionych granulek w wyniku reakcji gazu reaktywnego CO<sub>2</sub> z stopem podgrzanym do zakresu temperatur pomiędzy solidusem a likwidusem, posiadającym od 1% do 50% fazy stałej. Obecność gazu obojętnego argonu działa jako częściowy inhibitor reakcji utleniania. Dalsze przemieszczanie się stało-ciekłej magnezowej zawiesiny z cząstkami MgO wzdłuż cylindra ze ślimakiem umożliwia mieszanie i ścinanie stopu w stanie stało-ciekłym razem z cząstkami prowadząc do homogenizacji składu i temperatury w strefie trzeciej. W ostatnim, czwartym etapie stop z cząstkami gromadzony jest w przestrzeni roboczej skąd -wtryskiwany jest do formy. W etapie trzecim i czwartym obszaru cylindra nie ma dostępu powietrza, a gaz obojętny i CO<sub>2</sub> nie są obecne z uwagi na całkowicie zamknięty układ.

Zgodnie z wynalazkiem sposób wytwarzania metodą in-situ kompozytów na osnowie stopów magnezu prowadzony w stanie stało-ciekłym i odlewania tiksotropowego kompozytów, w którym stop magnezu nagrzewa się do temperatury powyżej temperatury solidus, a następnie prowadzi się proces mieszania i ścinania i wtryskuje stop w stanie stało-ciekłym do formy, charakteryzuje się tym, że stop magnezu w fazie stałej wprowadza się do zasobnika razem z cząstkami węgla krzemu, a następnie a następnie poddaje się go intensywnemu mieszanemu i ścinaniu dzięki ruchowi ślimaka/ślimaków, których prędkość obrotowa reguluje się w zakresie od 1 do 500 obr/min., przy czym stop przemieszcza się wzdłuż cylindra przy pomocy ślimaka lub zestawu ślimaków i podgrzewa do zakresu stało-ciekłego do temperatury odpowiadającej od 1% do 50% fazy stałej w atmosferze gazu reaktywnego i obojętnego.

Proces prowadzi się w atmosferze reaktywnej dwutlenku węgla lub mieszance argonu i dwutlenku węgla, lub azocie lub mieszance azotu i argonu.

Proces prowadzi się w atmosferze mieszanki gazów obojętnego (argonu) i reaktywnego (dwutlenku węgla lub azotu) w stosunku 1-99%:1-99%)

Przedmiot wynalazku zostanie objaśniony w przykładach wykonania w związku z rysunkiem, na którym fig.1 przedstawia schemat procesu technologicznego oraz mechanizmu utleniania (tworzenia się MgO) stopu magnezu w komorze reakcyjnej urządzenia do formowania ze stanu stało-ciekłego (atmosfera: CO<sub>2</sub> + Ar), fig. 2 przedstawia mikrostrukturę optyczną stopu AZ91 po procesie odlewnia ze stanu stało-ciekłego w atmosferze gazu Ar i CO<sub>2</sub> w stosunku 20%:80% fig.3 - mikrostrukturę otrzymaną przy dużym powiększeniu za pomocą mikroskopu transmisyjnego stopu AZ91 po procesie odlewnia ze stanu stało-ciekłego w atmosferze gazu Ar i CO<sub>2</sub> w stosunku 20%:80% obszar między ziarnowy z fig. 2, fig. 4 - mikrostrukturę uzyskaną za pomocą mikroskopu skaningowego ze stopu Mg5Zn + 5%obj. SiC odlanego w atmosferze Ar i CO<sub>2</sub> (10%:90%), a fig. 5 - mapę rozkładu pierwiastków w kompozycie Mg5Zn + 5%obj. SiC, który został odlany w atmosferze Ar i CO<sub>2</sub> (10%:90%), fig. 6 przedstawia schemat procesu technologicznego oraz mechanizmu tworzenia się cząstek Mg<sub>3</sub>N<sub>2</sub> w komorze reakcyjnej urządzenia do formowania ze stanu stało-ciekłego (atmosfera: N + Ar).

### **Przykład 1**

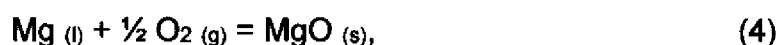
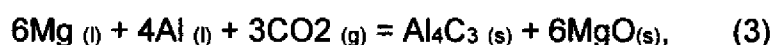
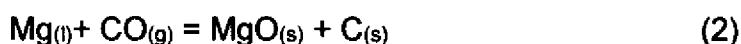
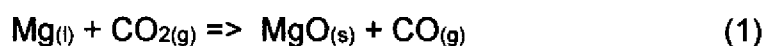
Stop magnezu AZ91 w formie granulek 2 o średniej wielkości  $\approx$  3 mm został wprowadzony do zasobnika 1 maszyny ślimakowej razem z mieszanką gazu Ar i CO<sub>2</sub> w stosunku 20%:80% poprzez dysze (G). Obracający się ślimak 3 transportuje granulki do strefy I podgrzanej do temperatury 595 °C za pomocą grzałek 4 umieszczonych na cylindrze 5 (temperaturze 595 °C odpowiada 10% frakcji stałej).

Ślimak obraca się z prędkością 1-500 obr/min (przykładowo 70 obr/min) i przemieszcza się ruchem posuwistym w zakresie 5-100 mm (przykładowo 50 mm) dzięki układowi napędowemu wraz z system hydrauliki siłowej 6. W wyniku ruchu obrotowego ślimaka stop transportowany jest do strefy II, w której następuje utlenianie stopu i tworzenie tlenków MgO 7 na powierzchni nadtopionych granulek, w wyniku

reakcji gazu reaktywnego CO<sub>2</sub> z stopem podgrzany do zakresu temperatur pomiędzy solidusem a likwidusem posiadającym od 1-50% fazy stałej. (przykładowo 10% fazy stałej).

W wyniku nadtopienia stopu i obecności atmosfery reaktywnej CO<sub>2</sub> nastąpił proces utworzenia tlenku MgO (reakcje 1-3,) oraz węglika Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> (reakcje 3-5) w stopie AZ91, który znajdował się w stanie stało-ciekłym – proces *in-situ*. Obecność gazu obojętnego argonu działa jako inhibitor reakcji utleniania. Dalsze przemieszczanie, stało-ciekłej magnezowej zawiesiny z cząstkami MgO wzdłuż cylindra ze ślimakiem umożliwia mieszanie i ścinanie stopu w stanie stało-ciekłym razem z cząstkami MgO prowadząc do homogenizacji składu i temperatury (strefa III). W ostatnim etapie stop z cząstkami gromadzony jest w przestrzeni roboczej 8 skąd wtryskiwany jest do formy 9 – etap IV. W etapie III i IV obszaru cylindra nie ma dostępu powietrza, a gaz obojętny i CO<sub>2</sub> nie są obecne z uwagi na całkowicie zamknięty układ.

Mikrostruktura po wtrysnięciu do formy stalowej składała się z nieroztopionych ziaren o wielkości 20-40 μm otoczonych przez eutektykę w ilości około 90%obj. (fig. 2) oraz tlenków MgO (30-50 nm), węglików Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> ulokowanych w obszarze faz (α(Mg), β-Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>) oraz ziaren roztworu stałego magnezu (fig. 3).



## Przykład 2

Granulki ze stopu Mg-5Zn (%wag) zostały wymieszane z 5% obj. cząstek węglika krzemu (SiC) w fazie stałej w temperaturze pokojowej, a następnie zostały wprowadzone do zasobnika maszyny i nagrzane do temperatury 625 °C (≈20% fazy stałej) w cylindrze urządzenia maszyny w atmosferze mieszanki gazu reaktywnego CO<sub>2</sub> oraz argonu przy stosunku 10%:90%. Szybkość wtrysku do stalowej kokili podgrzanej do temperatury 200 °C wyniosła 2 m/s. Mikrostruktura kompozytu składała się z globularnych ziaren nie roztopionych podczas procesu (około 20%) otoczonych przez eutektykę (fig. 4). Rozkład pierwiastków uzyskany przy wysokich

powiększeniach (fig. 5) umożliwił identyfikację fazy MgO powstałej *in-situ* na skutek reakcji z CO<sub>2</sub>. W mikrostrukturze widoczne są również cząstki SiC, które były dodane razem z granulkami magnezu (proces *ex-situ*).

### Przykład 3

Do zasobnika 1 maszyny jednoślindakowej (fig. 6) podawany jest gaz reaktywny N (azot) lub mieszanka gazu reaktywnego N z Ar w stosunku od 1-99%:1-99% poprzez dysze (G) razem ze stopem magnezu AZ91 w formie granulek 2, który zabierany jest przez obracający się ślimak 3, który transportuje granulki do strefy I podgrzanej do temperatury 400-650 °C za pomocą grzałek 4 umieszczonych na cylindrze 5). Ślimak obraca się z prędkością 1-500 obr/min oraz i przemieszcza w zakresie 5-100 mm, dzięki układowi napędowemu wraz z system hydrauliki siłowej 6. Następnie w wyniku ruchu obrotowego ślimaka stop przemieszcza się do strefy II, w której następuje tworzenie *in-situ* azotków magnezu Mg<sub>2</sub>N<sub>3</sub> 7 na powierzchni otwartej nadtopionych granulek w wyniku reakcji gazu reaktywnego N z stopem podgrzanym do zakresu temperatur pomiędzy solidusem a likwidusem posiadającym od 1-50% fazy stałej (reakcja nr 6). Dalsze przemieszczanie stało-ciekłej magnezowej zawiesiny z cząstkami MgN, wzdłuż cylindra ze ślimakiem umożliwia mieszanie i ścinanie stopu w stanie stało-ciekłym razem z cząstkami prowadząc do homogenizacji składu i temperatury (strefa III). W ostatnim etapie stop z cząstkami gromadzony jest w przestrzeni roboczej 8 skąd jest wtryskiwany jest do formy 9 – etap IV.



5134/2018

Rzecznik Patentowy  
*Renata Wojtas-Słodownik*  
mgr inż. Renata Wojtas-Słodownik

## **Wykaz literatury:**

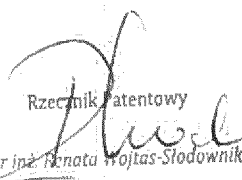
- [1] Fridlyander JN, Eskin DG, editors. Magnesium Alloys Containing Rare Earth Metals: Structure and Properties. *Advances in Metallic Alloys*. 2003, p. 34-68.
- [2] Lenel FV. Powder metallurgy: principles and applications. Metal Powder Industry. 1980.
- [3] Yan H, Huang ZX, Qiu HX. Microstructure and Mechanical Properties of CNTs/A356 Nanocomposites Fabricated by High-Intensity Ultrasonic Processing. *Metallurgical And Materials Transactions A*. 2017;48(2):910-918.
- [4] Joost WJ, Krajewski PE. Towards magnesium alloys for high-volume automotive applications. *Scripta Materialia*. 2017;128:107-112..
- [5] Alfredo Monteiro W, editor. Mg-Based Quasicrystals. *New Features on Magnesium Alloys*; 2012. p. 1-28.
- [6] Solanki KN, Orlov D, Singh A, et al., editors. Grain Refinement of Mg and Its Alloy by Inoculation of In Situ MgO Particles. *Magnesium Technology*. Springer. 2017.
- [7] Tabandeh-Khorshid M, Jenabali Jahromi SA, Moshksar MM. Mechanical properties of tri-modal Al matrix composites reinforced by nano- and submicron-sized Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particulates developed by wet attrition milling and hot extrusion. *Mater. Des.* 2010;31(8):3880-3884.
- [8] Zbigniew Górny, Jerzy Sobczak, NOWOCZESNE TWORZYWA ODLEWNICZE NA BAZIE METALI NIEŻELAZNYCH, Wydawnictwo ZAPIS.
- [9] Mabuchi M, Kubota K, Higashi K. Tensile strength, ductility and fracture of magnesium-silicon alloys. *Journal of Materials Science*. 1996;31(6):1529-1535.
- [10] Mabuchi M, Kubota K, Higashi K. Effect of hot extrusion on mechanical properties of a Mg-Si-Al alloy. *Mater. Lett.* 1994;19(5-6):247-250.
- [11] Martin MA, Lu L, Gupta M. Investigation of the reactions between boron and titanium compounds with magnesium. *Scripta Materialia*. 2001;45(4):479-486.
- [12] Bhingole P, Chaudhari GP, Nath SK. Processing, microstructure and properties of ultrasonically processed in situ MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dispersed magnesium alloy composites. *Composites: Part A*. 2014;66:209-217.
- [13] Reddy AC. Constitutive Behavior of AA5050/MgO Metal Matrix Composites with Interface Debonding: the Finite Element Method for Uniaxial Tension. 2000.

[14] Milicka K, Cadek J, Rys P. High temperature creep mechanisms in magnesium. *Acta Metall.* 1970;18:1071–1082.

[15] Vickers W, Greenfield P. The high temperature creep properties of compacted magnesium powder. *J. Nucl. Mater.* 1968;27:73-79.

[16] Jayalakshmi S, Dezhi Q, Sankaranarayanan S, et al. Microstructure and mechanical properties of Mg–Al alloys with in situ Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> phase synthesised by CO<sub>2</sub> incorporation during liquid state processing. *Int. J. Microstructure and Materials Properties.* 2013;8(4-5):283–298.

[17] Ye HZ, Liu XY, B. Luan B. In situ synthesis of AlN in Mg–Al alloys by liquid nitridation. *Journal of Materials Processing Technology.* 2005;166:79-85.

Rzecznik Patentowy  
  
mgr inż. Renata Wojtas-Słodownik