

# Aluminiowe kompozyty heterofazowe przeznaczone na tłoki do sprężarek powietrza

M.Dyzia\*<sup>a</sup>, A. Dolata-Grosz<sup>a</sup>, J. Wieczorek<sup>a</sup>, J. Ślezionea<sup>a</sup>, M. Starczewski<sup>b</sup>, M. Złotecki<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Katedra Technologii Materiałów, Politechnika Śląska, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, Polska

<sup>b</sup> Złotecki Sp. z o.o., Żelechlin 2; 88-111 Rojewo, Polska

\*Kontakt korespondencyjny: e-mail: maciej.dyzia@polsl.pl

Otrzymano 11.04.2011; zaakceptowano do druku 26.04.2011

## Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań powierzchni odlewów kompozytowych kształtowanych w procesie odlewania kokilowego. W ramach realizacji projektu badawczo rozwojowego w Katedrze Technologii Materiałów Politechniki Śląskiej, zbudowano stanowisko umożliwiające wytworzenie w jednym cyklu produkcyjnym ponad 50 kg zawiesziny kompozytowej. Wykonane w warunkach przemysłowych odlewy do formy z rdzeniem wewnętrznym pięciopodzielny zamontowanej w kokilarce GM110 potwierdziły możliwość formowania metodami odlewniczymi tłoków kompozytowych. Odlewy wykonane z kompozytu AlSi7Mg/SiC i kompozytu heterofazowego AlSi7Mg/SiC+C<sub>g</sub> zgodnie z procedurą technologiczną zakwalifikowano jako, poprawne i przeznaczone do obróbki mechanicznej kształtującej właściwe powierzchnie robocze tłoka do sprężarki powietrza. Wykonano badania porównawcze dla odlewów z niezbrojonego stopu AlSi7Mg i odlewów kompozytowych. Do oceny zdolności do wypełnienia wnęki formy i dokładności odwzorowania kształtu wykorzystano profilograf FRT analizując odległości pomiędzy środkami rowków na powierzchni płaszcza tłoka. Badania te potwierdziły różnice w lejności niezbrojonego stopu osnowy i zawieszin kompozytowych. Różnica w dokładności odwzorowania wymiarów formy nie dyskwalifikuje materiałów kompozytowych, wszystkie odlewy zostały zakwalifikowane jako poprawne i przeznaczone do obróbki mechanicznej

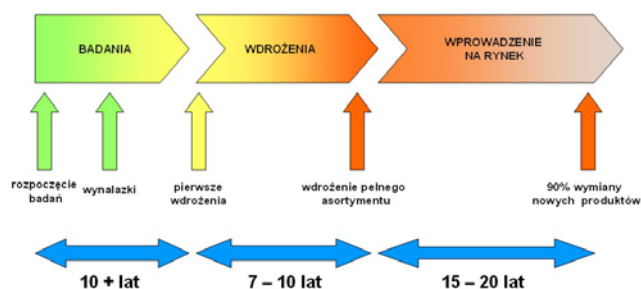
**Słowa kluczowe:** kompozyty o osnowie stopów aluminium, zbrojenie heterofazowe, tłoki kompozytowe, odlewanie kokilowe

## 1. Wprowadzenie

Rozwój nowych produktów i usług zależy w znacznej mierze od stosowania kluczowych technologii bazujących na najnowszej wiedzy i wynikach prac badawczo-rozwojowych. Szybkie tempo rozwoju wielu nowoczesnych gałęzi przemysłu jest wyznaczone możliwościami technologii materiałowych. Rozwój w tej dziedzinie jest dynamiczny i obejmuje zarówno technologie

przyrostowe jak i technologie wylaniające się. Technologie wylaniające się powstają na bazie nowatorskich rozwiązań materiałowych i towarzyszących im opracowań technologicznych, umożliwiających wytwarzanie unikatowych materiałów funkcjonalnych. Rozwój technologii przyrostowych jest ukierunkowany na stopniowe doskonalenie istniejących już rozwiązań, jak również na rozszerzanie możliwości ich aplikacyjnego wykorzystania w nowych obszarach gospodarki [1]. Kompozyty o osnowie stopów aluminium (AIMMC) stanowią

nową grupę materiałów inżynierskich, które pozwalają nie tylko na zastępowanie dotychczasowych materiałów, ale również na tworzenie nowych rozwiązań. Zapoczątkowane pod koniec lat osiemdziesiątych XX wieku. badania pozwoliły na uzyskanie materiałów charakteryzujących się szeregiem właściwości fizyko-mechanicznych lepszych niż niezbrojony stop osnowy [2-4]. Z opracowań wielu zespołów badawczych wynika, że pełna faza wprowadzenia nowych materiałów na rynek obejmuje ponad 30 lat, od chwili rozpoczęcia pierwszych badań (rys. 1).



Rys. 1. Cykl wprowadzenia nowych rozwiązań technologiczno materiałowych (wg. United States Council For Automotive Research)

Obecnie na skalę przemysłową są wytwarzane elementy pracujące w warunkach dużych obciążeń ciernych, na przykład: tarcze i bębny hamulcowe oraz w skojarzeniach ślizgowych tlok-tuleja. Inny obszar zastosowań tych materiałów to elektrotechnika, gdzie wykorzystuje się przede wszystkim stabilność wymiarową w podwyższonych temperaturach. Główne technologie wytwarzania materiałów kompozytowych bazują na wysokociśnieniowych metodach infiltracji porowatych preform ceramicznych ciekłym stopem aluminium [5]. Technologie wytwarzania kompozytów, bazujące na metodach ciekłofazowych i kształtowaniu wyrobów metodami odlewniczymi należą do najtańszych metod wytwarzania. Niski koszt wytworzenia półproduktu w postaci odlewu ma znaczenie w przypadku krótkich serii produkcyjnych. Nakłady związane z uruchomieniem produkcji są zdecydowanie mniejsze niż w przypadku metod ciśnieniowych (squeeze casting, high pressure die-casting), które wymagają specjalnych form [6,7]. Nadal jednak, istotnymi ograniczeniami hamującymi wzrost udziału kompozytów AlMMC w rynku nowych materiałów inżynierskich są koszty produkcji, przede wszystkim koszty obróbki mechanicznej. Wiele ośrodków badawczych, również w Polsce realizuje prace badawcze dotyczące opracowania tańszych, wydajniejszych i powtarzalnych metod wytwarzania, a także metod oceny jakości materiału kompozytowego oraz gotowego wyrobu [8].

## 2. Metoda zawieszinowa wytwarzania kompozytów heterofazowych

Uzyskanie stabilnej zawiesziny kompozytowej wymaga przede wszystkim spełnienia warunków, w których ceramika będzie zwilżana przez ciekły metal, co umożliwi uzyskanie trwałego połączenia na granicy faza zbrojąca-osnowa. W procesie wytwarzania kompozytów z wykorzystaniem metody mechanicznego mieszania istotne znaczenie

mają: przygotowanie stopu osnowy (rafinacja, modyfikacja składu stopu), przygotowanie cząstek ceramicznych, a także prędkość i czas mieszania zawiesziny oraz jej homogenizacja [9-12].

Głównym założeniem realizowanego w Katedrze Technologii Materiałów, Politechniki Śląskiej projektu badawczo-rozwojowego było wytworzenie w warunkach przemysłowych zawiesziny kompozytowej w ilości umożliwiającej odlanie partii prototypowych tłoków o średnicy 65 mm do sprężarki powietrza. W tym celu zaprojektowano i zbudowano stanowisko piecowe umożliwiające uzyskanie w jednym cyklu produkcyjnym ponad 50 kg materiału kompozytowego. Stanowisko składa się z hermetycznej komory pieca, w którym zabudowany jest tygiel oraz ruchomej pokrywy z układem mieszania i układem podawania cząstek. Wytworzenie zawiesziny kompozytowej realizowane jest w kilku etapach. Po stopieniu stop osnowy poddawany jest procesowi rafinacji, w wyniku przedmuchu ciekłego metalu argonem z wykorzystaniem mieszadła grafitowego. Następnie wprowadzane są dodatki modyfikujące osnowę, a w kolejnym etapie cząstki ceramiczne. Prędkość wprowadzania cząstek na powierzchnię wirującego metalu regulowana jest prędkością obrotową ślimakowego podajnika. W kolejnym etapie zawieszina jest homogenizowana i odgazowana w warunkach obniżonego ciśnienia. W ramach współpracy z firmą „Złotecki” Sp. z o.o. w Rojewie przyjęto założenie, że jednym z punktów weryfikacji przyjętych rozwiązań będzie wykonanie próbnej serii tłoków przy wykorzystaniu technologii odlewania kokilowego zgodnie ze standardami technologicznymi firmy. W pierwszej fazie badań oceniono zdolność materiału kompozytowego do wypełnienia wnęki formy i prawidłowego odwzorowania kształtu odlewu. Głównym kryterium oceny materiałów kompozytowych będzie jednak możliwość kształtowania powierzchni roboczej tłoka na automatach tokarskich.

## 3. Badania eksperymentalne

Na podstawie wcześniejszych badań realizowanych w skali laboratoryjnej, jako materiał osnowy wybrano stop AlSi7Mg, który następnie zmodyfikowano dodatkiem magnezu i strontu. Jako zbrojenie zastosowano cząstki SiC i sferyczny węgiel szklisty zakupiony w firmie SPI Supplies (USA). Parametry procesu wytwarzania zawiesziny szerzej opisano w pracy [13]. Wytworzono kompozyty AlSi7Mg/SiC o 7% udziale objętościowym zbrojenia i AlSi7Mg/SiC+C<sub>g</sub> o udziale objętościowym odpowiednio 7% SiC i 3% węgla szklistego. Zawiesziny kompozytowe odlewano do formy z rdzeniem wewnętrznym pięciopodzielnym zamontowanej w kokilarce GM110. Na podstawie wstępnej oceny wykonanej przez uprawnionego pracownika firmy Złotecki wszystkie odlewy zakwalifikowano, jako poprawne (rys. 2).

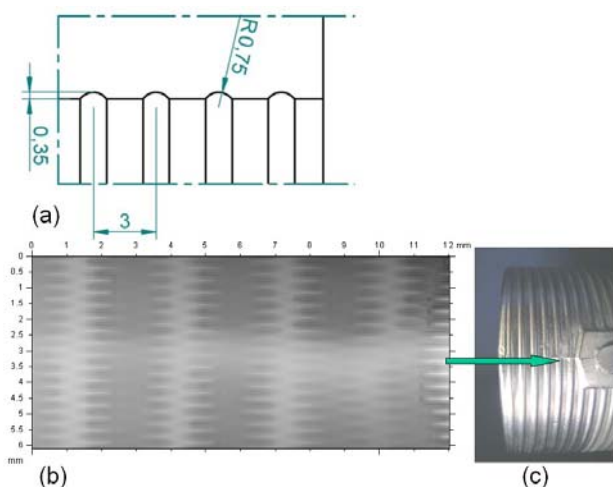
Celem przeprowadzonych badań była ocena odwzorowania formy, jako próba porównania właściwości odlewniczych materiału kompozytowego i niezbrojonego stopu osnowy. Zakładając, że warunki cieplne w układzie odlew kokila są ustabilizowane, z serii prototypowych odlewów wybrano 10 w kolejności odlew do analizy powierzchni kształtowanej przez formę. Ocenie poddano geometrię rowków, które zwiększają powierzchnię odprowadzania ciepła w czasie stygnięcia odlewu. Wykonano badania porównawcze dla odlewów z niezbrojonego stopu AlSi7Mg oraz z kompozytu AlSi7Mg/SiC i kompozytu heterofazowego AlSi7Mg/SiC+C<sub>g</sub>. Do oceny zdolności zawiesziny do odwzorowania kształtu formy wykorzystano badania profilografometryczne. Dokonano pomiarów odległości pomiędzy środkami rowków na powierzchni kształtującej płaszcz tłoka (rys. 3). Obszar analizy obejmował powierzchnię 72 mm<sup>2</sup>. Pomiarów dokonano w tym samym miejscu dla każdego z odlewów (rys 3c). Na podstawie

analizy cyfrowego obrazu 3D (rys. 4) uzyskanego przy użyciu profilografometru FRT MicroProf CWL 300 wyznaczono charakterystyczne wymiary odlewu. Numeryczny obraz analizowanej powierzchni powstał ze zbioru punktów pomiarowych odległych w osi  $x$  o 0,008 mm i w osi  $y$  o 0,05 mm.

Do analizy przyjęto odległości pomiędzy środkami rowków  $L_r$  na powierzchni kształtującej płaszcz tłoka (wymiar wykonawczy formy 3 mm w tolerancji  $\pm 0,05$ ), wysokość rowka  $H_r$  (wymiar wykonawczy formy 0,35 mm) i różnicę wysokości pomiędzy kolejnymi rowkami  $h_r$  ukształtowane w odlewie kokilowym (rys. 5). Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.



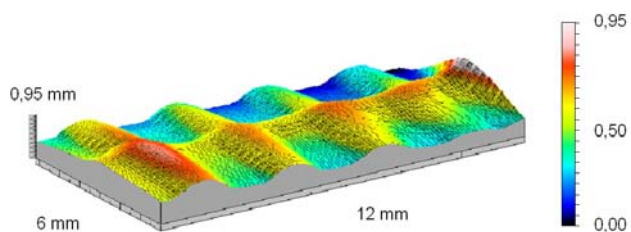
Rys. 2. Półfabrykat tłoka – odlew kokilowy.



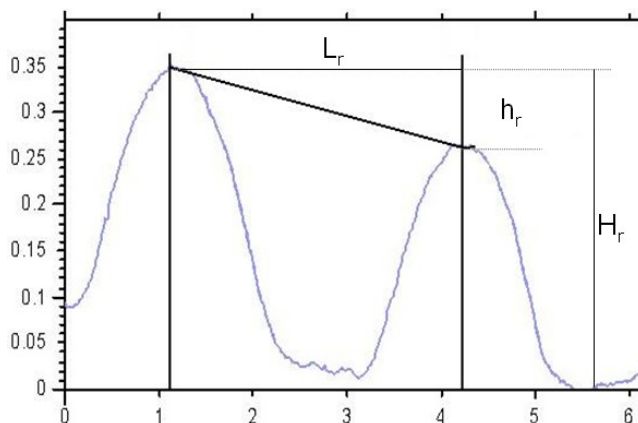
Rys. 3. Analizowana powierzchnia: a) fragment rysunku wykonawczego formy, b) numeryczny obraz obszaru, c) powierzchnia odlewu

Tabela 1 Pomiary charakterystycznych wymiarów w odlewie kokilowym

Tłok	$L_r$ , mm	$H_r$ , mm	$h_r$ , mm
AlSi7Mg	3,20	0,302	0,0858
AlSi7Mg/SiC	3,11	0,323	0,0874
AlSi7Mg/SiC+C <sub>g</sub>	3,06	0,234	0,0858



Rys. 4. Cyfrowy obraz 3D powierzchni tłoka kompozytowego AlSi7Mg/SiC



AlSi7Mg/SiC  
odległość między promieniami rowków,  $L_r$ : 3,11 mm  
wysokość  $H_r$ : 0,323 mm  
różnica wysokości  $h_r$ : 0,087 mm

Rys. 5. Charakterystyczne wymiary tłoka kompozytowego AlSi7Mg/SiC

W analizowanym obszarze powierzchni odlewu wyraźną różnicę zaobserwowano jedynie w przypadku tłoka odlanego z zawiesiny heterofazowej SiC+C<sub>g</sub>. Różnica wysokości rowka  $H_r$  w stosunku do wymiaru wykonawczego formy wynosiła 0,116 mm. Powtarzalna we wszystkich pomiarach różnica w wysokości pomiędzy kolejnymi rowkami  $h_r$  na poziomie 0,08 mm może wynikać z dokładności wykonania formy (tolerancja  $\pm 0,05$ ), a nie właściwości odlewanej materiału. Wykazane w badaniach różnice w odwzorowaniu wymiarów formy potwierdzają gorszą leżność zawiesin kompozytowych w stosunku do niezbrojonego stopu osnowy. Dokładność odwzorowania kształtu na poziomie 0,1 mm jest wystarczająca dla półfabrykatów odlanych tłoków kompozytowych. Należy podkreślić, że wszystkie odlewy testowe (ponad 100 sztuk) zostały zakwalifikowane do dalszej obróbki mechanicznej, kształtującej powierzchnie robocze tłoka.

## 4. Podsumowanie

Powtarzalność kształtu półfabrykatu w postaci odlewu kokilowego w znacznym stopniu wpływa na możliwości obróbki mechanicznej w centrach obróbkowych CNC. Wytworzone zawiesiny kompozytowe o zbrojeniu cząstkami SiC oraz mieszaniną SiC i

węgla szklonego charakteryzowały się dobrymi właściwościami odlewniczymi. Przeprowadzone próby technologiczne potwierdziły możliwość kształtowania tłoków kompozytowych przy wykorzystaniu technologii odlewania kokilowego. Odlewy wykonane w warunkach przemysłowych charakteryzowały się dużą powtarzalnością. Obecnie prowadzone są prace dotyczące możliwości wykonania obróbki mechanicznej na automatach tokarskich. Planowane są również badania skojarzenia tłok tuleja w warunkach rzeczywistych pracy sprężarki powietrza.

## Podziękowania

Praca naukowa realizowana w ramach dofinansowania przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach VI konkursu na projekty rozwojowe, projekt N RO7 001106.

## Literatura

- [1] A Mazurkiewicz i in. Raport: Scenariusze zintegrowane rozwoju technologicznego i społecznego w obszarze zrównoważonego rozwoju opracowany w ramach projektu „Zaawansowane technologie przemysłowe i ekologiczne dla zrównoważonego rozwoju kraju”, [www.portaltehnologii.pl](http://www.portaltehnologii.pl)
- [2] Koczek i in: Metal-Matrix Composites for Ground Vehicle, Aerospace, and Industrial Applications in Fundamentals of Metal-Matrix Composites Edited by: Suresh, Subra; Mortensen, Andreas; 1993 Elsevier,
- [3] Business Communications Company, RGB-108N Metal Matrix Composites in the 21st Century: Markets and Opportunities (2006).

- [4] S. C. Tung, M. L. McMillan: Automotive tribology overview of current advances and challenges for the future, *Tribology International* 37(2004), pp. 517–536
- [5] Y.D. Huang, N. Hort, K.U. Kainer: Thermal behaviour of short fiber reinforcement AlSi12CuMgNi piston alloy, *Composites Part A*, 35 (2004), pp. 249-263
- [6] Y. Yalcin, H. Akbulut: Dry wear properties of A356-SiC particle reinforced MMCs produced by two melting routes, *Materials and Design* 27 (2006) s. 872-881
- [7] J. Sobczak, S. Wojciechowski: Współczesne tendencje praktycznego zastosowania kompozytów metalowych, *Kompozyty (Composites)* 2(2002)3, s. 24-37.
- [8] Innowacje w odlewnictwie, część III pod redakcją J. Sobczaka, Instytut Odlewnictwa w Krakowie, Komitet Organizacyjny PBZ-KBN-114/T08/2004
- [9] M. Dyzia, A. Dolata-Grosz, J. Śleziona, J. Wieczorek, M. Starczewski: Kompozytowe tłoki do sprężarek wytwarzane metodą odlewania kokilowego, *Kompozyty (Composites)* 7: 2 (2007) s. 83-86.
- [10] A. Dolata-Grosz, M. Dyzia, J. Śleziona, J. Wieczorek: Composites applied for pistons, *Archives of Foundry Engineering*, vol. 7/1 (2007), pp. 37-40.
- [11] A. Dolata-Grosz, J. Wieczorek, J. Śleziona, M. Dyzia: Możliwości wykorzystania technik próżniowych do podnoszenia jakości zawieszin kompozytowych, *Archiwum Odlewnictwa*, 2006, Rocznik 6, Nr 18 (1/2), s. 285-290.
- [12] J. Śleziona, J. Wieczorek, A. Dolata-Grosz: Wpływ procesu odgazowania na strukturę kompozytów aluminiowych zawierających cząstki węgla szklonego i węgla krzemu, *Inżynieria Materiałowa* nr 3 (151), 2006, s. 665-667.
- [13] M. Dyzia: AlSi7Mg/SiC and heterophase SiC+C<sub>g</sub> composite for use in cylinder-piston system of air compressor, w druku *Solid State Phenomena* 2011

## Aluminium matrix heterophase composites for air compressor pistons

### Abstract

The article presents the results of surface test of composite shaped in the permanent mould casting process. As part of the research and development project realized in the Department of Materials Technology at the Silesian University of Technology, a pilot plant scale stand was built to manufacture of more than 50 kg suspensions in a single technological cycle. Made in industrial conditions castings to form in the five inner core mould mounted in GM110 permanent mould casting machine confirmed the possibility of the shaping the composite pistons. Castings made from composite suspension AlSi7Mg/SiC and AlSi7Mg/SiC + C<sub>g</sub> according to the technology procedure were classified as correct and devoted to the proper machining forming working surfaces of the piston to the air compressor. Comparative tests were performed for the casting of unreinforced AlSi7Mg alloy and composite castings. To assess the ability to fill the mold cavity and the accuracy of mapping used in contour shape FRT analysis of the distance between the grooves on the surface of the piston skirt. Studies have confirmed the differences in the fluidity of alloy matrix and composites suspensions. The difference in the accuracy of the dimensional mapping mould does not disqualify of composite materials, all castings are classified as correct and used for machining.