

**KRZEPNIĘCIE I SKURCZ LINIOWY
KOMPOZYTU NA OSNOWIE STOPU AK12
ZBROJONEGO CZĄSTKAMI Al_2O_3 I SiC**G. PUCKA¹, J. ŚLEZIONA², W. ŻAK³
Politechnika Śląska, Katowice

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono badania nad wpływem cząstek zbrojących (Al_2O_3 i SiC) o zawartości 10 i 15 % obj. na parametry charakterystyczne stygnięcia i swobodnego skurczu liniowego kompozytu na osnowie stopu AK12. W badaniach wykorzystano metodę DTSA. Stwierdzono, iż zwiększenie zawartości cząstek ceramicznych wpływa na zmniejszenie skurczu liniowego, przy czym cząstki SiC działają bardziej hamująco; wzrost zawartości cząstek sprzyja również zwiększeniu wartości rozszerzenia przedskurczowego. Wprowadzenie cząstek ceramicznych do osnowy powoduje również zróżnicowanie temperatury początku krzepnięcia kompozytu..

1. WPROWADZENIE

Poznanie mechanizmów kształtowania struktury kompozytów odlewanych jest niezbędne dla doboru parametrów procesu krzepnięcia. Coraz powszechniej, na różne elementy maszyn stosuje się kompozyty odlewane na osnowie stopów aluminium zbrojone cząstkami ceramicznymi. Kompozyty te wytwarza się metodami odlewniczymi, wprowadzając do ciekłego stopu odpowiednio przygotowane cząstki ceramiczne. Wielkość cząstek i ich ilość są czynnikami determinującymi właściwości kompozytów, stąd zarówno duże zróżnicowanie wielkości cząstek (od kilkunastu do kilkudziesięciu mikrometrów) i ich udziału objętościowego (do około 20 %). Podstawowym materiałem cząstek jest SiC i Al_2O_3 . Stosowanie tych materiałów wiąże

¹ Dr inż., e-mail: puckag@zeus.polsl.gliwice.pl

² Dr hab. inż. prof. ndzw., e-mail: sleziona@polsl.katowice.pl

³ Mgr inż.

się z typem stopu osnowy. W wypadku stopów o niewielkiej zawartości krzemu (lub jego braku) w osnowie, stosuje się cząstki Al_2O_3 . Wynika to przede wszystkim ze stabilności termodynamicznej tego układu komponentów. W wypadku siluminów podstawowym materiałem zbrojącym jest węgiel krzemu (SiC), który przy obecności Si w stopie nie ulega degradacji. W technologii kompozytów odlewanych ważnym zagadnieniem jest wytwarzanie zawiesiny. Równie ważnym zagadnieniem jest proces jej krzepnięcia, gdyż decyduje on o strukturze odlewu kompozytowego. W wielu pracach badawczych [1,2], jak i własnych [3] stwierdzono, że cząstki ceramiczne oddziałują z ciekłym stopem, jak i z frontem krystalizacji. Problem ten dotyczy zarówno zagadnienia zarodkowania heterogenicznego osnowy, jak i oddziaływania frontu krystalizacji z cząstkami. Do momentu rozpoczęcia krystalizacji cząstki podlegają procesom sedymentacji, mogą opadać na dno jak i wypływać. Zagadnienie to jest związane z zjawiskiem zwilżania [4].

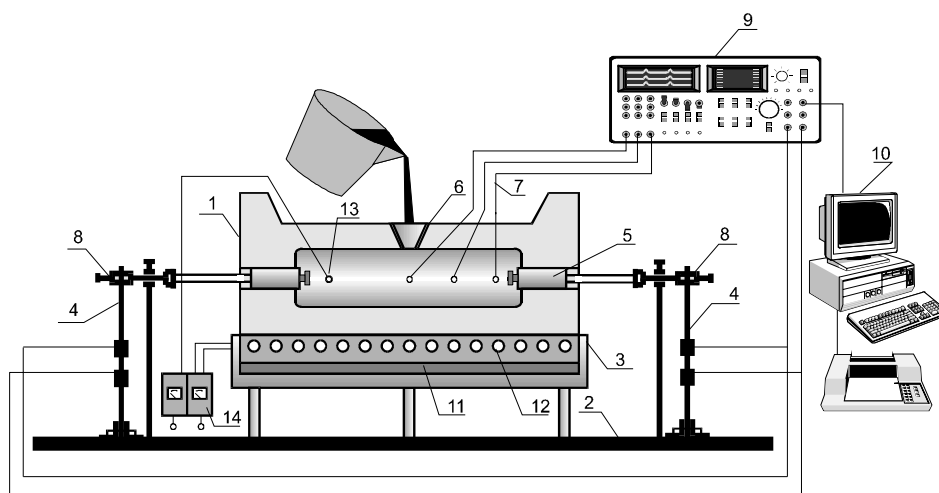
W literaturze szeroko opisane jest zagadnienie wpływu prędkości krystalizacji na rozmieszczenie cząstek w osnowie. Analizę tego zagadnienia przedstawił Uhlmann ze współpracownikami [1] oraz Lloyd [2]. Stwierdzili oni, że duża prędkość krzepnięcia pozwala zachować pierwotną strukturę rozmieszczenia cząstek w osnowie, mała prędkość powoduje lokowanie się cząstek w obszarach międzydendrytycznych lub na granicach ziaren. Zjawisko to tłumaczone jest zmianami energii powierzchniowej układu ciecz-kryształ-ceramika. Oprócz wpływu cząstek ceramicznych na przebieg procesów związanych z krzepnięciem, obecność cząstek w stopie wpływa na zmianę właściwości technologicznych, obniża jego lejnosc jak również wpływa na skurcz.

W pracy podjęto próbę zbadania wpływu cząstek ceramicznych na skurcz jak i przebieg krzepnięcia kompozytu. Wykorzystując zestaw do pomiaru równoczesnego krzepnięcia i skurczu przebadano kompozyty i oceniono wpływ cząstek ceramicznych na te zjawiska.

2. STANOWISKO DO BADAŃ

Przebieg stygnięcia odlewów kompozytowych badano na urządzeniu zaprojektowanym i wykonanym w KTSMiK Politechniki Śląskiej [5,6]. Stanowisko do badań składa się z wymiennej formy odlewniczej umożliwiającej badanie odlewów o średnicy 20, 35 lub 50 mm i długości 170 mm. Badania zrealizować można stosując formy metalowe i piaskowe. W formie zainstalowane są grafitowe końcówki połączone wzdłużem z czujnikami tensometrycznymi układu pomiarowego przemieszczenia, które pozwalają na rejestrację zmian długości próbki podczas jej stygnięcia. Do wnętrza formy można wprowadzić 3 termoelementy, rejestrujące temperaturę w centrum termicznym próbki, w jednej czwartej jej długości i w końcu próbki. Zastosowane przetworniki analogowo-cyfrowe ME8520 i MC201 umożliwiają równoczesną, ciągłą rejestrację zmian temperatury i długości próbki w pełnym horyzoncie czasowym próby. Czas próbkowania wynosi 0,5 s. Analizę danych pomiarowych i ich wizualizację umożliwia program komputerowy SKULIN.

W prowadzonych badaniach do rejestracji zmian temperatury zastosowano termoelementy NiCr-NiAl. Parametry charakterystyczne stygnięcia i skurczu liniowego wyznaczono z przebiegu pochodnych z obydwu rejestrowanych wielkości. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska do ciągłego pomiaru swobodnego skurczu liniowego;

1-metalowa forma próbna, 2-stół, 3-płyta robocza, 4-czujniki tensometryczne, 5-końcówki grafitowe, 6-układ wlewowy, 7-termoelementy, 8-śruba regulacyjna, 9-moduł A/C, 10-komputerowy zestaw do rejestracji, wizualizacji i analizy wyników, 11-płyta izolacyjna, 12-element grzejny, 13-czujnik temperatury (Pt100), 14-blok sterująco-regulacyjny temperatury formy.

Fig. 1. Scheme of a stand to the continuous registration of alloy linear shrinkage;

1-mould, 2-table, 3-working plate, 4-tensometric sensor, 5-graphite tip, 6-gating system, 7-thermoelement, 8-control screw, 9-AC system, 10-computer (data recording), 11-thermal isolation plate, 12-heating element, 13-14 – temperature controller of metal mould.

3. MATERIAŁY DO BADAŃ

Badaniom poddano kompozyty o osnowie ze stopu AK12 zbrojone cząstkami SiC i Al_2O_3 o wielkości cząstek około 50 μm . Kompozyty wytworzono metodą odlewniczą wprowadzając do ciekłego metalu cząstki ceramiczne w ilości 10 i 15 % obj. Skład chemiczny stopu AK12 oraz jego właściwości cieplne są zgodne z normą PN 61/88027. Wybrane właściwości cząstek ceramicznych (SiC, Al_2O_3) podano w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości cieplne osnowy kompozytu i cząstek ceramicznych SiC i Al₂O₃
 Table 1. Some thermal properties of aluminium matrix and SiC i Al₂O₃ reinforcement

Właściwość	AK 11	Al ₂ O ₃	SiC
masa właściwa γ , [kg/m ³]	2650	3960-4010	3200
temperatura topnienia, T _t , [K]	850	2324	3110
temperatura mięknięcia T _m , [K]	-	1470	-
współczynnik wymiany ciepła, α , [$\cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$]	20,1	8,5	3,8
ciepło właściwe c _w , [kJ/kgK]	0,96	1,32	1,42
współczynnik przewodzenia ciepła, λ , [W/mK]	167	25,6	84
współczynnik akumulacji ciepła b ₂ , [Ws ^{0,5} /m ² K]	654,3	123,9	166,8

4. PRZEBIEG BADAŃ

Odpowiednią porcję stopu kompozytowego o masie 0,5 kg topiono w piecu i wygrzewano w temperaturze 740 °C. Po wyjęciu tygla z pieca stop kompozytowy mieszano i wlewano do kokili uprzednio ogrzanej do temperatury 240 °C. Odlewano próbki o średnicy 20 mm. W czasie badań rejestrowano w sposób ciągły temperaturę (w trzech punktach pomiarowych) i skurcz liniowy. Rejestracje mierzonych wielkości prowadzono do chwili, gdy temperatura odlewu osiągnęła temperaturę 40 °C. Zarejestrowane zmiany temperatury i skurczu poddano obróbce numerycznej.

5. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Uzyskane wyniki zamieszczono w tabeli 2.

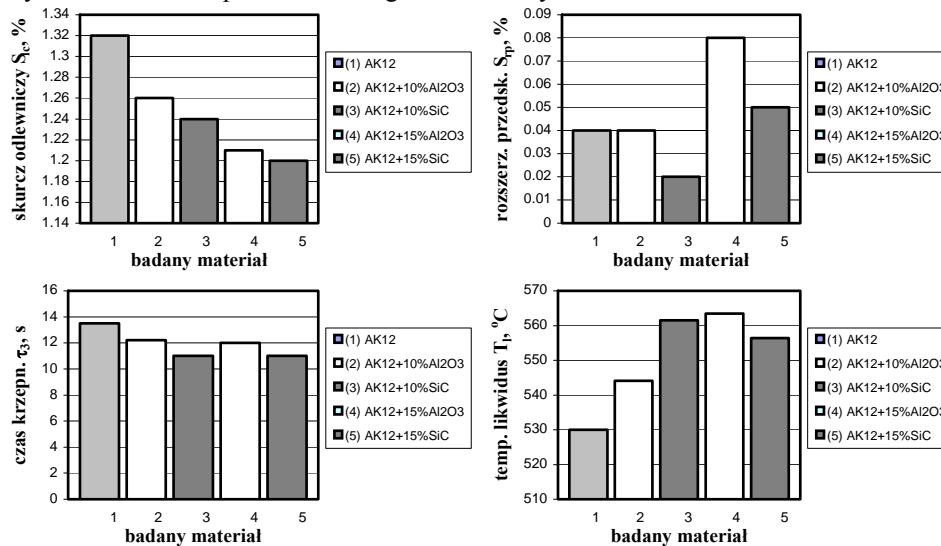
Tabela 2. Wybrane parametry stygnięcia i skurczu liniowego kompozytu AK12-cząstki ceramiczne.

Table 2. Some properties of cool and linear shrinkage of AK12 – ceramic particles composite.

Parametr	Badany materiał				
	AK12 (M)	(M)+10% Al ₂ O ₃	(M)+15% Al ₂ O ₃	(M)+10%SiC	(M)+15%SiC
Parametry stygnięcia					
T _t , [°C]	530	544,1	563,4	561,5	556,4
ΔT_{krz} , [°C]	39,6	46,9	70,6	63,2	70,6
τ_3 , [s]	13,5	12,2	12,0	11	11
Parametry skurczu liniowego					
S _{lc} , [%]	1,32	1,26	1,21	1,24	1,21
S _{lrz} , [%]	1,28	1,22	1,13	1,22	1,16
S _{rp} , [%]	0,04	0,04	0,08	0,02	0,05

W czasie badań określano: temperaturę likwidus (T_t), zakres temperatury krzepnięcia (ΔT_{krz}), czas krzepnięcia (τ_3), skurcz liniowy całkowity (S_{lc}), skurcz liniowy rzeczywisty (S_{lrz}) i rozszerzenie przedskurczowe (S_{rp}).

Uzyskane zależności przedstawiono graficznie na rys.2.



Rys. 2. Wpływ rodzaju i udziału cząstek zbrojących na parametry charakterystyczne stygnięcia i skurczu liniowego badanych kompozytów.

Fig. 2. Influence of the type and volume fraction of particle on the characteristic parameters cool and linear shrinkage.

Jak widać, wpływ obecności cząstek ceramicznych zarówno na parametry stygnięcia i skurczu liniowego jest wyraźny. Wzrost udziału objętościowego cząstek zbrojących powoduje zmniejszenie skurczu liniowego całkowitego, przy czym przy tej samej zawartości cząstek, skurcz ten jest nieco mniejszy dla kompozytu z cząstkami Al₂O₃. Tłumaczy to należy zmniejszeniem rzeczywistej objętości osnowy metalowej i hamującym wpływem zbrojenia (o znacznie mniejszym współczynniku skurczu liniowego) na skurcz kompozytu. Również rozszerzenie przedskurczowe kompozytu dla obydwu rodzajów cząstek zbrojących rośnie wraz ze wzrostem ich udziałów objętościowych; przy tej samej zawartości cząstek rozszerzenie przedskurczowe kompozytu z cząstkami z Al₂O₃ jest większe. Prawdopodobnie główny wpływ na to mają właściwości termofizyczne obydwu rodzajów cząstek. Mały współczynnik akumulacji ciepła cząstek z Al₂O₃ wywołuje efekt rozszerzenia lub opóźnienia skurczu w stosunku do osnowy. Różnice w oddziaływaniu obydwu rodzajów cząstek na rozszerzenie przedskurczowe wynikać mogą ze zróżnicowania współczynników przewodzenia ciepła i współczynnika akumulacji ciepła. W przeprowadzonych badaniach temperatury początku krzepnięcia badanych kompozytów zmieniała się w porównaniu z osnową metalową. Dla kompozytów z cząstkami z Al₂O₃ temperatura likwidus rośnie wraz ze wzrostem udziału objętościowego zbrojenia, natomiast dla kompozytów z cząstkami SiC wraz z jego wzrostem maleje, co tłumaczyć można wspomnianym już wcześniej większym współczynnikiem akumulacji ciepła tych

cząstek. W przeprowadzonych badaniach nie obserwuje się istotnego wpływu rodzaju i udziału objętościowego cząstek na czas krzepnięcia kompozytów.

6. ZAKOŃCZENIE

Przeprowadzone badania wskazują iż cząstki ceramiczne w kompozytach odlewanych istotnie wpływają na parametry charakterystyczne stygnięcia i skurczu liniowego. Istotność tego wpływu zależy głównie od właściwości termofizycznych materiału cząstek. Uzyskane wyniki badań mogą być pomocne w kształtowaniu struktury kompozytów odlewanych i określeniu parametrów technologicznych ich wytwarzania.

LITERATURA

- [1] Uhlmann D.R., Chalmers B.: *Interactions between particles and solidliquidinterface*, Journal of Appl. Physics, v.35,10,1964, p.2986,
- [2] Lloyd D.J., Lagace H., McLeod A., Morris P.L.: *Microstructural aspects od Al-SiC particle composites produced by a casting method*, Mat. Sc. Eng., A107, 1989, p.73
- [3] Śleżiona J.: *Kształtowanie właściwości kompozytów Al.-cząstki ceramiczne otrzymywanych metodami odlewniczymi*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Hutnictwo, z. 48, 1994
- [4] Delannay F., Froyen L., Deruyttere A.: *The wetting of solids by molten metal and its alloys*, of Material Science, 22, 1987, p.244
- [5] Pucka G.: *Tensometryczne urządzenie do ciągłego pomiaru swobodnego skurczu liniowego z komputerową analizą danych*, II Konferencja „Metody komputerowe w odlewnictwie” Bytom-Gliwice, 1993,
- [6] Pucka G.: *Wpływ intensywności stygnięcia na swobodny skurcz liniowy wybranych metali i stopów*, Inżynieria Materiałowa, 1994, nr 3-4, s.91,

SOLIDIFICATION AND LINEAR SHRINKAGE OF COMPOSITE IN THE AK12 ALUMINUM ALLOY MATRIX REINFORCED WITH Al_2O_3 AND SiC PARTICLES

SUMMARY

In this work the investigation of the influence ceramic particles (Al_2O_3 and SiC) with 10 and 15 vol.% on the characteristic parameters of cooling and linear shrinkage for AK12 aluminum alloy matrix composite have been shown. In this research the DTSA method has been appalled. The increasing of the ceramic particles in the linear shrinkage more check than Al_2O_3 particles. Increasing of the volume fraction of the particles favorable increasing of the expansion before composite linear shrinkage.

Reviewed by prof. Michał Szweycer