72/2

Archives of Foundry,
Year 2001, Volume 1, № 1 (2/2)
Archiwum Odlewnictwa,
Rok 2001, Rocznik 1, Nr 1 (2/2)
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

# WPŁYW OBRÓBKI CIEPLNEJ NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE SILUMINU AlSi17Cu3Mg

J. PIĄTKOWSKI[1]
Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów, Politechnika Śląska,
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, POLSKA.

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu obróbki cieplnej na twardość oraz wytrzymałość na rozciąganie $R_m$, i wydłużenie $A_5$ silumin AlSi17Cu3Mg modyfikowanego fosforem (Cu-P). Oddziaływanie obróbki cieplnej polegającej na przesycaniu i starzeniu w różnych warunkach (tabl. 2) na badane właściwości mechaniczne przedstawiono na rysunkach od 1 do 3. Ustalono optymalne parametry obróbki cieplnej (przesycanie 470°C/4h/woda i starzenie 160°C/6h/powietrze), dla których uzyskano twardość do ~172 HB; $R_m$ do ~285 MPa oraz wydłużenie $A_5$ do ~3%.

*Key words: Al-Si alloy, modification, heath treatment, and mechanical properties.*

## 1. WPROWADZENIE

Wpływ modyfikacji na strukturę i właściwości mechaniczne siluminów jest znany i szeroko omawiany w literaturze [1-5]. Mniej natomiast jest informacji na temat wpływu modyfikacji na strukturę i właściwości mechaniczne obrabianych cieplnie siluminów nadeutektycznych o pośredniej zawartości krzemu (od~16 do ~19%wag. Si).

Dla siluminów tłokowych stosuje się pełną i skróconą obróbkę cieplną. Obróbka pełna polega na przesycaniu oraz przyspieszonym starzeniu, a skrócona ogranicza się tylko do sztucznego starzenia. W przypadku pełnej obróbki cieplnej, temperatura przesycania odlewów wynosi 480÷520°C, czas wygrzewania od 2 do 8 godzin, ze studzeniem w wodzie. Starzenie prowadzi się w temperaturze od 160 do 235°C w czasie 3÷16 godzin [1, 2]. Natomiast skrócona obróbka cieplna, polega tylko na sztucznym starzeniu w temperaturze 165÷235°C w czasie od 5 do 25 godzin.

---

[1] *dr inż.*

## 2. CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy było określenie wybranych właściwości mechanicznych siluminu nadeutektycznego AlSi17Cu3Mg po odlaniu oraz po modyfikacji fosforem, poddanego obróbce cieplnej polegającej na przesycaniu i starzeniu. Omawiany gatunek siluminu nie jest ujęty w polskich normach.

Dla zrealizowania postawionego celu pracy przyjęto następujący zakres badań:

- wykonanie wytopów i przygotowanie próbek do badań,
- przeprowadzenie obróbki cieplnej,
- badania twardości i właściwości mechanicznych przed i po obróbce cieplnej,
- analiza wyników i opracowanie wniosków.

## 3. METODYKA BADAŃ

Do badań wytypowano 3 siluminy różniące się procentową zawartością od ~16,5 do ~18,5% wag. Si z dodatkiem ~3% wag. Cu oraz ~1% wag. Mg.
W tym celu użyto następujących materiałów wsadowych: aluminium (~99,96% Al), krzem techniczny (~98% Si, reszta Fe), miedź elektrolityczna (~99,98% Cu) oraz stop AG10 (~10% Mg).

Wytopy prowadzono w elektrycznym piecu oporowym ST59-MR z kantalowymi elementami grzejnymi, o kwadratowym przekroju komory grzewczej, w tyglu z azotku krzemu o pojemności 1,5 litra, pod pokryciem ochronnym 2NaF i KCl. Po uzyskaniu temperatury około 820$^{o}$C, kąpiel poddano rafinacji preparatem RAFGLIN-3 w ilości 0,3% wag. w stosunku do masy stopu, a następnie modyfikacji zaprawą Cu-P (~9,65%wag. P) w ilości 0,05% wag. P.
Technologię otrzymywania siluminów o pośredniej zawartości krzemu przedstawiono w pracy [6]. Temperaturę odlewania kontrolowano poprzez zanurzanie w ciekłej kąpieli termoelementu NiCr-NiAl TP-202K-800-1. Tak przygotowany stop odlewano do kokili stalowej o wymiarach wnęki Ø12×100mm.

Z uzyskanych odlewów pobrano próbki do analizy składu chemicznego, którą przeprowadzono na kwantometrze ARL 4140. Końcowe wyniki analizy składu chemicznego przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki analizy składu chemicznego [w % wag].
Table 1. Chemical composition analysed results [in wt. %].

| Numer stopu | Zawartość | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Si | Cu | Mg | Mn | Fe | Ti | Al |
| A | 16,45 | 2,84 | 0,74 | 0,02 | 0,15 | 0,008 | reszta |
| B | 17,64 | 2,92 | 0,85 | 0,027 | 0,22 | 0,01 | reszta |
| C | 18,27 | 2,86 | 0,71 | 0,02 | 0,19 | 0,007 | reszta |

Otrzymane odlewy poddano obróbce cieplnej składającej się z przesycania i starzenia według parametrów przedstawionych w tabeli 2.

Tabela 2. Parametry obróbki cieplnej siluminu AlSi17Cu3Mg.
Table 2. The parameters heat treatment of silumin AlSi17Cu3Mg.

| Nr stopu | Rodzaj obróbki cieplnej. |
|---|---|
| A | Stan po odlaniu |
| A 1 | Przesycanie 470$^{o}$C /4 h/ woda i starzenie 160$^{o}$C /2 h/ powietrze. |
| A 2 | Przesycanie 470$^{o}$C /4 h/ woda i starzenie 160$^{o}$C /4 h/ powietrze. |
| A 3 | Przesycanie 470$^{o}$C /4 h/ woda i starzenie 160$^{o}$C /6 h/ powietrze. |
| A 4 | Przesycanie 470$^{o}$C /4 h/ woda i starzenie 160$^{o}$C /8 h/ powietrze. |
| B | Stan po odlaniu |
| B 1 | Przesycanie 470$^{o}$C /4 h/ woda i starzenie 160$^{o}$C /2 h/ powietrze. |
| B 2 | Przesycanie 470$^{o}$C /4 h/ woda i starzenie 160$^{o}$C /4 h/ powietrze. |
| B 3 | Przesycanie 470$^{o}$C /4 h/ woda i starzenie 160$^{o}$C /6 h/ powietrze. |
| B 4 | Przesycanie 470$^{o}$C /4 h/ woda i starzenie 160$^{o}$C /8 h/ powietrze. |
| C | Stan po odlaniu |
| C 1 | Przesycanie 470$^{o}$C /4 h/ woda i starzenie 160$^{o}$C /2 h/ powietrze. |
| C 2 | Przesycanie 470$^{o}$C /4 h/ woda i starzenie 160$^{o}$C /4 h/ powietrze. |
| C 3 | Przesycanie 470$^{o}$C /4 h/ woda i starzenie 160$^{o}$C /6 h/ powietrze. |
| C 4 | Przesycanie 470$^{o}$C /4 h/ woda i starzenie 160$^{o}$C /8 h/ powietrze. |

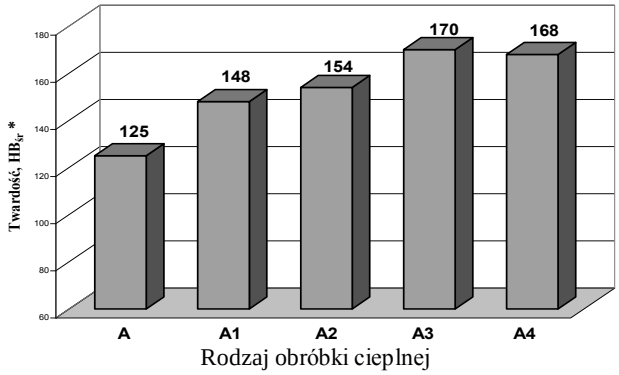
## 4. WYNIKI BADAŃ

Pomiary twardości, po odlaniu, po modyfikacji i po obróbce cieplnej, przeprowadzono metodą Brinella na twardościomierzu Rockwel-Brinell 15002 P, kulką o średnicy 5mm, obciążoną siłą 2500 N w czasie 35 s. Wyniki tych pomiarów przedstawiono na rysunku 1.

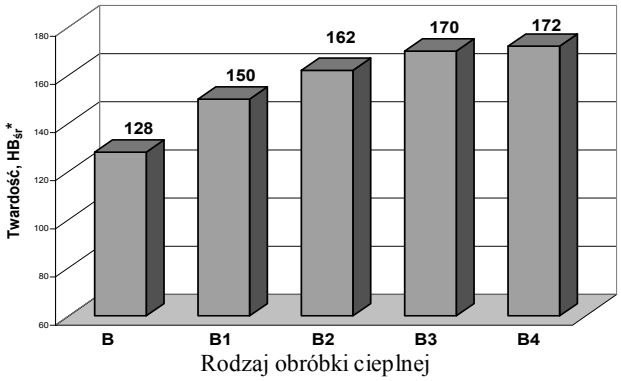
Badania wytrzymałości na rozciąganie przeprowadzono dla próbek bezpośrednio po odlaniu oraz po modyfikacji i po obróbce cieplnej. Pomiary przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej FPZ-10 firmy HECKERT, przy maksymalnej sile rozciągającej 4000N, przy przełożeniu 20:1, ze stałą prędkością równą 5 mm/min. Wyniki tych pomiarów przedstawiono na rysunku 2.

Wydłużenie $A_5$ określono na podstawie długości bazy pomiarowej próbek do badania wytrzymałości na rozciąganie wykonanych zgodnie z Polską Normą PN-88/H-88002. Średnie wyniki pomiarów wydłużenia $A_5$ badanego siluminu AlSi17Cu3Mg po modyfikacji fosforem (Cu-P) w stanie po odlaniu i po obróbce cieplnej przedstawiono na rysunku 3.

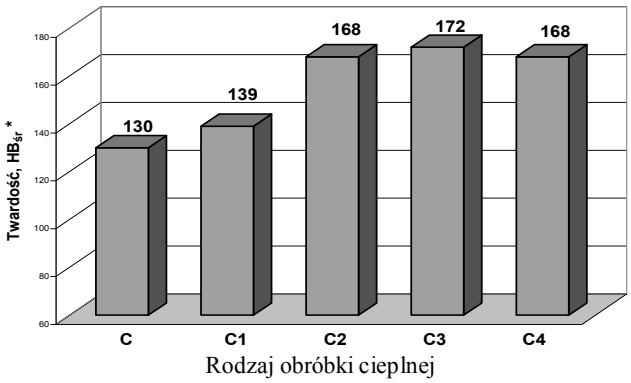
a )




b )



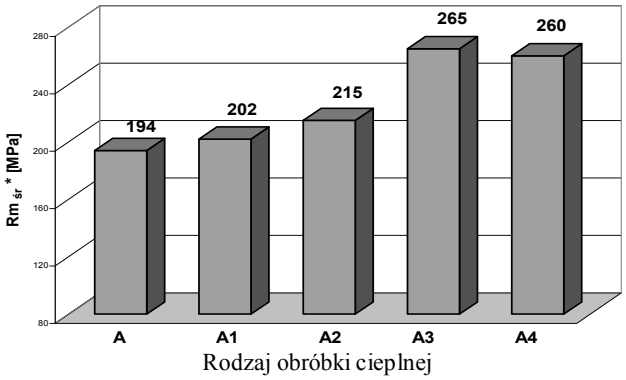

c )



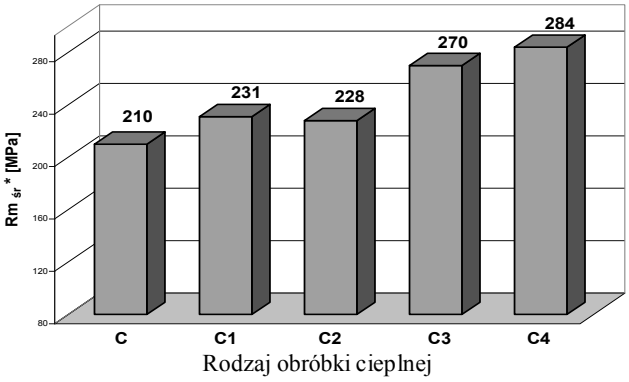

Rys.1. Wyniki pomiarów twardości HB (średnia z 5 pomiarów) dla: a) siluminu A; b) siluminu B oraz c) siluminu C.

Fig.1. Results of the Brinell hardness BH (mean in 5 measurement) for: a) silumin A; b) silumin B and c) silumin C.

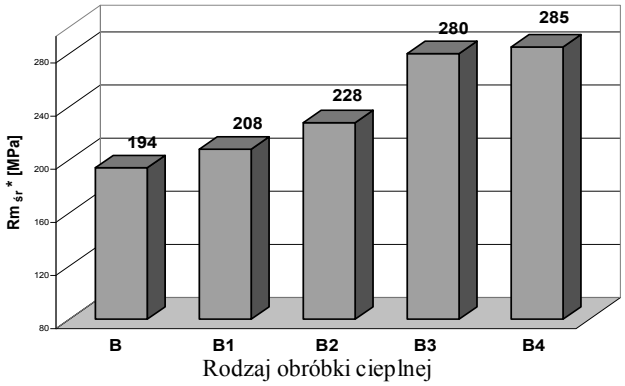
a )




b )



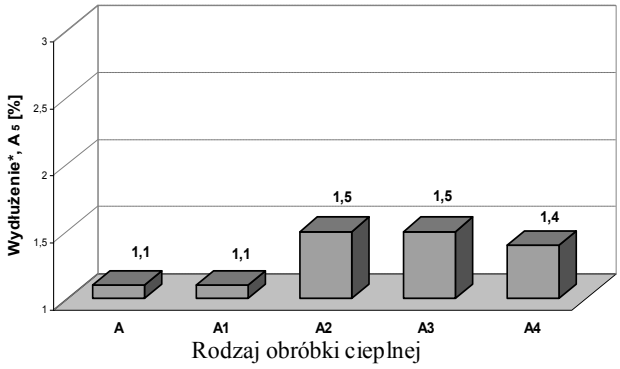

c )



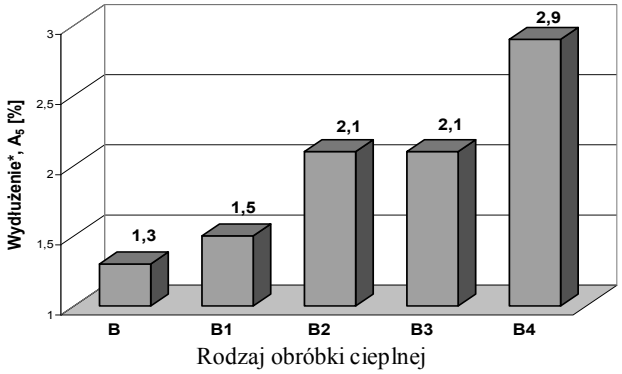

Rys.2. Wyniki pomiarów $R_m$ (średnia z 5 pomiarów) dla a) siluminu A; b) siluminu B, oraz c ) siluminu C.

Fig.2. Results of the tensile strength $R_m$ (mean in 5 measurements) for: a) silumin A; b) silumin B and c) silumin C.

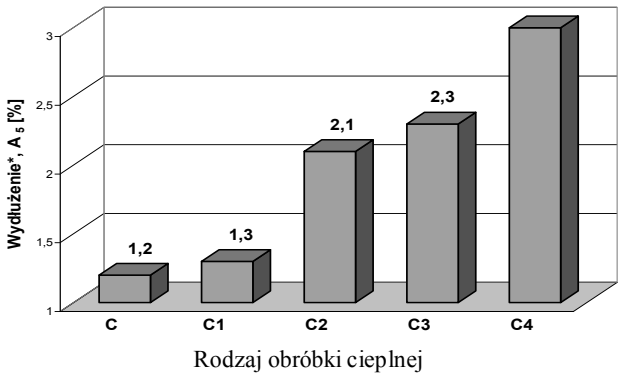
a )




b )




c )




Rys.3. Wyniki wydłużenia $A_5$ (średnia z 5 pomiarów) dla: a) siluminu A, b) siluminu B, oraz c) siluminu C.

Fig.3. Results of the ultimate elongation $A_5$ (mean in 5 measurements) for: a) silumin A; b) silumin B and c) silumin C.

## 5. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Uzyskane wyniki wskazują na podwyższenie właściwości mechanicznych siluminu AlSi17Cu3Mg po modyfikacji fosforem i po obróbce cieplnej w stosunku do stanu wyjściowego. Jak wynika z rysunku 1, najniższą twardość 125 HB stwierdzono dla siluminu o składzie A (tabl.1). Podwyższenie twardości HB dla stanu wyjściowego obserwuje się w miarę wzrostu procentowej zawartości krzemu. Dodatkowe podwyższenie twardości (do ~172 HB) uzyskano po modyfikacji i po obróbce cieplnej polegającej na przesycaniu i starzeniu według parametrów przedstawionych w tabeli 2. Wzrost ten należy tłumaczyć obecnością w siluminie dodatków miedzi i magnezu. Miedź zawarta w siluminach tłokowych występuje głównie w aluminiowym roztworze stałym $\alpha$ i przez jego umocnienie wpływa korzystnie na zwiększenie twardości stopu, zwłaszcza w temperaturze podwyższonej. Część miedzi wprowadzona do stopu tworzy zazwyczaj różne, nie rozpuszczalne związki, głównie w połączeniu z Mg oraz Si np. $Al_5Mg_8Cu_2Si$ i $Al_2Cu$ [7]. Magnez zwiększa znacznie silniej twardość niż miedź. Umocnienie stopu w wyniku jego obróbki cieplnej opiera się głównie na procesach wydzieleniowych fazy $Mg_2Si$ [7]. Z przeprowadzonych badań wynika, że optymalne parametry obróbki cieplnej dla opracowanego siluminu nadeutektycznego są następujące: przesycanie 470$^o$C /4 h/ woda oraz starzenie 160$^o$C /6 h/ powietrze.

Rozpatrując rysunek 2 przedstawiający porównanie wytrzymałości na rozciąganie badanego siluminu można zauważyć, że maksymalną wartość wytrzymałości na rozciąganie uzyskuje się dla stopu o najwyższej procentowej zawartości krzemu (stop C). Po procesie modyfikacji i obróbce cieplnej $R_m$ jest o ~50% wyższe niż w przypadku stopu w stanie po odlaniu. Wydłużenie czasu starzenia wpływa na podwyższenie $R_m$ do wartości ~285 MPa. Wzrost ten należy tłumaczyć, podobnie jak w przypadku wzrostu twardości, procesami wydzieleniowymi faz $Mg_2Si$ oraz $Al_2Cu$.

Na rysunku 3 zamieszczono porównawcze wyniki wydłużenia $A_5$ badanego stopu. Z rysunku tego wynika, że średnia wartość wydłużenia w stanie po odlaniu wynosi ~1%, natomiast po modyfikacji i obróbce cieplnej $A_5$ wzrasta do wartości ~3%.

## 6. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz dokonanej analizy potwierdzono korzystną rolę fosforu w procesie modyfikacji siluminów nadeutektycznych o pośredniej zawartości krzemu. Podwyższenie właściwości wytrzymałościowych jest wynikiem rozdrobnienia i równomiernego rozmieszczenia pierwotnych kryształów krzemu w objętości odlewu. Twardość badanych stopów po obróbce cieplnej według parametrów:

- przesycanie 470$^o$C (±5$^o$C) /4 h/ woda,
- starzenie 160$^o$C (±10$^o$C) /6 h/ powietrze

} czyli A3; B3 oraz C3

mieści się w granicach od 170 do 172 HB i jest o ~35% wyższa od twardości w stanie wyjściowym. Wytrzymałość na rozciąganie rośnie wraz ze wzrostem czasu starzenia, osiągając najwyższą wartość ~285 MPa po 8 godzinach starzenia w temperaturze

160°C. Najkorzystniejszym zespołem właściwości mechanicznych (po obróbce cieplnej) charakteryzuje się silumin nadeutektyczny o następującym składzie chemicznym: 18,27% Si; 2,86% Cu i 0,71% Mg (skład C w tabl. 1). Twardość maksymalna wynosi około 172 HB, $R_m$~285 MPa oraz wydłużenia $A_5$ ~3,0%.
Właściwości te klasyfikują go jako tworzywo na odlewy dla przemysłu motoryzacyjnego, a zwłaszcza tłoków silników spalinowych. Obróbka cieplna siluminów, której celem jest wykorzystanie obecności w roztworze dodatków stopowych powinna być prowadzona w określonej temperaturze tak, aby nie nastąpiło nadtapianie niskotopliwych eutektyk, co mogłoby doprowadzić do wystąpienia dodatkowej porowatości oraz obniżenia właściwości mechanicznych siluminów.

## LITERATURA


[1] Z. Poniewierski: *Krystalizacja, struktura i właściwości siluminów,* WNT Warszawa (1989).
[2] P. Wasilewski: *Siluminy – Modyfikacja i jej wpływ na strukturę i właściwości*, Krzepnięcie Metali i Stopów PAN Katowice, (1993).
[3] Z. Górny: *Odlewnicze stopy metali nieżelaznych*, WNT Warszawa (1992).
[4] A. Krupkowski, Z. Poniewierski: *Rola fosforu w procesie modyfikacji siluminów nadeutektycznych*, Arch. Hutnictwa XIII, nr 2, s. 823 (1968).
[5] S. Pietrowski: *Siluminy tłokowe,* Monografia, Krzepnięcie Metali i Stopów PAN Komisja Odlewnictwa, z.29 (1997).
[6] J. Piątkowski: Rozprawa doktorska pt. *Wpływ dodatków stopowych oraz modyfikacji na strukturę i właściwości obrabianych cieplnie siluminów średnionadeutektycznych,* Politechnika Śląska, Katowice, (2000).
[7] R.F. Smart: *Metallurgical aspects of aluminium-silicon eutectic piston alloys,* The British Foundryman nr11 s. 430-466 (1971).


## INFLUENCE OF THE HEAT TREATMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE AlSi17 ALLOY


SUMMARY

In this paper the results of the influence as the heat treatment on the mechanical properties: Brinell hardness HB, tensile strength $R_m$ and ultimate elongation $A_5$ of the AlSi17Cu3Mg alloy after modification phosphorus (CuP) were presented. Fig. 1 to 3 presented the influence of the heat treatment: on solution and quench ageing heat treatment in different experimental conditions (tabl.2) on mechanical properties.

The established optimality parameters the heat treatment (solution 470°C /4 h/ water and quench ageing 160°C /6 h/ air) are hardness about 172 HB, tensile strength about 285 MPa and ultimate elongation about 3%.



Recenzował Prof. Przemysław Wasilewski