

Adam Kurzawa¹, Jacek W. Kaczmar³, Andrzej Janus³

Politechnika Wroclawska, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji, ul. Łukasiewicza 3/5, 50-371 Wrocław

ROZSZERZALNOŚĆ CIEPLNA MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH NA OSNOWIE AI W PODWYŻSZONYCH TEMPERATURACH

W opracowaniu przedstawiono wyniki badań rozszerzalności cieplnej materiałów kompozytowych na osnowie stopu AK9 umacnianych kształtkami ceramicznymi z włókien Saffil. Badania wykazały zależność wartości współczynnika rozszerzalności cieplnej α materiałów kompozytowych od zawartości włókien ceramicznych w osnowie stopu AK9. Ponadto analiza dylatogramów wykazała zjawisko skracania długości próbek umocnionych włóknami po pierwszym cyklu ich nagrzewania i chłodzenia.

THERMAL EXPANSION OF AI BASED COMPOSITE MATERIALS AT ELEVATED TEMPERATURES

Besides excellent mechanical and development properties of composite materials, thermal expansion and dimensional stability at temperature intervals 20-450°C play the very important role and effect on practical applications of these materials. There are shown results of dilatometric investigations of composite materials on AK9 matrix strengthened with ceramic preforms made of Saffil fibres. These materials were prepared by pressure infiltration of porous ceramic preforms with liquid AK9 alloy - „squeeze casting”. Composite materials containing 10, 15 and 20 vol.% of ceramic fibres were investigated. Samples of diameter of 5 mm and length of 30 mm made of these materials were heated from ambient temperature (20°C) to 450°C and cooled again to the ambient temperature. For comparison dilatometric investigations applying the same heating and cooling conditions were performed for not strengthened AK9 alloy.

Analysis of dilatograms showed, that after 1-st heating and cooling cycle shrinkage of samples was ascertained. For example in the case composite materials containing 15 vol.% of fibres shortening after 1-st heating cycle was 1.3×10^{-3} (Fig. 1) and for composite material containing 20 vol.% of fibres shrinkage was of 1.7×10^{-3} (Fig. 3). Shrinkage of samples was not ascertained in the not strengthened AK9 cast alloy and after 2-nd heating and cooling cycle of composite materials (Fig. 2). On this base it can be ascertained, that after 1-st heating and cooling cycle the composite materials achieved dimensional stability. Achieving of dimensional stability after 1-st cycle of heating and cooling can be explained by the intensive diffusional transport of matter from the matrix to the pores at the interface during heating process. In the future investigations it should be explained which parameters of thermal treatment effects on the thermal stability.

Performed investigations showed dependence of thermal expansion coefficients α from the fibres content in the AK9 matrix what is shown at Figs. 4 and 5. Increase of ceramic fibres content in the matrix effects on decrease of thermal expansion coefficients α approximately proportional to the fibres contents. The largest thermal expansion coefficient α was measured for cast AK9 alloy.

WPROWADZENIE

Bardzo szerokie zastosowanie materiałów kompozytowych w budowie elementów maszyn i urządzeń powoduje, że niejednokrotnie są one narażone na pracę w warunkach zmiennych temperatur [1, 2]. Ze względu na znacznie różniące się wartości współczynników rozszerzalności cieplnej α materiału osnowy i umacniającej kształtki ceramicznej zachodzi obawa, czy w warunkach podwyższonych temperatur elementy wykonane z materiałów kompozytowych zachowają stabilność wymiarową i czy nie nastąpi zerwanie połączeń osnowa-materiał zbrojący na granicach międzyfazowych. Zachodzi zatem potrzeba określenia rozszerzalności cieplnej tych materiałów w warunkach podwyższonych temperatur.

BADANIA DYLATOMETRYCZNE

Celem badań dylatometrycznych było określenie rozszerzalności cieplnej i stabilności wymiarowej materiałów kompozytowych w podwyższonych temperaturach. Badaniom zostały poddane materiały kompozytowe wykonane metodą infiltracji pod ciśnieniem ciekłym stopem AK9 kształtek ceramicznych wykonanych z włókien ceramicznych Saffil. Materiały kompozytowe charakteryzowały się różną porowatością umacniających kształtek ceramicznych, która wynosiła: 80, 85, 90%. W celach porównawczych przeprowadzono dodatkowo badania dla nieumocnionego włóknami stopu AK9. Próbkę do badań miały kształt walców o średnicy 5 mm i długości 30 mm. Badania przeprowadzono za pomocą dylatometru bezpośredniego. Wydłużenie pró-

bek mierzono za pomocą indukcyjnego czujnika wydłu-

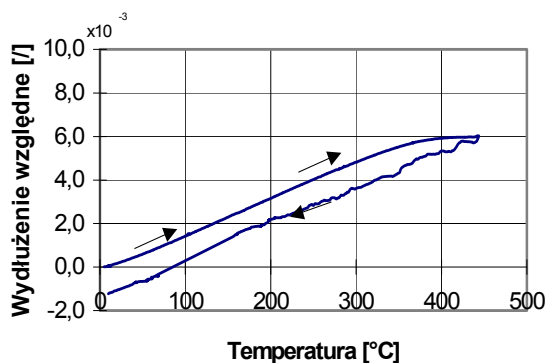
¹ mgr inż., ² dr hab. inż., prof. PWr, ³ dr inż.

żenia, natomiast ich temperaturę za pomocą termopary Ni-NiCr, a wyniki rejestrowano w komputerze PC.

W celu określenia stabilności wymiarowej każdą z próbek poddano cyklowi nagrzewania i chłodzenia. Umieszczone w kwarcowej osłonie próbki nagrzewano od temperatury 25 do 450°C, a następnie chłodzono je z powrotem do temperatury otoczenia. Proces ten następował z szybkością 5°C/min. W celu określenia stabilności wymiarowej cykl badań powtórzono dwukrotnie.

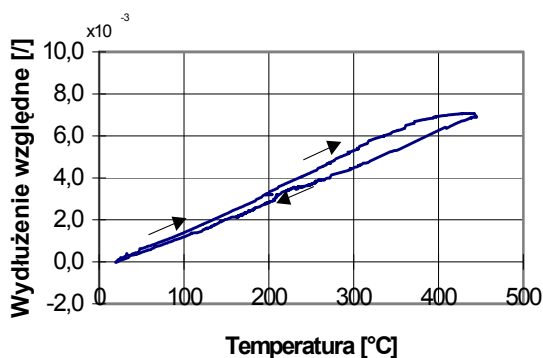
WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań przedstawiono w postaci wykresów względnego wydłużenia próbek w funkcji temperatury - dylatogramów (rys. rys. 1-3) oraz wykresów zmian średnich i chwilowych współczynników cieplnej rozszerzalności liniowej (rys. rys. 4 i 5).



Rys. 1. Dylatogram materiału kompozytowego AK9-15% obj. włókien Saffil, 1 cykl

Fig. 1. Dilatogram of composite material AK9-15 vol.% of Saffil fibres, 1-st cycle



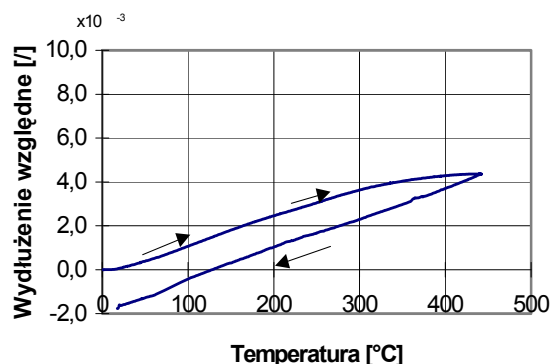
Rys. 2. Dylatogram materiału kompozytowego AK9-15% obj. włókien Saffil, 2 cykl

Fig. 2. Dilatogram of composite material AK9-15 vol.% of Saffil fibres, 2-nd cycle

Analiza dylatogramów

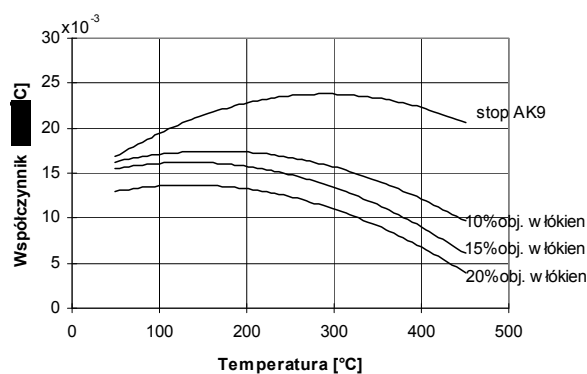
Analiza dylatogramów badanych materiałów kompozytowych wykazała w przybliżeniu liniowy charakter wzrostu wydłużenia względne próbek w funkcji temperatury. Dylatogramy nie wykazały wyraźnych różnic

między przebiegiem krzywych nagrzewania i krzywych stygnięcia.



Rys. 3. Dylatogram materiału kompozytowego AK9-20% obj. włókien Saffil, 1 cykl

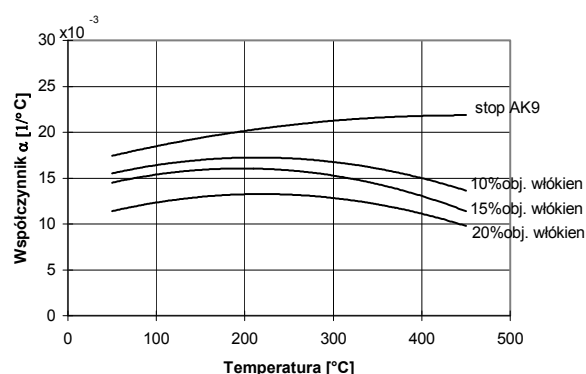
Fig. 3. Dilatogram of composite material AK9-20 vol.% of Saffil fibres, 1-st



cycle

Rys. 4. Chwilowe współczynniki cieplnej rozszerzalności liniowej badanych materiałów

Fig. 4. Transitory coefficients of thermal linear expansion of composite materials



Rys. 5. Średnie współczynniki cieplnej rozszerzalności liniowej badanych materiałów

Fig. 5. Mean coefficients of thermal linear expansion of composite materials

Otrzymane po pierwszym cyklu nagrzewania i chłodzenia krzywe dylatometryczne wykazały trwałe skrócenie długości próbek, zależne od porowatości kształtek ceramicznych umacniających kompozyt. Np. dla kompozytu zawierającego 15% objętości włókien skrócenie

wynosiło $1,2 \cdot 10^{-3}$ (rys. 1), a dla kompozytu o objętości 20% włókien $1,7 \cdot 10^{-3}$ (rys. 3). Z tego powodu zabieg nagrzewania i chłodzenia próbek powtórzono i na podstawie uzyskanych dylatogramów stwierdzono poprawę stabilności wymiarowej. Po drugim cyklu nagrzewania i chłodzenia nie stwierdzono trwałego wydłużenia bądź skrócenia próbek kompozytu (rys. 2). Analiza dylatogramu nieumocnionego stopu AK9 nie wykazała zmian wymiarowych próbek. Zarówno po pierwszym, jak i po drugim cyklu próbki nieumocnione były stabilne wymiarowo. Otrzymane krzywe dylatometryczne wskazują także na wyraźną zależność kąta nachylenia krzywych od udziału objętościowego włókien umacniających kompozyt. Zmniejszenie kąta nachylenia krzywej następuje wraz ze zwiększeniem objętości włókien Saffil.

Współczynnik rozszerzalności cieplnej α

Otrzymane dylatogramy pozwoliły na obliczenie wartości średnich i chwilowych współczynników rozszerzalności cieplnej α . Do obliczeń przyjęto wyniki badań otrzymane podczas nagrzewania próbek od temperatury 25 do 450°C. Zmianę wartości chwilowego współczynnika rozszerzalności cieplnej α przedstawiono na rysunku 4.

Analiza rysunku 4 pozwala na wyraźny podział zmiany chwilowego współczynnika rozszerzalności cieplnej $\alpha = f(T)$ na trzy etapy:

- w zakresie temperatury od 25 do 100°C następuje powolny wzrost wartości chwilowych współczynników rozszerzalności cieplnej α ,
- w zakresie temperatury od 100 do 200°C wartości chwilowych współczynników α stabilizują się i tylko w niewielkim stopniu zależą od temperatury,
- w temperaturze powyżej 200°C następuje początkowo powolny, a następnie gwałtowny spadek wartości chwilowych współczynników rozszerzalności cieplnej α .

Obliczone po pierwszym cyklu nagrzewania i chłodzenia chwilowe współczynniki rozszerzalności cieplnej α wskazują na wyraźną zależność rozszerzalności cieplnej od udziału objętościowego włókien ceramicznych w materiale kompozytowym. Największą rozszerzalnością cieplną równą $24,1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ charakteryzuje się stop nieumocniony AK9. Umocnienie materiału włóknami ceramicznymi powoduje zmniejszenie wartości współczynnika rozszerzalności cieplnej α w przybliżeniu proporcjonalnie do ilości włókien w osnowie. I tak, dla materiału umocnionego kształtką o objętości włókien 10% współczynnik rozszerzalności cieplnej α wynosi $18,3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, natomiast materiał kompozytowy zawierający 20% objętości włókien charakteryzuje się współczynnikiem równym $15,0 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Tak więc, zwiększenie w materiale kompozytowym ilości włókien ceramicznych (zmniejszenie porowatości kształ-

tek ceramicznych) powoduje zmniejszenie wartości współczynnika α .

W porównaniu do przebiegów chwilowych współczynników rozszerzalności cieplnej α średnie wartości współczynnika przedstawione na rysunku 5 wskazują na jego łagodniejszy przebieg. Największą wartość średniego współczynnika $\alpha = f(T)$ materiały kompozytowe osiągają w temperaturze 200÷250°C.

Po drugim cyklu nagrzewania i chłodzenia współczynniki rozszerzalności cieplnej α uzyskały podobny przebieg. Różnica polegała jedynie na tym, że po drugim cyklu wszystkie próbki wykazywały nieco większe wartości współczynnika α w porównaniu z wartościami po pierwszym cyklu badań.

PODSUMOWANIE

Zaistniałe zjawisko skracania długości próbek po pierwszym cyklu nagrzewania i chłodzenia może być spowodowane dyfuzją materiału osnowy do wolnych przestrzeni na granicy międzyfazowej osnowa-włókno, tym bardziej, iż zjawiska tego nie obserwuje się po powtórnym cyklu nagrzewania i chłodzenia. Należy w przyszłości przede wszystkim wyjaśnić, jakie parametry procesu wyżarzania (czas, temperatura) prowadzą do uzyskania stabilności wymiarowej materiału kompozytowego.

Charakter liniowy krzywych dylatometrycznych świadczy o braku występowania w materiałach w badanym zakresie temperatur przemian fazowych przy cyklu nagrzewania i chłodzenia.

Różnice rozszerzalności cieplnej włókien Saffil i stopu AK9 wpływają na wartość średnich i chwilowych współczynników cieplnej rozszerzalności liniowej α , powodując jego zmniejszenie wraz ze wzrostem ilości włókien umacniających. Podczas nagrzewania próbek powstają naprężenia we włóknach, na powierzchni międzyfazowej i w osnowie. Spowodowane jest to faktem, iż podczas grzania materiałów kompozytowych zawierających włókna ceramiczne w osnowie działają naprężenia ściskające, a włókna poddane są naprężeniom rozciągającym [3].

Materiały kompozytowe największą wartość współczynnika rozszerzalności cieplnej osiągały w zakresie temperatury 200÷250°C. Powyżej tej temperatury wartość współczynnika α stopniowo malała. Tak więc, do tej temperatury dominującą rolę pełni materiał osnowy AK9, a następnie rolę przejmuje szkielet kształtki ceramicznej umacniającej kompozyt, powodując spadek wartości współczynnika [5]. Nieumocniona próbka AK9 wykazuje stały powolny wzrost współczynnika α aż do temperatury maksymalnej, osiągając w niej najwyższą wartość równą $21,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Współczynnik rozszerzalności cieplnej α zależy ponadto od wiązań na granicach międzyfazowych.

W materiałach o słabych wiązaniach wpływ zawartości włókien ceramicznych na współczynnik rozszerzalności cieplnej α jest znacznie mniejszy [4].

LITERATURA

- [1] Kretschmer J., Composites in automotive applications-state of mechanically alloyed amorphous metals, Metal Powder Report 1988, April, 231-238.
- [2] Donomoto T., Miura N., Funatani K., Miyake N., Ceramic fiber reinforced piston for high performance Diesel engines, SAE Technical Papers 830252, 1983.
- [3] Janus A., Kaczmar J.W., Kurzawa A., Rozszerzalność cieplna aluminiowych materiałów kompozytowych w niskich temperaturach, Acta Metallurgica Slovaca 1999, 5, 468-472, Koszyce.
- [4] Kaczmar J.W., Spiekane materiały kompozytowe uzyskiwane w procesie mechanicznego wytwarzania stopów i wyciskania, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
- [5] Kaczmar J.W., Samsonowicz Z., Janus A., Wpływ parametrów technologicznych na wytwarzanie wybranych części maszyn umacnianych włóknami ceramicznymi, Raporty Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998.

Recenzent
Józef Ślęziona