

Marian Mitko<sup>1</sup>

Politechnika Częstochowska, Katedra Odlewnictwa, al. Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa

## ROZSZERZALNOŚĆ CIEPLNA KOMPOZYTU TYPU STOP AlSi6Cu4-12% CZĄSTEK GRAFITU SYNTETYCZNEGO

Przedstawiono wyniki badań dylatometrycznych kompozytu typu stop AlSi6Cu4/grafit, otrzymanego metodą mieszania i prasowania cząstek grafitu syntetycznego w stanie ciekłostalnym. Kompozyt poddano dwóm cyklom nagrzewania i chłodzenia z temperatury otoczenia do 415°C. Uzyskane dylatogramy pokazano na rysunkach 1 i 2. Struktury kompozytu wyjściowego i po cyklach nagrzewania i chłodzenia pokazano na rysunku 3. Wydłużenie próbek o 0,11÷0,14% po pierwszym cyklu badań dylatometrycznych świadczy o dobrym połączeniu cząstek grafitu z osnową. Wartości chwilowych i średnich współczynników rozszerzalności cieplnej ( $\alpha_T$  i  $\alpha_{25-7}$ ) badanego kompozytu są wyższe od osnowy kompozytu (tabele 1-3). Średnia wartość współczynnika rozszerzalności w zakresie 25÷200°C wynosi  $24\pm 25 \cdot 10^{-6}$  1/K i jest w porównaniu ze stopem osnowy ok. 20% większa. W przypadku słabych wiązań na granicach międzyfazowych cząstka-osnowa wpływ cząstek grafitu na rozszerzalność byłby znacznie mniejszy.

Słowa kluczowe: lejność, kompozyty, stopy aluminium, cząstki grafitu, rozszerzalność cieplna

### THERMAL EXPANSION OF AlSi6Cu4/GRAPHITE COMPOSITE CONTAINING 12% OF SYNTHETIC GRAPHITE PARTICLES

The work presents the results of dilatometric examination of the AlSi6Cu4/graphite composite obtained by squeeze casting of the mixed matrix alloy and syntethic graphite particles. The composite has been subjected to double cycle of heating from ambient temperature to the temperature of 415°C and subsequent cooling. The obtained thermal expansion curves are presented in Figures 1 and 2. Initial structure of composite and the structures after thermal cycles are shown in Figure 3. Elongation of samples by 0.11÷0.14% after the first cycle of dilatometric examination confirms the exististence of a good joining between graphite and matrix. Values of instantaneous and average coefficients of thermal expansion ( $\alpha_T$  and  $\alpha_{25-7}$ ) for the investigated composite are greater than the corresponding values for pure matrix alloy (Tables 1-3). The average value of the coefficient of thermal expansion in the range 25÷200°C is equal  $24\pm 25 \cdot 10^{-6}$  1/K and is by 20% greater as compared with the matrix alloy. In the case of the weak joint at the interface the influence of graphite particles on the thermal expansion would be significantly less.

Key words: aluminium alloys, composites, graphite particles, thermal expansion

## WSTĘP

Kompozyty metalowe zbrojone cząstkami grafitu przeznaczone są do pracy w warunkach tarcia suchego i są narażone na zmiany temperatury. Gdy rozszerzalność cieplna materiału osnowy i cząstki zbrojącej znacznie się różnią, istnieje niebezpieczeństwo zerwania połączenia cząstek z osnową oraz niestabilności wymiarowej elementów wykonanych z kompozytów [1-3]. Odlewnicze stopy Al-Si charakteryzują się współczynnikiem rozszerzalności liniowej  $\alpha_{20-200} = 16\pm 23 \cdot 10^{-6}$  1/K, natomiast grafit krystalizujący w układzie heksagonalnym wykazuje  $\alpha_{0-100} = 6,6\pm 8 \cdot 10^{-6}$  1/K w płaszczyźnie równoległej do podstawy oraz  $26 \cdot 10^{-6}$  1/K w płaszczyźnie prostopadłej [4, 5]. Tak zróżnicowane właściwości rozszerzalności cieplnej stopu odlewniczego AlSi6Cu4 (cecha AK64 wg PN-70/H-88027) i cząstek grafitu wymagają wyznaczenia współ-

czynnika rozszerzalności cieplnej kompozytów w temperaturach ich pracy.

## MATERIAŁ DO BADAŃ

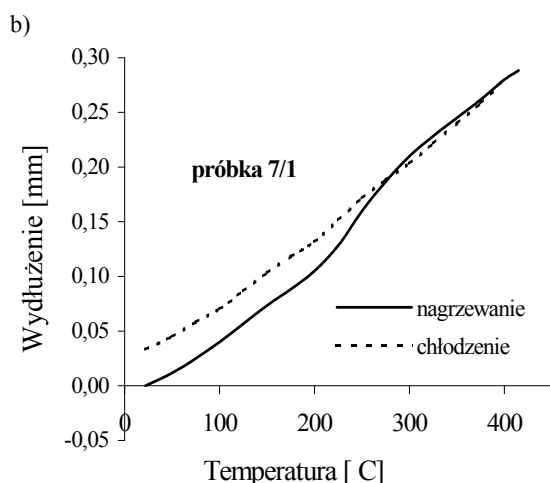
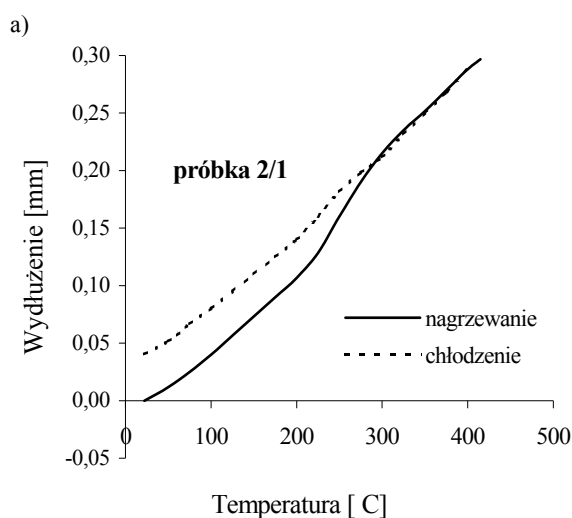
Badaniom rozszerzalności cieplnej poddano kompozyt typu stop AlSi6Cu4/grafit o 12% udziale objętościowym cząstek grafitu syntetycznego o ziarnach 71÷100  $\mu\text{m}$ . Kompozyt wytworzono metodą mieszania i prasowania cząstek grafitu ze stopem odlewniczym AlSi6Cu4 w stanie ciekłostalnym. Stop z grafitem mieszano mechanicznie w atmosferze w zakresie 605÷610°C. Mieszaninę po wprowadzeniu do formy metalowej prasowano pod ciśnieniem 300 MPa [6]. Struktura kompozytu składa się z cząstek grafitu roz-

<sup>1</sup> dr inż.

mieszczonych w eutektyce oraz globularnych wydzieleni fazy  $\alpha$  stopu osnowy.

## METODYKA I WYNIKI BADAŃ

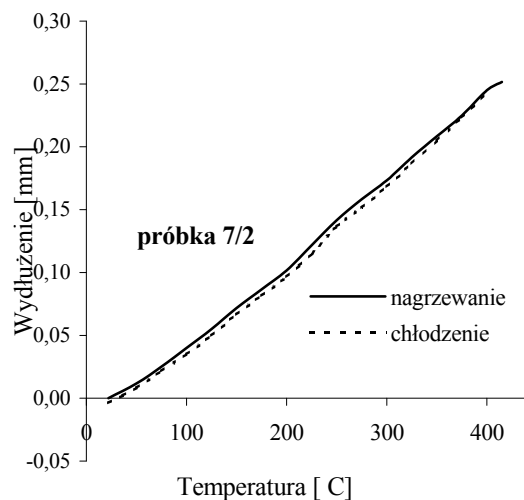
Oznaczenie współczynnika cieplnej rozszerzalności liniowej kompozytu stop AlSi6Cu4/grafit przeprowadzono na dylatometrze optycznym LS-4. Próbkę o wymiarach  $\Phi$  5x30 mm nagrzewano i chłodzono w komorze pieca dylatometru. Cykl pomiarowy obejmował nagrzewanie z temperatury otoczenia do 415°C, a następnie chłodzenie do temperatury otoczenia z szybkością 180°C/h. W celu określenia stabilności wymiarowej próbkę kompozytu poddano dwóm cyklom nagrzewania i chłodzenia. Uzyskane krzywe dylatometryczne (wykresy bezwzględnego wydłużenia próbek w funkcji temperatury) przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Dylatogram kompozytu stop AlSi6Cu4+12% C<sub>gr</sub> (1 cykl)  
Fig. 1. Thermal expansion curve for AlSi6Cu4+12% C<sub>gr</sub> (1-st cycle)

Krzywe dylatometryczne uzyskane w pierwszym cyklu badań na próbce 2 oraz próbce 7 mają podobny

przebieg. W temperaturze ok. 300°C krzywa nagrzewania przebiega od dołu krzywą chłodzenia (rys. 1). Analizując kinetykę przebiegu krzywych nagrzewania, widać dwa załamania. Pierwsze w okolicach 165°C, gdy następuje szybszy wzrost krzywej, i drugie przy ok. 315°C, gdy zmniejsza się jej kąt nachylenia do osi temperatury. Na krzywych chłodzenia zmiany te są znacznie łagodniejsze. Przy drugim cyklu (rys. 2) przebieg krzywych nagrzewania i chłodzenia jest podobny i powyżej temperatury 100°C jest prawie liniowy, a krzywa chłodzenia przebiega nieznacznie poniżej krzywej nagrzewania. Po pierwszym cyklu nagrzewania i chłodzenia w badanych próbkach wystąpiło wydłużenie próbek - próbki 2 o 0,042 mm (0,14%), a próbki 7 o 0,034 mm (0,11%). Próbka 7 w drugim cyklu uległa skróceniu o 0,003 mm (0,01%) w stosunku do długości po pierwszym cyklu.



Rys. 2. Dylatogram kompozytu stop AlSi6Cu4+12% C<sub>gr</sub> (2 cykl)  
Fig. 2. Thermal expansion curve for AlSi6Cu4+12% C<sub>gr</sub> (2-nd cycle)

Krzywe dylatometryczne posłużyły do obliczenia wartości średnich ( $\alpha_{25-T}$ ) i chwilowych ( $\alpha_T$ ) cieplnych współczynników rozszerzalności liniowej (tabela 1-3). Chwilowy współczynnik rozszerzalności w zakresie od 25 do 415°C w pierwszym cyklu, dla dwóch badanych próbek (tabela 1 i 2), wynosił od  $17 \cdot 10^{-6}$  do  $43 \cdot 10^{-6}$  1/K, osiągając najwyższe wartości przy nagrzewaniu w zakresie 200÷300°C, a następnie małał do ok.  $25 \cdot 10^{-6}$  1/K. Przy chłodzeniu współczynnik  $\alpha_T$  nie zmieniał się w tak dużych granicach, przyjmował niższe wartości i dochodził do  $30 \cdot 10^{-6}$  1/K. W drugim cyklu nagrzewania

i chłodzenia (tab. 3) zmiany współczynnika  $\alpha_T$  nie są już tak znaczne ze zmianą temperatury, a obliczone z krzywej nagrzewania i chłodzenia są podobnej wartości. W badanym zakresie temperatur współczynnik  $\alpha_T$  mieści się w granicach od  $17 \cdot 10^{-6}$  do  $27 \cdot 10^{-6}$  1/K. Średnie współczynniki liniowej rozszerzalności cieplnej  $\alpha$  w

zakresie od 25 do 300°C są najwyższe i wynoszą ok.  $25 \cdot 10^{-6}$  1/K podczas nagrzewania, jak i chłodzenia.

TABELA 1. Wyniki pomiarów współczynnika  $\alpha$  w 1 cyklu próbki 2

TABLE 1. Results of measuring the  $\alpha$  coefficient in the 1-st cycle for the N<sup>o</sup> 2 sample

Temp. °C	Współczynnik chwilowy $\alpha_T \cdot 10^{-6}$ 1/K		Współczynnik średni $\alpha_{25-T} \cdot 10^{-6}$ 1/K	
	nagrzewanie	chłodzenie	nagrzewanie	chłodzenie
50	17,8	17,0	16,1	22,2
100	20,1	19,2	17,4	23,0
150	22,3	20,0	19,3	23,2
200	23,6	25,1	20,1	24,0
250	42,3	28,8	23,6	23,6
300	33,4	26,5	25,9	24,8
350	26,7	25,0	25,7	25,3
400	24,5	22,4	25,3	23,6

TABELA 2. Wyniki pomiarów współczynnika  $\alpha$  w 1 cyklu próbki 7

TABLE 2. Results of measuring the  $\alpha$  coefficient in the 1-st cycle for the N<sup>o</sup> 7 sample

Temp. °C	Współczynnik chwilowy $\alpha_T \cdot 10^{-6}$ 1/K		Współczynnik średni $\alpha_{25-T} \cdot 10^{-6}$ 1/K	
	nagrzewanie	chłodzenie	nagrzewanie	chłodzenie
50	17,8	17,8	16,0	22,1
100	20,0	19,1	17,3	23,0
150	22,2	20,0	19,2	23,2
200	26,7	26,6	19,8	24,0
250	42,2	28,3	23,5	23,6
300	31,1	24,3	25,3	24,8
350	24,4	24,3	25,0	25,3
400	21,5	23,5	21,5	23,6

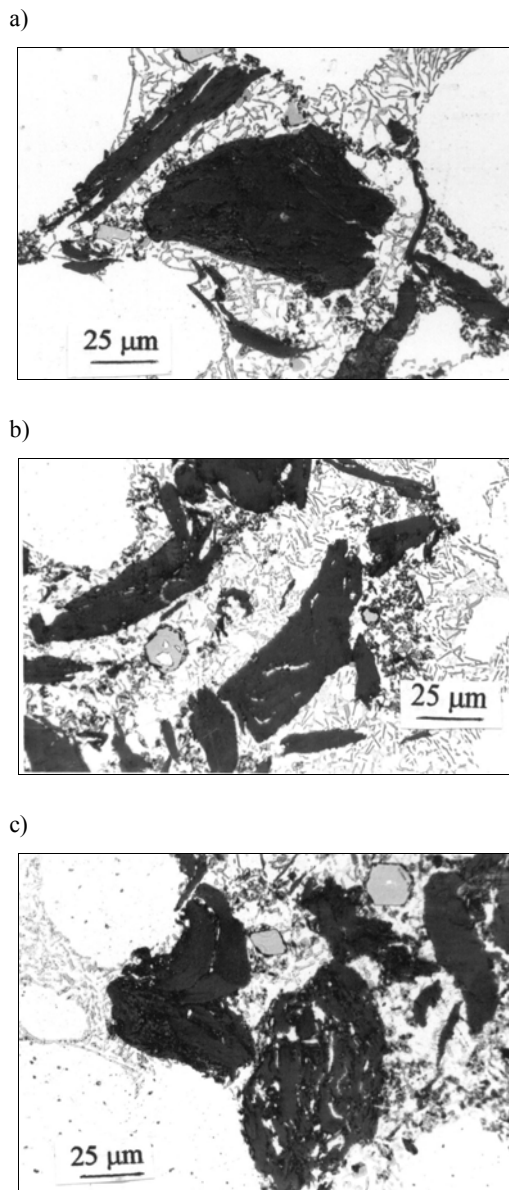
TABELA 3. Wyniki pomiarów współczynnika  $\alpha$  w 2 cyklu próbki 7

TABLE 3. Results of measuring the  $\alpha$  coefficient in the 2-nd cycle for the N<sup>o</sup> 7 sample

Temp. °C	Współczynnik chwilowy $\alpha_T \cdot 10^{-6}$ 1/K		Współczynnik średni $\alpha_{25-T} \cdot 10^{-6}$ 1/K	
	nagrzewanie	chłodzenie	nagrzewanie	chłodzenie
50	17,8	18,8	17,0	21,1
100	20,0	20,0	17,3	22,9
150	20,7	20,7	18,8	23,2
200	22,2	23,4	23,1	24,0
250	26,6	24,4	25,8	24,0
300	23,3	25,3	21,1	24,3
350	22,2	25,0	22,9	24,4
400	22,0	23,8	22,0	22,9

Na próbkach kompozytu wyjściowego do badań dylatometrycznych oraz po 1 i 2 cyklu nagrzewania i chłodzenia wykonano zglądy metalograficzne. Przykładowe zdjęcia otrzymanych mikrostruktur zamieszczono na rysunku 3.

dzenia wykonano zglądy metalograficzne. Przykładowe zdjęcia otrzymanych mikrostruktur zamieszczono na rysunku 3.



Rys. 3. Struktura kompozytu stop AlSi6Cu4+12% C<sub>gr</sub>, zgląd trawiono 2% HF: a) wyjściowa, b) po 1 cyklu, c) po 2 cyklu

Fig. 3. Structure of the AlSi6Cu4 alloy+12% C<sub>gr</sub> composite, microsection etched with 2% HF: a) initial, b) after the 1-st cycle, c) after the 2-nd cycle

W osnowie kompozytu niepoddanego nagrzewaniu i chłodzeniu (rys. 3a) widać zaokrąglone wydzielania fazy  $\alpha$  oraz osadzone w eutektyce ( $\alpha+\beta$ ) cząstki grafitu. Cząstki grafitu dobrze przylegają do osnowy metalowej, a powierzchnie grafitu są wyraźne i gładkie. Po pierwszym cyklu badań dylatometrycznych struktura kompozytu zasadniczo nie ulega zmianie, jednak uwidacznia się już w niektórych cząstkach grafitu oddzielanie pakietów (rys. 3b). Po drugim cyklu jest to bardziej widoczne,

a powierzchnie grafitu nie są tak gładkie, ale nadal dobrze przylegają do osnowy metalowej (rys. 3c).

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania wskazują, że podczas pierwszego nagrzewania pomiędzy 160 a 320°C następuje szybki wzrost chwilowego współczynnika rozszerzalności cieplnej kompozytu, co może być rezultatem zmiany składu strukturalnego osnowy w wyniku dyfuzji krzemu z fazy  $\alpha$ . Wydłużenie próbek po pierwszym cyklu nagrzewania i chłodzenia może świadczyć o dobrym połączeniu cząstek grafitu z osnową, gdyż w przeciwnym przypadku następowałoby wypełnianie wolnych przestrzeni na granicy międzyfazowej cząstka-osnowa szybciej zwiększającymi objętość cząstkami grafitu. Grafit rozszerza się w kierunku równoległym do płaszczyzny bazowej swej sieci krystalograficznej około 30% więcej od stopu osnowy. Powoduje to naprężenia mogące doprowadzić do trwałego odkształcenia osnowy, a przez to do zwiększenia objętości kompozytu. Naprężenia te występują także w graficie i mogą być przyczyną rozwarstwień cząstek grafitu. Już w drugim cyklu krzywe dylatometryczne nagrzewania i chłodzenia kompozytu nieznacznie się różnią, a ich przebieg zbliżony jest do liniowego. Średnia wartość współczynnika rozszerzalności w zakresie 25÷200°C wynosi  $24\div 25 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$  i jest w porównaniu ze stopem osnowy ok. 20% większa. W przypadku słabych wiązań na granicach międzyfazowych cząstka-osnowa wpływ cząstek grafitu na rozszerzalność byłby znacznie mniejszy [2].

Analiza wyników badań wskazuje także na celowość przeprowadzenia obróbki cieplnej, która może doprowadzić do stabilizacji wymiarów elementów wykonanych z tego typu kompozytów. Parametry obróbki cieplnej uzależnione będą od struktury kompozytu, na którą istotny wpływ mają: stop osnowy, udział cząstek zbrojących i metoda jego wytwarzania. Wymaga to dalszych badań w celu ustalenia wpływu wymienionych czynników na rozszerzalność cieplną kompozytów.

## LITERATURA

- [1] Tomczyński S., Mitko M., Analiza porównawcza zużycia ściernego kompozytów na bazie stopów aluminium, *Acta Metallurgica Slovaca* 2001, 7, 2/2, 343-347.
- [2] Kurzawa A., Kaczmar J.W., Janus A., Rozszerzalność cieplna materiałów kompozytowych na osnowie Al w podwyższonych temperaturach, *Kompozyty* 2001, 1, 2, 167-170.
- [3] Konopka Z., Cisowska M., Rachwalik A., Rozszerzalność cieplna materiałów kompozytowych na osnowie stopu AlMg10 z cząstkami SiC i Cgr, *Kompozyty* 2002, 2, 3, 113-116.
- [4] Wasilewski P., Siluminy - modyfikacja i jej wpływ na strukturę i właściwości, *Krzepnięcie Metali i Stopów (Solidification of Metals and Alloys)*, Monografia 21, PAN, Katowice 1993.
- [5] Podrzucki C., Żeliwo - struktura, właściwości zastosowanie, Tom 1 i 2, Wydawnictwo ZG STOP, Kraków 1991.
- [6] Mitko M., Tomczyński S., Morphology of the structure of AlSi6Cu4 alloy/synthetic graphite composites, 7<sup>th</sup> International Conference Technologia 2001, Volume II, Bratislava 11-12.9.2001, 528-531.

Recenzent  
Józef Gawroński