

**ANALIZA KRZEPNIĘCIA I BADANIA MIKROSTRUKTURY
PODEUTEKTYCZNYCH STOPÓW UKŁADU Al-Si**J. PIĄTKOWSKI¹Politechnika Śląska, Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów,
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, POLSKA**STRESZCZENIE**

W pracy przedstawiono wyniki badań krzepnięcia podeutektycznych stopów Al-Si o zróżnicowanej zawartości krzemu od 1 do 9%. Na podstawie analizy termicznej ATD i programu komputerowego Analdta wyznaczono wykresy krzepnięcia, z których określono charakterystyczne wartości temperatury i wykonano badania mikrostruktury.

Key words: Al-Si alloys, thermal analysis, microstructure

1. WSTĘP

Właściwości elementów odlanych z siluminów podeutektycznych determinowane są głównie przez cechy morfologiczne roztworu stałego $\alpha(\text{Al})$. Udział eutektyki oraz wydzielen krzemu staje się mniej znaczący [1]. Celem pracy jest określenie z wykresów ATD charakterystycznych wartości temperatury krzepnięcia stopów Al-Si o zmieniającej się zawartości krzemu od 1 do 9% oraz badania mikrostruktury [2].

2. MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Siluminy o podeutektycznej zawartości Si (od 1 do 9%) topiono w indukcyjnym piecu próżniowym typu Balzers w tyglach z SiC o pojemności 0,7 kg. przy przegrzaniu kąpieli do temperatury około 1033 K. Po uzyskaniu żądanej temperatury, (mierzonej termoelementem NiCr-NiAl), stopy poddano rafinacji preparatem Rafglin-1 w ilości 0,03% w stosunku do masy stopu. Następnie, siluminy odlewano do standardowego próbnika ATD (Quick-Cup 4010), rejestrując przebieg krzywej krzepnięcia ATD.

¹ dr inż., jaroslaw.piatkowski@polsl.pl

3. WYNIKI BADAŃ WŁASNYCH

3.1. Wyniki badań analizy termicznej TA i ATD

Wpływ zawartości krzemu na przebieg krzepnięcia badanych stopów (roztworu stałego $\alpha(\text{Al})$ oraz eutektyki $\alpha(\text{Al})+\beta(\text{Si})$) prowadzono metodą analizy termicznej ATD. W tym celu, sygnały z termoelementu podano na mikroprocesorowy przetwornik analogowo-cyfrowy MC201, a następnie za pomocą programu komputerowego Analtda [3] wykreślono zależności temperatury w funkcji czasu $T=f(\tau)$ i jej pierwszej pochodnej.

Z uzyskanych odlewów pobrano próbki do analizy składu chemicznego, które przeprowadzono na Quantometrze ARL 4140, co przedstawiono w tabeli 1. Reprezentatywne wykresy analizy ATD siluminów AlSi1 i AlSi3 przedstawiono na rysunku 1, natomiast dla siluminów AlSi6 i AlSi9 - na rysunku 2. Z wykresów analizy termicznej odczytano charakterystyczne wartości temperatury ($T_{\text{max.}}$; T_{pL} ; T_{L} ; T_{L1} ; T_{pE} ; T_{E} ; T_{koniec}), które przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Skład chemiczny badanych stopów
Table 1. The chemical composition of Al-Si alloys

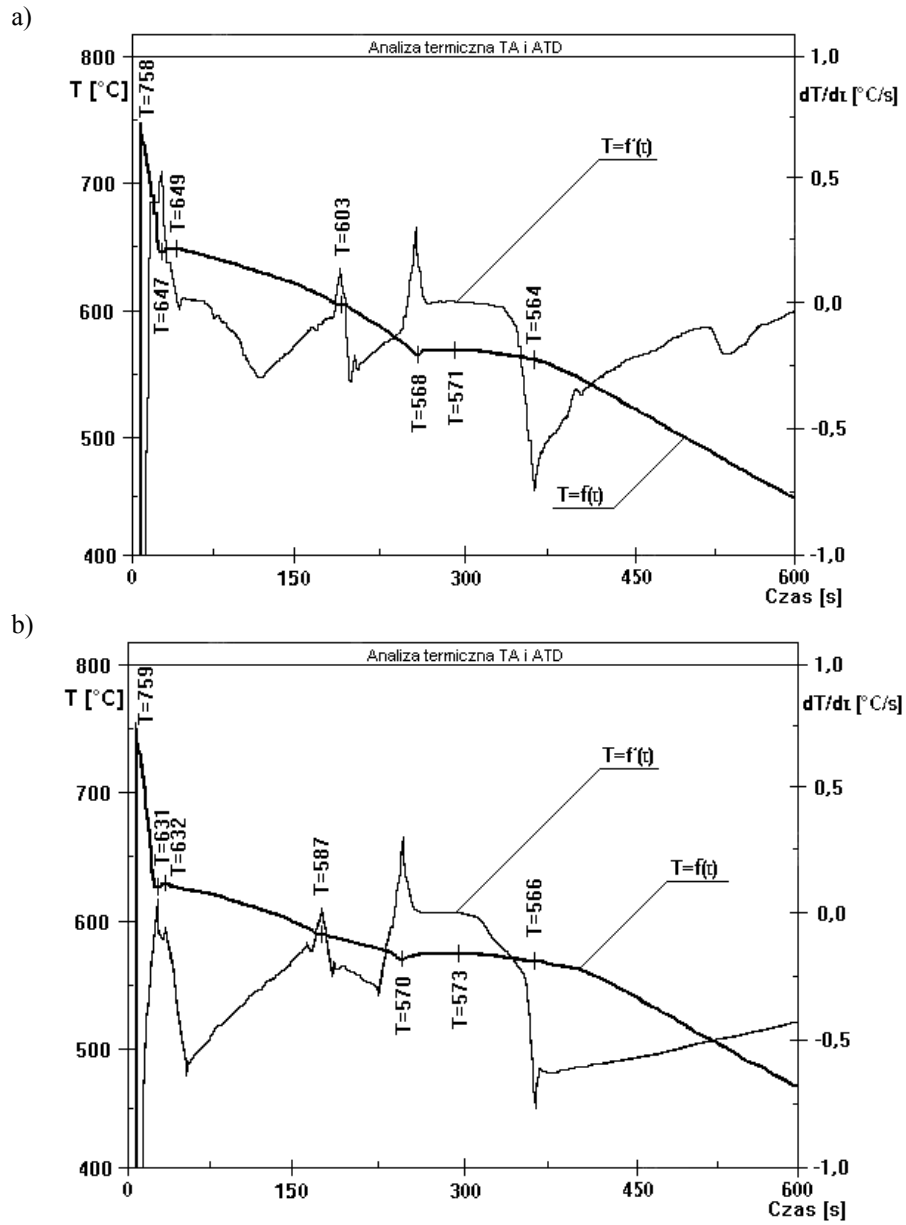
Symbol próbki	Skład chemiczny stopów, %				
	Si	Fe	Mg	Ti	Al
AlSi1	0,97	0,04	0,02	0,02	reszta
AlSi3	2,88	0,09	0,04	0,02	reszta
AlSi6	5,97	1,12	0,03	0,02	reszta
AlSi9	8,61	1,21	0,03	0,03	reszta

Tabela 2. Zestawienie wyników analizy termicznej badanych stopów
Table 2. The Results of thermal analysis of Al-Si alloys

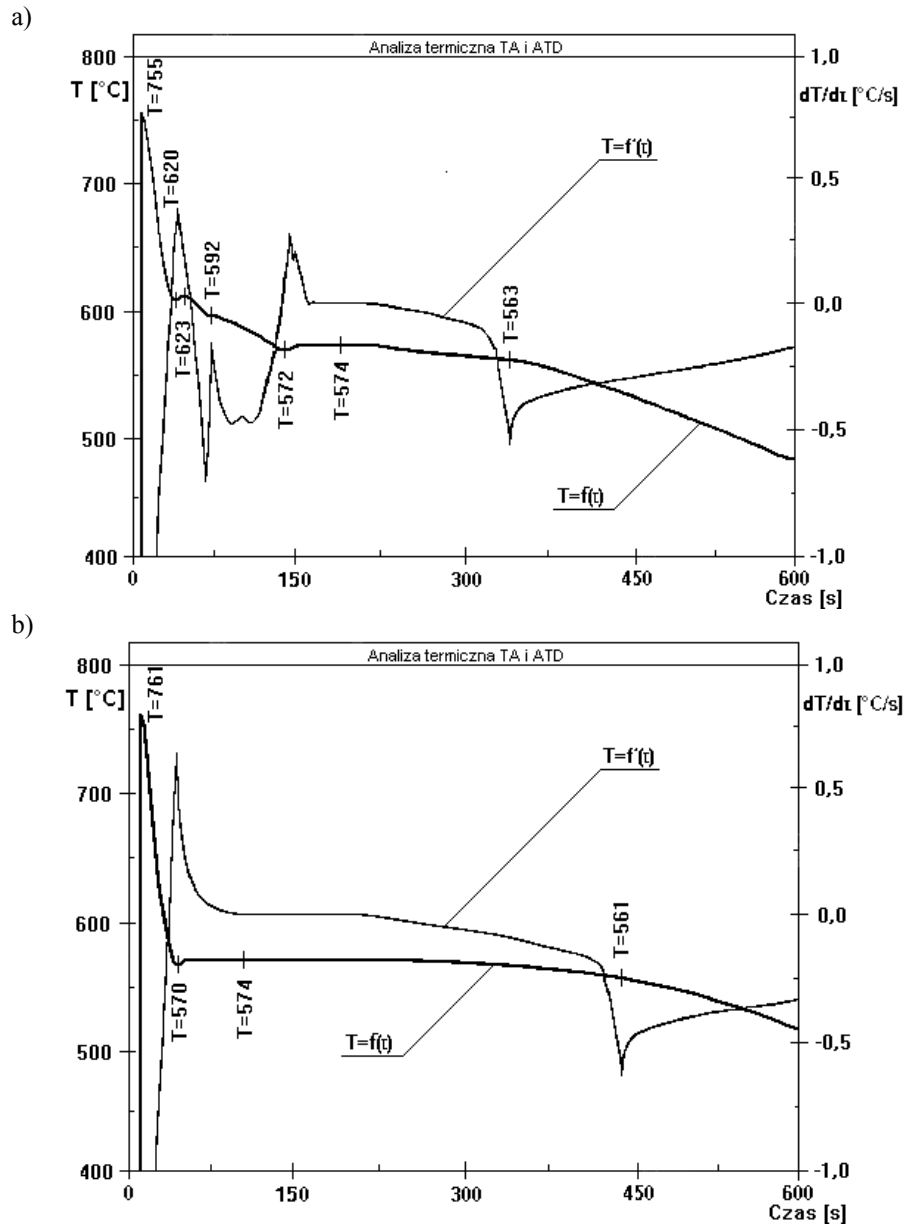
Symbol próbki	Charakterystyczne wartości temperatury krzepnięcia badanych siluminów, °C						
	$T_{\text{max.}}$	T_{pL}	T_{L}	T_{L1}	T_{pE}	T_{E}	T_{koniec}
AlSi1	758	647	649	603	568	571	564
AlSi3	759	631	632	587	570	573	566
AlSi6	755	610	612	592	572	574	563
AlSi9	758	–	–	–	570	574	559

gdzie:

- $T_{\text{max.}}$ – maksymalna, zarejestrowana temperatura odlanego stopu,
- T_{pL} – temperatura przechłodzenia krystalizacji dendrytów fazy $\alpha(\text{Al})$,
- T_{L} – temperatura krystalizacji dendrytów fazy $\alpha(\text{Al}) - T_{\text{liq.}}$,
- T_{L} – temperatura przedeutektycznej krystalizacji krzemu o charakterze nadeutektycznym,
- T_{pE} – temperatura przechłodzenia krystalizacji eutektyki $\alpha(\text{Al})-\beta(\text{Si})$,
- T_{E} – temperatura krystalizacji eutektyki $\alpha(\text{Al})-\beta(\text{Si})$,
- T_{koniec} – temperatura końca krystalizacji.



Rys. 1. Wykres analizy termicznej TA i ATD siluminów: AlSi1 (a) i AlSi3 (b).
 Fig. 1. Diagram of thermal analysis TA and ATD of AlSi1 (a) and AlSi3 (b) alloys.

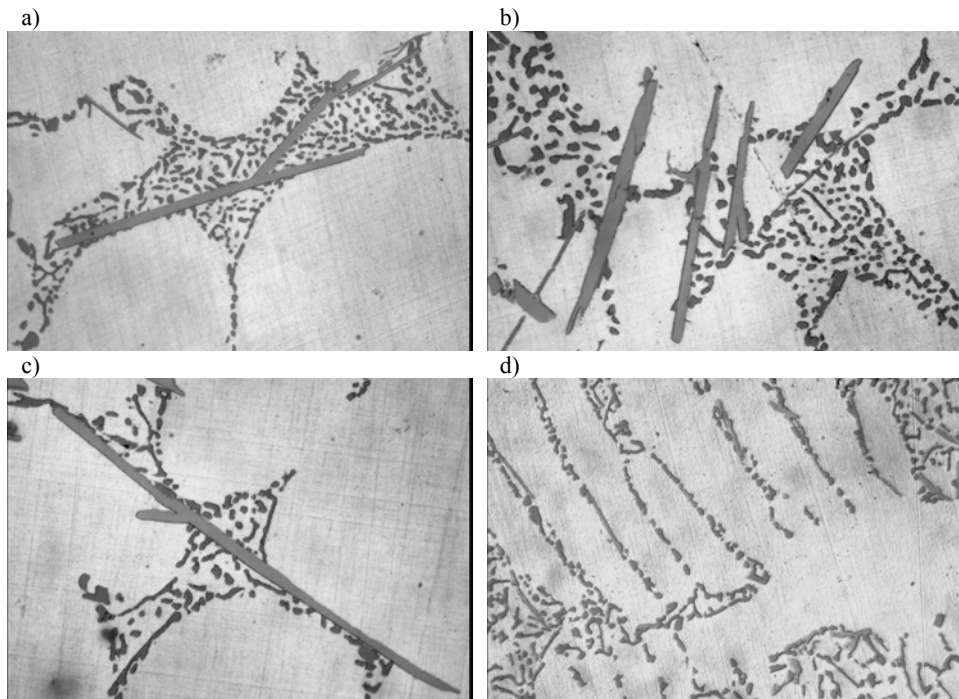


Rys. 2. Wykres analizy termicznej TA i ATD siluminów: AlSi6 (a) i AlSi9 (b).

Fig. 2. Diagram of thermal analysis TA and ATD of AlSi6 (a) and AlSi9 (b) alloys.

3.2. Wyniki badań mikrostruktury

Z obszaru pomiaru temperatury próbnika ATD, pobrano próbki do badań mikrostruktury. Reprezentatywne obrazy mikrostruktury siluminów, dla których podano wykresy ATD, przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Mikrostruktura stopów: a) AlSi1; b) AlSi3; c) AlSi6 i d) AlSi9, pow. 250x.
Fig. 3. Microstructure of: a) AlSi1; b) AlSi3; c) AlSi6 and d) AlSi9 alloys, 250x.

4. ANALIZA WYNIKÓW

Jak wynika z pomiarów analizy termicznej ATD (tabl. 2), temperatura T_{max} jest zbliżona dla wszystkich doświadczeń ($\sim 760^{\circ}\text{C}$), co świadczy o zachowaniu zbliżonych warunków topienia i odlewania.

Krystalizacja dendrytów fazy α poprzedzona jest kilkustopniowym przechłodzeniem ($T_L - T_{pl}$). Temperatura T_L obniża się dla siluminów podeutektycznych, co potwierdzają dane literaturowe [2] i wyniki badań własnych [4]. Na szczególną uwagę zasługuje temperatura T_{L1} , która jak podają niektóre źródła [1], jest prawdopodobnie wynikiem przedeutektycznej krystalizacji krzemu o cechach morfologicznych krzemu nadeutektycznego. Wartość tej temperatury wynosi od ~ 590 do 600°C . Efekt ten został tylko zarejestrowany podczas krzepnięcia stopów podeutektycznych (AlSi1; AlSi3;

AlSi6). Natomiast dla stopów o większej zawartości krzemu, np. (AlSi9), piku tego nie stwierdzono. Temperatura krystalizacji eutektyki T_E $\alpha(\text{Al})$ - $\beta(\text{Si})$, z zachowaniem niewielkiego stopnia przechłodzenia, dla wszystkich doświadczeń jest prawie jednakowa i waha się w granicach od 571 do 574°C. Jest ona niższa od równowagowej temperatury krystalizacji mieszaniny eutektycznej (577°C) o kilka stopni, co jest spowodowane krzepnięciem w warunkach przyspieszonego stygnięcia. Koniec krzepnięcia występuje w zakresie od 559 do 566°C, co odpowiada temperaturze T_{sol} .

Z rysunku 3a (AlSi1) wynika, że kryształy przedeutektyczne krzemu lokalizują się w bliskim sąsiedztwie „iglastych” wydzieleni faz AlFeSi [1]. Ze względu, iż silumin ten jest poniżej granicznej rozpuszczalności Si w stanie stałym (1,65%) oraz w oparciu o analizę składu chemicznego, można sądzić, iż to właśnie związki typu AlFeSi mogą być prawdopodobną podkładką do heterogenicznego zarodkowania kryształów krzemu podeutektycznego. Podobne zjawisko występuje w siluminie o zawartości ~3 i 6% Si (rys. 3b i 3c). W stopach tych dodatkowo występują skupiska eutektyki zlokalizowane tuż przy kryształach krzemu. Na tej podstawie można sądzić, iż podkładką do krystalizacji mieszaniny eutektycznej $\alpha(\text{Al})$ - $\beta(\text{Si})$ są „igły” krzemu przedeutektycznego o cechach morfologicznych wydzieleni nadeutektycznych. Znajduje to potwierdzenie na wykresach analizy termicznej ATD przedstawionych na rys. 1a, 1b i 2a w postaci dodatkowego efektu cieplnego. Zjawisko to nie występuje już w stopie o zawartości ~9% Si. Na wykresie ATD (rys. 2b) brak jest efektu cieplnego od tego zjawiska. Teoria krystalizacji przedeutektycznej wydzieleni krzemu o charakterze nadeutektycznym jest wstępnym poglądem, jednakże pełne wyjaśnienie i udowodnienie tych zjawisk wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań strukturalnych, fazowych i rentgenograficznych.

LITERATURA

- [1] S. Pietrowski: *Siluminy*. Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź (2001).
- [2] Z. Górny, J. Sobczak: *Nowoczesne tworzywa odlewnicze na bazie metali nieżelaznych*. ZA-PIS, Kraków (2005).
- [3] P. Podolski: *Program do analizy krzywych krzepnięcia*. Pol. Śl. Katowice 2000.
- [4] J. Piątkowski: Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska, Katowice 2000.

THE ANALYSIS OF SOLIDIFICATION AND MICROSTRUCTURE OF Al-Si ALLOYS

SUMMARY

In this paper the effect of solidification and microstructure of Al-Si alloys about 1 to 24% silicon have been presented. Based on thermal analysis ATD to determine of diagrammatic presentation characteristic temperatures and microstructures.

Recenzował Prof. Franciszek Binczyk