

Marian Mitko¹

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

WPLYW CZĄSTEK GRAFITU NA ROZSZERZALNOŚĆ CIEPLNĄ KOMPOZYTÓW METALOWYCH AISi6Cu4/GRAFIT

Kompozyty metalowe zbrojone cząstkami grafitu syntetycznego wytworzono metodą mieszania i prasowania cząstek ze stopem odlewniczym AISi6Cu4 (AK64) w stanie ciekło-stalym. Wytworzono kompozyty zawierające odpowiednio: 4, 8 i 12% objętościowych cząstek grafitu. W celach porównawczych wytworzono także tą metodą próbki ze stopu AK64, jednak bez dodawania grafitu. Przykładowe struktury otrzymanego w ten sposób materiału do badań pokazano na rysunku 1. Oznaczenie współczynnika cieplnej rozszerzalności liniowej przeprowadzono na dylatometrze optycznym LS-4. Cykl pomiarowy obejmował nagrzewanie próbek z temperatury 25 do 415°C, a następnie chłodzenie do temperatury 25°C z szybkością 180°C/h. Wyniki obliczeń średnich wartości współczynnika rozszerzalności liniowej ($\alpha_{25..7}$) uzyskane w procesie nagrzewania zestawiono na rysunku 2, a chłodzenia na rysunku 3. Zmianę wymiarów próbek po badaniach dylatometrycznych zestawiono w tabeli 1. Podczas nagrzewania pomiędzy 200 a 300°C następuje szybki wzrost współczynnika rozszerzalności cieplnej badanych kompozytów i stopu AK64 odpowiednio od $20 \pm 22 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ do $26 \pm 28 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Przy dalszym nagrzewaniu do temperatury 415°C następuje obniżenie współczynnika rozszerzalności cieplnej do $25 \pm 27 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Przy ochładzaniu próbek obniżanie współczynnika do $22 \pm 24 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ jest bardziej równomierne. Zwiększenie wymiarów po cyklu nagrzewania i chłodzenia jest znacznie większe dla próbek z kompozytów niż dla próbek wykonanych ze stopu użytego na osnowę. Rozszerzalność cieplna w porównaniu ze stopem osnowy jest tym mniejsza, im większy jest udział cząstek grafitu w kompozycie. Przy udziale 8-12% cząstek grafitu różnice te dochodzą do ponad 10%, a przy udziale 4% cząstek do 5%, co wskazuje na silne połączenie na granicy międzyfazowej cząstka-osnowa. Wzrost udziału cząstek grafitu korzystnie wpływa na właściwości eksploatacyjne kompozytów AISi6Cu4/grafit w warunkach tarcia suchego nie tylko poprzez zmniejszenie zużycia ściernego i współczynnika tarcia, ale także w wyniku zmniejszenia rozszerzalności cieplnej kompozytu. Zwiększenie stabilizacji wymiarów, a także zmniejszenie naprężeń w czasie eksploatacji można uzyskać, przeprowadzając odpowiednią obróbkę cieplną elementów wykonanych z tego typu kompozytów, co w efekcie powinno wydłużyć ich czas eksploatacji.

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

THE INFLUENCE OF GRAPHITE PARTICLES ON THERMAL EXPANSION OF METAL COMPOSITES AISi6Cu4/GRAPHITE

Metal composites reinforced with synthetic graphite particles have been obtained by squeeze casting of AISi6Cu4 (AK64) cast alloy mixed with graphite particles. Composites containing 4, 8, and 12% (by volume) of graphite have been obtained. Also pure AISi6Cu4 alloy (i.e. without graphite addition) has been squeeze cast for the purpose of comparison. Exemplary structures of such obtained materials have been shown in Figure 1. Determining of the coefficient of thermal expansion has been performed with use of the LS-4 optical dilatometer. Measuring cycle has covered heating of specimens from the temperature of 25 to 415°C and subsequent cooling back to 25°C, both with the rate of 180°C/h. Results of calculating average values of the coefficient of thermal expansion ($\alpha_{25..7}$) have been shown in Figure 2 for the data obtained on heating, and in Figure 3 for the data gathered during the cooling period. Dimensional changes of specimens after dilatometric examination have been presented in Table 1. A rapid growth in the coefficient of thermal expansion - from $20 \pm 22 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ to $26 \pm 28 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ - occurs during heating from 200 to 300°C both for examined composites and for AISi6Cu4 alloy. Further heating to 415°C results in decreasing of the coefficient of thermal expansion to $25 \pm 27 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. During the cooling stage dropping of the coefficient of thermal expansion has more even character. The dimensional growth after the heating and cooling cycle is much larger for composite specimens than for the specimens of pure matrix alloy. Thermal expansion of composites as compared with the value for matrix alloy is the smaller the greater is the graphite particles percentage in composite material. These differences exceed 10% at the graphite percentage of 8-12%, and reach 5% at the graphite content of 4%. This suggests the existence of strong bonding at the particle-matrix interface. The increase of graphite particles content is advantageous for the serviceability of AISi6Cu4/graphite composites not only because of diminishing the frictional wear and the coefficient of friction, but also due to decreasing of thermal expansion of composite material. Improving the dimensional stability as well as decreasing working stresses can be achieved by employing a proper thermal treatment of elements made of such composites, which should result in prolonging their lifetime.

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

¹ dr inż.

WSTĘP

W kompozycie stop AlSi6Cu4/grafit rozszerzalność cieplna osnowy i cząstek zbrojących znacznie się różnią. Współczynnik rozszerzalności liniowej stopu odlewniczego AlSi6Cu4, w zakresie temperatur 20÷200°C 1/K, wynosi ok. $18 \cdot 10^{-6}$ 1/K. W przypadku grafitu krystalizującego w układzie heksagonalnym współczynnik ten, w zakresie 0÷100°C, wynosi $6,6 \cdot 10^{-6}$ 1/K w płaszczyźnie równoległej i $26 \cdot 10^{-6}$ 1/K w płaszczyźnie prostopadłej do podstawy [1, 2]. Przy tak zróżnicowanej rozszerzalności cieplnej osnowy i cząstek zbrojących może zostać zerwane połączenie cząstek z osnową oraz wystąpić niestabilność wymiarowa elementów wykonanych z kompozytów narażonych na znaczne zmiany temperatury podczas pracy w warunkach tarcia suchego [3-5]. W pracy [6] wyznaczono wartości chwilowych (α_T) i średnich (α_{25-T}) współczynników rozszerzalności cieplnej w zakresie 25÷415°C dla kompozytu AlSi6Cu4+12%C_{gr}. Stwierdzono, że wartości współczynników rozszerzalności cieplnej badanego kompozytu o udziale 12% cząstek grafitu w porównaniu ze stopem osnowy są około 20% większe. Badania metalograficzne próbek poddanych cyklowi nagrzewania i chłodzenia oraz analiza wyników badań dylatometrycznych świadczą o dobrym połączeniu cząstek grafitu z osnową. Celem niniejszej pracy jest ustalenie wpływu udziału cząstek grafitu w badanym kompozycie na jego rozszerzalność cieplną.

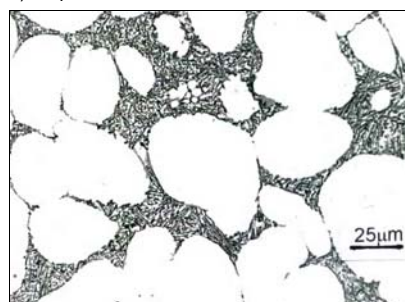
MATERIAŁ DO BADAŃ

Kompozyt typu stop AlSi6Cu4/grafit syntetyczny wytworzono metodą mieszania i prasowania cząstek grafitu ze stopem odlewniczym AlSi6Cu4 w stanie ciekło-stalym. Stop z grafitem mieszano mechanicznie w zakresie 605÷610°C w atmosferze ochronnej argonu. Wytworzono kompozyty zawierające odpowiednio: 4, 8 i 12% objętościowych cząstek grafitu. Zastosowano grafit syntetyczny o ziarnistości 71÷100 µm produkcji ZEW S.A. w Raciborzu. Mieszanie wprowadzeniu do formy metalowej prasowano pod ciśnieniem 300 MPa, otrzymując krążki $\phi 55 \times 30$ mm, z których wykonano próbki do badań dylatometrycznych [7]. Struktura kompozytu składa się z cząstek grafitu rozmieszczonych w eutektyce oraz globularnych wydzieleni fazy α stopu osnowy. W celach porównawczych wytworzono także metodą mieszania i prasowania w stanie ciekło-stalym krążki ze stopu AlSi6Cu4, jednak bez dodawania grafitu. Przykładowe struktury otrzymanego w ten sposób materiału do badań pokazano na rysunku 1.

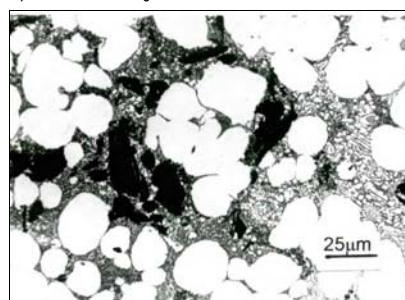
METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Badania dylatometryczne przeprowadzono na próbkach z otrzymanych kompozytów AlSi6Cu4/grafit oraz w celach porównawczych ze stopu odlewniczego AK64. Oznaczenie współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej przeprowadzono na dylatometrze optycznym LS-4. Próbki o wymiarach $\phi 5 \times 30$ mm nagrzewano i chłodzono w komorze pieca dylatometru. Cykl pomiarowy obejmował nagrzewanie z temperatury 25 do 415°C, a następnie chłodzenie do temperatury 25°C. Nagrzewanie i chłodzenie próbek przeprowadzono z szybkością 180°C/h. Uzyskane krzywe dylatometryczne posłużyły do obliczenia średnich wartości współczynnika rozszerzalności liniowej (α_{25-T}).

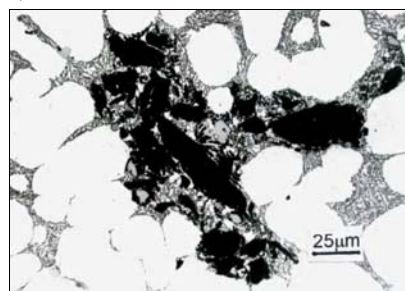
a) stop AK64



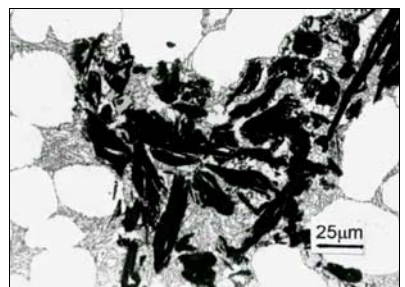
b) AK64+4% C_{gr}



c) AK64+8% C_{gr}



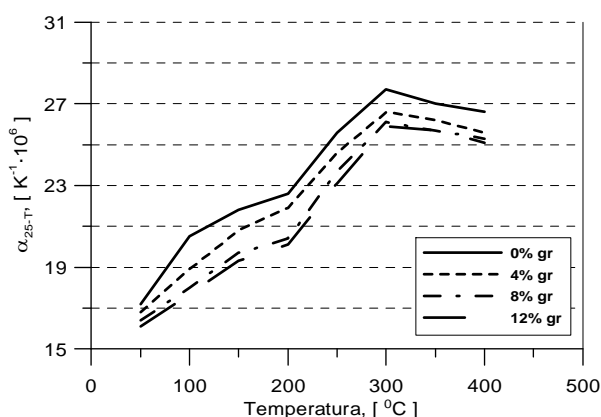
d) AK64+12% C_{gr}



Rys. 1. Struktura badanych próbek ze stopu AlSi6Cu4 i kompozytu stop AlSi6Cu4/grafit, zgląd trawiono 2% HF

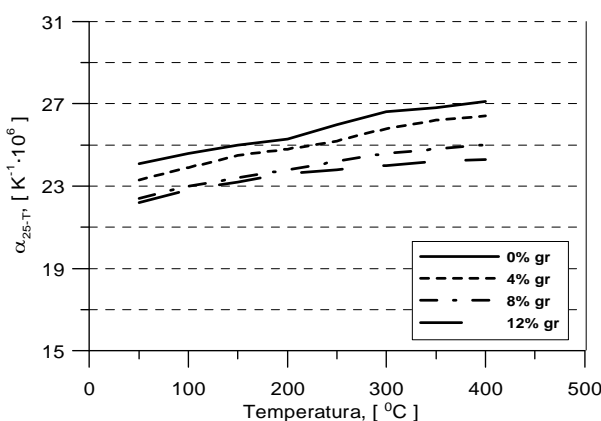
Fig. 1. Structure of the examined specimens of AlSi6Cu4 alloy and AlSi6Cu4/graphite composite, microsection etched with 2% HF

Wyniki obliczeń uzyskane w procesie nagrzewania zestawiono na rysunku 2, a chłodzenia na rysunku 3. Po cyklu pomiarowym obejmującym nagrzewanie, a następnie chłodzenie badane próbki uległy wydłużeniu. Uzyskane wydłużenia, jako procent długości początkowej próbki, zestawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Zależność współczynnika rozszerzalności α_{25-T} od udziału cząstek grafitu w kompozycie AlSi6Cu4/grafit mierzona podczas nagrzewania

Fig. 2. Coefficient of expansion α_{25-T} measured during heating for various graphite contents in AlSi6Cu4/graphite composite



Rys. 3. Zależność współczynnika rozszerzalności α_{25-T} od udziału cząstek grafitu w kompozycie AlSi6Cu4/grafit mierzona podczas chłodzenia

Fig. 3. Coefficient of expansion α_{25-T} measured during cooling for various graphite contents in AlSi6Cu4/graphite composite

TABELA 1. Zmiana wymiarów próbek po badaniach dylatometrycznych

TABLE 1. Dimensional changes of specimens after dilatometric examination

Badany materiał	AlSi6Cu4	AlSi6Cu4 +4% grafitu	AlSi6Cu4 +8% grafitu	AlSi6Cu4 +12% grafitu
Wydłużenie próbki	0,082%	0,103%	0,122%	0,125%

Po cyklu nagrzewanie-chłodzenie zrealizowanym w zakresie 25-415-25°C próbka nie powraca do wymiarów wyjściowych i jej wymiary są większe. Wraz ze wzrostem udziału cząstek grafitu w kompozycie zwiększa się procentowy przyrost długości próbki. W porównaniu ze stopem osnowy przyrost ten w kompozytach jest większy o ponad 25% przy 4% udziale i około 50% przy 8 i 12% udziale cząstek grafitu.

Na wszystkich krzywych dylatometrycznych podczas nagrzewania obserwuje się dwa przegięcia. Przy temperaturze ok. 170°C następuje wzrost kąta nachylenia, a od 300÷350°C jego zmniejszenie. W rezultacie średni współczynnik rozszerzalności liniowej α_{25-T} wraz z temperaturą rośnie szybciej do ok. 150°C, następnie wolniej do 200°C, a następnie szybciej osiągając przy ok. 320°C maksymalne wartości (rys. 2). Przy chłodzeniu zmiany te, w znacznie złagodzonej formie, zaobserwowano tylko w przypadku stopu AlSi6Cu4 oraz kompozytu o udziale 4% cząstek grafitu (rys. 3). Kompozyty mają współczynnik rozszerzalności α_{25-T} około 10% mniejszy w porównaniu ze stopem ich osnowy. Współczynniki te dla osnowy (stopu AK64) mają wartości $\alpha_{25-100} = 20,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $\alpha_{25-300} = 27,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $\alpha_{25-400} = 26,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, a w przypadku kompozytu o 12% udziale cząstek grafitu odpowiednio $\alpha_{25-100} = 17,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $\alpha_{25-300} = 25,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $\alpha_{25-400} = 25,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Kompozyty o 4% udziale cząstek grafitu mają wartości współczynnika α_{25-T} ok. 2% mniejsze od osnowy, natomiast o 8% udziale cząstek mają wartości współczynnika α_{25-T} do 2,5% większe od kompozytów o 12% udziale cząstek grafitu.

PODSUMOWANIE

Podczas nagrzewania pomiędzy temp. 200 a 300°C następuje szybki wzrost współczynnika rozszerzalności cieplnej badanych kompozytów i stopu AlSi6Cu4 odpowiednio od 20÷22 · 10⁻⁶ K⁻¹ do 26÷28 · 10⁻⁶ K⁻¹. Przy dalszym nagrzewaniu do temperatury 415°C następuje obniżenie współczynnika rozszerzalności cieplnej do 25÷27 · 10⁻⁶ K⁻¹. Przy ochładzaniu próbek obniżanie współczynnika do 22÷24 · 10⁻⁶ K⁻¹ jest bardziej równomierne. Zjawisko to może być wynikiem dyfuzji krzemu z fazy α do eutektyki, co wiąże się ze zmianą składu strukturalnego osnowy kompozytu. Zwiększenie wymiarów po cyklu nagrzewania i chłodzenia jest znacznie większe dla próbek z kompozytów niż dla próbek wykonanych ze stopu użytego na osnowę. Grafit rozszerza się w kierunku równoległym do płaszczyzny bazowej swej sieci krystalograficznej około 30% więcej w porównaniu ze stopem AlSi6Cu4 użytym na osnowę. Powoduje to naprężenia mogące doprowadzić do trwałego odkształcenia osnowy, a przez to do zwiększenia objętości kompozytu. Wskazuje to na dobre połączenie

cząstek grafitu z osnową, gdyż w przeciwnym przypadku podczas rozszerzania następowałoby wypełnianie wolnych przestrzeni na granicy międzyfazowej cząstka-osnowa i naprężenia w osnowie kompozytu byłyby mniejsze. Średnia wartość współczynnika rozszerzalności w badanym zakresie temperatur w porównaniu ze stopem osnowy jest tym mniejsza, im jest większy udział cząstek grafitu w kompozycie. Przy udziale 8÷12% cząstek grafitu różnice w rozszerzalności kompozytu w porównaniu ze stopem AlSi6Cu4 dochodzą do ponad 10%, a przy udziale 4% cząstek do 5%. Wskazuje to także na silne połączenie cząstka-osnowa [4]. Wzrost udziału cząstek zbrojących korzystnie wpływa na właściwości eksploatacyjne kompozytów AlSi6Cu4/grafit w warunkach tarcia suchego nie tylko poprzez zmniejszenie zużycia ściernego i współczynnika tarcia [3], ale także w wyniku zmniejszenia rozszerzalności cieplnej kompozytu.

LITERATURA

- [1] 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.
- [2] Podrzucki C., Żeliwo - struktura, właściwości zastosowanie, T. 1 i 2, Wydawnictwo ZG STOP, Kraków 1991.
- [3] Tomczyński S., Mitko M., Analiza porównawcza zużycia ściernego kompozytów na bazie stopów aluminium, Acta Metallurgica Slovaca 2001, 7, 2/2, 343-347.
- [4] Kurzawa A., Kaczmar J.W., Janus A., Rozszerzalność cieplna materiałów kompozytowych na osnowie Al w podwyższonych temperaturach, Kompozyty (Composites) 2001, 1, 2, 167-170.
- [5] Konopka Z., Cisowska M., Rachwalik A., Rozszerzalność cieplna materiałów kompozytowych na osnowie stopu AlMg10 z cząstkami SiC i C_{gr}, Kompozyty (Composites) 2001, 2, 3, 113-116.
- [6] Mitko M., Rozszerzalność cieplna kompozytu stop AlSi6Cu412% - cząstek grafitu syntetycznego, Kompozyty (Composites) 2003, 3, 8, 376-379.
- [7] Mitko M., Tomczyński S., Morphology of the structure of AlSi6Cu4 alloy/synthetic graphite composites, 7th International Conference Technologia 2001, Volume II, Bratislava 11-12.9.2001, 528-531.

Recenzent
Michał Szweycer