

KRYSTALIZACJA EUTEKTYKI W SILUMINACH NADEUTEKTYCZNYCH

F. BINCZYK¹ J. PIĄTKOWSKI², J. SZYMSZAL³

Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów, Politechnika Śląska,
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, POLSKA.

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu składu chemicznego na temperaturę krystalizacji krzemu nadeutektycznego oraz temperaturę krystalizacji w zakresie eutektycznym. Metodą termicznej analizy różniczkowej stwierdzono krystalizację czterech eutektyk, które są wynikiem działania określonych dodatków stopowych. Wykorzystując aparat statystyki i regresji wielokrotnej opisano istotność i kierunek wpływu dodatków stopowych na krystalizację siluminu nadeutektycznego.

Key words: Al-Si alloys, crystallisation, heat treatment, mechanical properties.

1. WSTĘP

Siluminy znalazły zastosowanie w przemyśle maszynowym oraz motoryzacyjnym na elementy silnika spalinowego zwłaszcza odlewy tłoków. Siluminy o pośredniej zawartości krzemu zawierające od 16 do 18% wag. Si łączą korzystne właściwości siluminów okołoeutektycznych (dobra leżność i udarność) oraz siluminów nadeutektycznych, np. AK20 (dobra odporność na ścieranie oraz stabilność wymiarowa) [1, 2].

Niektóre pierwiastki stopowe wywierają korzystny wpływ na właściwości technologiczne i użytkowe siluminów. Poprawa właściwości mechanicznych jest wynikiem umocnienia roztworu dodatkiem np. Cu, Cr i Co [2, 3] oraz procesami wydzieleniowymi w trakcie przesycań i starzenia dodatki Mg, Mo, W i Cu [4, 5]. Dodatki stopowe wpływają także na przebieg krystalizacji eutektyki zmieniając zakres

¹ dr hab. inż. –prof. Pol. Śl.

² dr inż.

³ dr inż.

temperatury wydzielenia oraz skład fazowy. Ma to istotny wpływ na ostateczne właściwości mechaniczne i trybologiczne.

2. METODYKA BADAŃ

Ocenę wpływu składu chemicznego siluminu nadeutektycznego na krystalizację pierwotną przeprowadzono w oparciu o eksperyment ułamkowy, którego plan oraz końcowy skład chemiczny przedstawiono w tabeli 1.

Tabela.1. Plan eksperymentu ułamkowego typu 2⁵⁻², oraz wyniki analizy składu chemicznego badanych stopów.

Table 1. Scheme fractional experiment 2⁵⁻², and results of chemical composition of alloys.

Nr eksp.	Skład chemiczny, [% wag.]									
	Si	Cu	Ni	P	Cr	Co	Mo	W	Mg	Fe
01	18,84	-	-	-	-	-	-	-	-	0,42
02	18,38	1,88	-	-	-	-	-	-	-	0,42
03	18,45	2,13	2,01	-	-	-	-	-	-	0,54
1	18,90	1,90	1,89	0,023	-	-	-	-	-	0,44
2	18,81	1,86	1,85	0,025	-	0,38	-	0,29	-	0,52
3	18,40	1,88	1,83	0,026	-	0,42	0,42	-	0,54	0,51
4	18,76	2,21	1,91	0,027	-	-	0,36	0,34	0,64	0,42
5	18,35	2,20	1,94	0,025	0,28	0,36	0,35	-	-	0,45
6	18,85	2,16	1,94	0,024	0,41	-	0,39	0,36	-	0,46
7	18,49	2,11	1,88	0,025	0,37	-	-	-	0,61	0,45
8	17,92	2,11	1,92	0,024	0,24	0,41	-	0,32	0,70	0,49

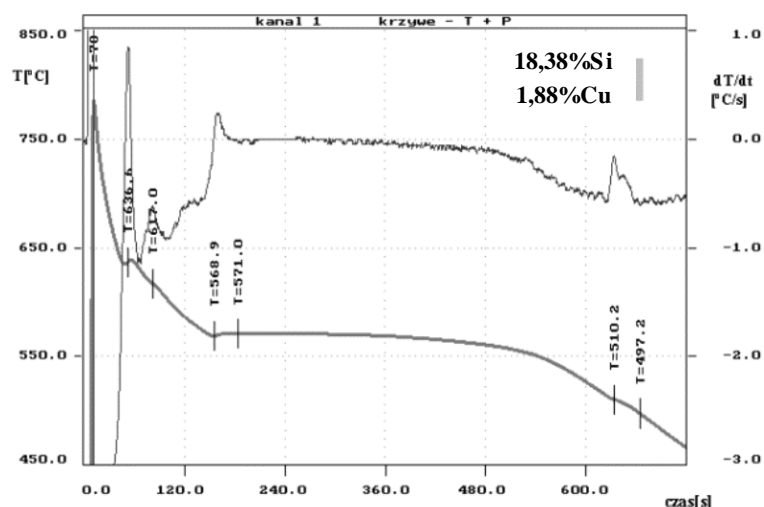
Przed wprowadzeniem do składu stopów dodatków będących przedmiotem eksperymentu wykonano trzy wytopy wyjściowe (01; 02 oraz 03), do których wprowadzono krzem, miedź i nikiel. Ten etap badań miał na celu określenie wpływu dodatków stopowych na krystalizację eutektyk określonych często jako „krzemowa” „miedziowa” i „niklowa” [1]. Składniki stopowe wprowadzono w postaci przygotowanych wcześniej zapraw:

- Al-Cr (~20 % wag. Cr),
- Al-Co (~10,5 % wag. Co),
- Al-W (~20 % wag. W),
- Al-Mo (~19,5 % wag. Mo) oraz
- stopu AG10 (~10% wag. Mg).

Topienie prowadzono w piecu indukcyjnym typu JS5/III, firmy Leybold – Heraeus w tygłu z azotku krzemu. Analizę termiczną prowadzono w standardowym próbniku Quic-Cup QC4080. Sygnały z termoelementu zapisywano przy pomocy rejestratora temperatury MC-201.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki badań opracowano przy pomocy programu komputerowego ANALDTA [6], a przykładowy wykres analizy termicznej TA i ATD przedstawiono na rysunku 1. Wyniki analizy termicznej wszystkich badanych siluminów przedstawiono w tabeli 2.



Rys.1. Wykres analizy termicznej eksperymentu nr 02.

Fig.1. Thermal analysis diagram experiment of 02 number.

Tabela 2. Wyniki analizy termicznej badanych siluminów.

Table 2. The results of thermal analysis of the Al-Si alloys.

Nr wytopu	T _{liq} [°C]	T _{E1} [°C]	T _{E2} [°C]	T _{E3} [°C]	T _{E4} [°C]	T _{sol} [°C]
01	648,2	576,2	-	-	-	557,4
02	636,9	571,0	-	510,5	-	497,0
03	638,3	565,7	544,8	517,3	-	501,0
1	676,3	565,1	543,3	517,9	-	500,8
2	670,7	566,2	543,3	506,8	493,2	483,1
3	651,8	561,3	530,9	524,6	498,1	487,0
4	650,1	560,4	530,4	523,4	498,8	484,5
5	649,2	563,6	543,2	510,1	494,5	483,0
6	663,7	5562,7	549,5	516,7	500,6	487,8
7	656,7	560,6	534,7	523,1	497,2	482,5
8	650,4	59,9	531,5	522,5	495,9	482,5

Analiza uzyskanych wyników wskazuje na zróżnicowany wpływ dodatków stopowych na przebieg krystalizacji siluminów. Dodatek do stopu miedzi wywołuje krystalizację eutektyki „miedziowej” krystalizującej w temperaturze $\sim 510,5^{\circ}\text{C}$, zaś wprowadzenie niklu, krystalizację eutektyki „niklowej” w temperaturze $\sim 544,8^{\circ}\text{C}$. Pozostałe dodatki stopowe wywołują krystalizację eutektyki niskotopliwej w temperaturze od 493 do 500°C .

Ocenę siły oddziaływania dodatków stopowych na krystalizację eutektyk oraz krystalizację krzemu pierwotnego przeprowadzono z wykorzystaniem analizy regresji i korelacji wieloczynnikowej [7, 8].

Temperatura krystalizacji krzemu nadeutektycznego T_{liq} zależy w sposób istotny jedynie od obecności w siluminie fosforu. Dla przyjętego poziomu ufności $\alpha=0,05$ poziom istotności p dla fosforu wynosi 0,0404. Fosfor podwyższa wartość T_{liq} , co jest zjawiskiem znanym i opisanym [4, 9, 10, 11]. Bliski zależności statystycznej okazał się wpływ krzemu, dla którego $p=0,0759$. Badany zakres zawartości krzemu był jednak niewielki. Wpływ pozostałych pierwiastków na wartość temperatury T_{liq} jest statystycznie nieistotny.

W przypadku eutektyki T_{E1} istotnie w kierunku obniżenia temperatury krystalizacji wpływają miedź ($p=0,0021$), nikiel ($p=0,006$), fosfor ($p=0,0029$) oraz magnez ($p=0,0227$). Jedynie krzem wpływa w kierunku podwyższenia wartości tej temperatury jednak jego wpływ jest statystycznie nie istotny ($p=0,1110$).

Na temperaturę krystalizacji „niklowej” T_{E2} istotnie w kierunku jej obniżenia wpływają fosfor ($p=0,0185$) oraz magnez ($p=0,0128$). W kierunku podwyższenia tej temperatury wpływają krzem i chrom, jednak statystycznie ich wpływ jest nieistotny.

W przypadku eutektyki „miedziowej” E_3 , temperaturę jej krystalizacji istotnie obniża jedynie magnez ($p=0,028$). Na granicy istotności w kierunku podwyższenia temperatury T_{E3} okazał się wpływ miedzi ($p=0,163$) oraz fosforu ($p=0,1841$).

Krystalizacja niskotopliwej eutektyki E_4 związana jest z obecnością w siluminie dodatków stopowych Cr, Co, Mo i W.

Wpływ wszystkich dodatków stopowych w badanym zakresie zawartości na wartość temperatury E_4 jest statystycznie nieistotny ($p>0,5$), z wyjątkiem kobaltu wpływający na obniżenie tej temperatury. Jego wpływ jednak jest praktycznie na granicy statystycznej istotności ($p=0,097$).

Na wartość temperatury końca krystalizacji T_{sol} istotnie w kierunku jej obniżenia wpływają miedź ($p=0,0414$), fosfor ($p=0,0355$) oraz magnez ($p=0,0215$). Jedynie krzem wpływa w kierunku podwyższenia tej temperatury lecz jego wpływ znajduje się na granicy statystycznej istotności ($p=0,1161$).

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że wprowadzanie do stopów Al-Si kolejnych dodatków stopowych wpływa na powiększenie zakresu temperatury krystalizacji w zakresie eutektycznym, powodując ponadto krystalizację eutektyki niskotopliwej. Zjawisko to można uznać częściowo za korzystne, ze względu na poprawę właściwości odlewniczych (lejność). Obecność eutektyki niskotopliwej w siluminie wpływa prawdopodobnie na obniżenie współczynnika tarcia w skojarzeniach ciernych ze stalą i żeliwem [12]. Z drugiej strony obecność kruchych eutektyk obniża właściwości plastyczne siluminów.

LITERATURA

- [1] Z. Poniewierski: *Krystalizacja, struktura i właściwości siluminów*. Warszawa WNT (1989).
- [2] S. Pietrowski: *Silumin nadeutektyczny z dodatkami Cr, Mo, W i Co*. Krzepnięcie Metali i Stopów nr 38/18, PAN Katowice (1998).
- [3] S. Pietrowski: *Siluminy tłokowe. Monografia*, Krzepnięcie Metali i Stopów PAN, Komisja Odlewnictwa, z. 29 (1997).
- [4] J. Piątkowski: *Wpływ dodatków stopowych oraz modyfikacji na strukturę oraz właściwości obrabianych cieplnie siluminów średnionadeutektycznych*. Rozprawa Doktorska, Politechnika Śląska Katowice (2000).
- [5] J. Piątkowski, F. Binczyk: *Statystyczna ocena wpływu dodatków stopowych na parametry krystalizacji oraz twardość siluminu AlSi17*. Rudy i Metale nr 4 (2001).
- [6] P. Podolski: *Analdta – program do analizy krzywych krzepnięcia*. Politechnika Śląska Katowice (1999).
- [7] M. Maliński, J. Szymuszal: *Współczesna statystyka matematyczna dla medyków*. Wydawnictwo Śl. Akademii Medycznej, Katowice, (1999).
- [8] J. Greń: *Statystyka matematyczna. Modele i zadania*. Warszawa WNT, (1982).
- [9] F. Binczyk, J. Piątkowski, A. Smoliński: *Mechanizm oddziaływania fosforu w procesie modyfikowania siluminów nadeutektycznych*. IV Międzynarodowa Konferencja Odlewnictwo 2000, Krzepnięcie Metali i Stopów, Polanica Zdrój, 24-26. 05.2000.
- [10] F. Binczyk, J. Piątkowski: *Nowy pogląd na oddziaływanie fosforu w procesie kształtowania struktury pierwotnej siluminów nadeutektycznych*. Archiwum Nauki o Materiałach, nr 3-4, Wydawnictwo U. Śl. (2000).
- [11] S. Pietrowski, R. Władysiak: *Kontrola metodą ATD siluminów tłokowych*. „Krzepnięcie Metali i Stopów” PAN Katowice, nr 28 (1996).
- [12] F. Binczyk, J. Piątkowski, A. Smoliński: *Właściwości tribologiczne stopów AK11 i AK20*. Podbanskie, Slovensko, 16-18.05.2001.

THE CRYSTALLISATION EUTECTIC OF THE HYPEREUTECTIC SILUMIN

SUMMARY

The results of the influence chemical composition on the temperature crystallisation and temperature range crystallisation from eutectic of the hypereutectic silumin are presented in this paper. Investigation results doing derivative thermal analysis by registering solidification ATD curves. It was found that specified addition alloys creating of four low-melting eutectic crystallisation. Therefore a general regression and polynomial correlation analyser was applied. The influence of modification by phosphorus and by above mentioned alloy additions on the analysed, dependent variables was shown using, principal calculations of descriptive statistic.

Recenzował Prof. Stanisław Pietrowski