73/2

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

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE I TRYBOLOGICZNE SILUMINU NADEUTEKTYCZNEGO PO OBRÓBCE CIEPLNEJ

J. PIĄTKOWSKI[1], F. BINCZYK[2]
Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów, Politechnika Śląska,
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, POLSKA

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych oraz trybologicznych siluminu AlSi17 z dodatkiem Cu, Ni, Mg, Co, Mo i Cr po modyfikacji fosforem oraz po obróbce cieplnej. Największy wpływ na poprawę właściwości mechanicznych po obróbce cieplnej stwierdzono w przypadku siluminu z dodatkami Mg i Cu. Badane siluminy nadeutektyczne korzystnie zachowują się podczas tarcia w skojarzeniu z żeliwem szarym (EN-GJ200) i żeliwem sferoidalnym (EN-GJS-500-7). Wykazano obniżenie współczynnika tarcia ze zwiększeniem nacisku podczas ścierania.

Key words: Al-Si alloy, hardness, tensile strength, friction coefficient.

1. WSTĘP

Dobre właściwości technologiczne i wytrzymałościowe, mała gęstość oraz stabilność wymiarowa w podwyższonej temperaturze, stanowią możliwość stosowania siluminów jako tworzywa na elementy silników spalinowych ze szczególnym przeznaczeniem na odlewy tłoków [1, 2]. Specyficzna struktura siluminów nadeutektycznych jest klasycznym przykładem stopu łożyskowego. Obecność niskotopliwych eutektyk ma istotne znaczenie w ekstremalnych warunkach pracy układu tłok-cylinder. Chwilowy brak smarowania prowadzący do lokalnego podwyższenia temperatury, może być przyczyną topienia tych eutektyk, które tym samym mogą pełnić rolę czynnika smarującego [3, 4].

---

[1] *dr inż.*
[2] *dr hab. inż. prof. Pol. Śl.*

Coraz większe wymagania stawiane przed tworzywami na elementy silnika, a zwłaszcza wydłużenie drogi pracy tłoka (nawet powyżej 1,5 miliona km), wymaga podwyższenia ich właściwości mechanicznych i trybologicznych [5]. Zwiększenie właściwości mechanicznych siluminów można uzyskać między innymi poprzez wprowadzenie dodatków stopowych, umacniających roztwór stały (deformacja sieci krystalicznej), oraz procesów wydzieleniowych w trakcie starzenia po przesycaniu.

2. METODYKA BADAŃ

Ocenę wpływu dodatków stopowych siluminu nadeutektycznego na właściwości mechaniczne w stanie surowym oraz po obróbce cieplnej przeprowadzono w oparciu o eksperyment ułamkowy typu 2^{5-2}, którego plan oraz końcowy skład chemiczny odlewów próbnych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela.1. Plan eksperymentu ułamkowego typu 2^{5-2} oraz wyniki badań analizy składu chemicznego badanych stopów
Table 1. Scheme fractional experiment 2^{5-2} and results of chemical composition of alloys

Nr eksp.	Skład chemiczny, [%wag.]									
	Si	Cu	Ni	P	Cr	Co	Mo	W	Mg	Fe
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

Topienie prowadzono w piecu indukcyjnym typu JS5/III, firmy Leybold – Heraeus, w tyglu z azotku krzemu o pojemności 0,7 litra. W pierwszej kolejności przygotowano silumin bazowy zawierający 18,45%wag. Si; 2,13%wag. Cu oraz 2,01%wag. Ni. Dodatki stopowe wprowadzono w postaci 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).

Kolejne wytopy poddano rafinacji preparatem Rafglin 3 w ilości 0,3%wag. masy stopu oraz modyfikacji fosforem w ilości 0,05%, zaprawą Cu-P (9,56% wag. P).
Odlewanie prowadzono w temperaturze 850°C do kokili miedzianej, z której uzyskano odlewy ϕ 40×120mm.

Badania właściwości mechanicznych (R_m oraz HB) prowadzono dla próbek wykonanych z odlewów w stanie surowym i po obróbce cieplnej, polegającej na przesycaniu w temperaturze 490°C/4/woda z następnym starzeniem w temperaturze 200°C/6h/powietrze. Wyniki tych badań przedstawiono w tabeli 2 oraz tabeli 3.

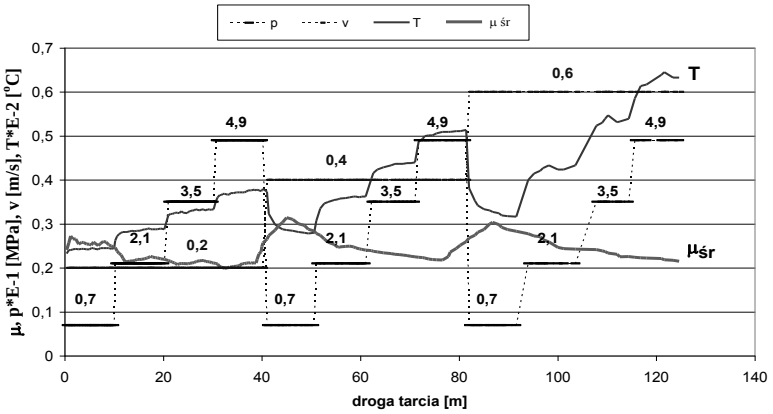
Tabela 2. Wyniki pomiarów właściwości mechanicznych próbek w stanie surowym
Table 2. The results of mechanical and friction properties of the silumin after casting

Nr	R_m [MPa]			HB			
eksp.	1	2	3	1	2	3	4
1	188	180	175	114	107	107	114
2	188	194	198	121	121	121	121
3	215	229	229	159	138	159	159
4	235	229	235	159	159	159	159
5	239	235	24	138	121	138	138
6	237	237	240	121	121	121	121
7	265	255	268	138	159	138	138
8	272	270	268	159	159	159	159

Tabela 3. Wyniki pomiarów właściwości mechanicznych próbek po obróbce cieplnej
Table 3. The results of mechanical and friction properties alloy after heat treatment

Nr	R_m [MPa]			HB			
eksp.	1	2	3	1	2	3	4
1	210	205	210	114	121	121	121
2	228	215	220	129	138	138	138
3	342	340	335	185	185	159	185
4	326	330	322	185	171	185	159
5	265	255	265	159	159	159	138
6	272	275	260	121	121	121	121
7	326	330	335	159	159	159	159
8	360	355	345	185	185	185	185

Zachowanie się siluminów nadeutektycznych w warunkach tarcia suchego w skojarzeniu z żeliwem sferoidalnym EN-GJS-500-7 badano na testerze trybologicznym T-01M. Urządzenie to umożliwia ocenę współczynnika tarcia oraz temperatury w funkcji obciążenia (nacisku) i prędkości obwodowej. Zmianę współczynnika tarcia i temperatury oceniono dla trzech prędkości obwodowych 0,2; 0,4 oraz 0,6 m/s, zmieniając dla każdej prędkości nacisk w zakresie od 0,7 do 4,9MPa. Przykładowy wynik tych badań przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Przebieg współczynnika tarcia i temperatury dla różnych nacisków (p) i prędkości obwodowej (v): trzpień –silumin nr 8, tarcza – żeliwo EN-GJS-500-7

Fig.1. Friction coefficient and temperature for pressure (p) and tangential velocity (v): pinon silumin 8 number, disk –cast iron –EN-GJS-500-7

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Ocenę wpływu dodatków stopowych na badane właściwości mechaniczne dokonano w oparciu o aparat statystycznej analizy wieloczynnikowej. Obliczenia prowadzono na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Ostateczne wyniki obliczeń regresji wielorakiej (po kolejnej eliminacji dodatków wpływających nieistotnie) oraz siły i kierunku oddziaływania dodatków stopowych na badane właściwości mechaniczne przedstawiono w tabelach 4 ÷ 7.

Tabela 4. Oddziaływanie dodatków stopowych na twardość HB siluminu w stanie po odlaniu

Table 4. Interaction of alloy additions on the Brinell hardness of cast hypereutectic silumin

Dodatek	Si	Cu	Ni	Co	Mo	Mg	Fe	W	Cr	P
p	0,0052	0,00	0,0004	0,00	0,00	0,00	0,00	brak	brak	brak
t (36)	2,976	6,50	3,94	9,05	2,89	14,58	-5,11	wpływu	wpływu	wpływu

Tabela 5. Oddziaływanie dodatków stopowych na twardość HB siluminu po obróbce cieplnej

Table 5. Interaction of alloy additions on the Brinell hardness of hypereutectic silumin after of the heat treatment

Dodatek	Si	Cu	P	Co	Mg	Ni	Cr	Mo	W	Fe
p	0,00	0,00	0,00	0,001	0,00	brak	brak	brak	brak	brak
t (28)	-4,8	3,37	4,51	3,24	6,06	wpływu	wpływu	wpływu	wpływu	wpływu

Tabela 6. Oddziaływanie dodatków stopowych na wytrzymałość R_m siluminu w stanie po odlaniu

Table 6. Interaction of alloy additions on the tensile strength of cast hypereutectic silumin

Dodatek	Si	Cu	Ni	Cr	Co	Mg	Fe	W	Mo	P
p	0,000	0,00	0,038	0,000	0,010	0,001	brak	brak	brak	brak
t (19)	-3,51	4,05	2,07	3,46	2,92	3,19	wpływu	wpływu	wpływu	wpływu

Tabela 7. Oddziaływanie dodatków stopowych na wytrzymałość R_m siluminu po obróbce cieplnej

Table 7. Interaction of alloy additions on the tensile strength of alloy after of heat treatment

Dodatek	Si	Cu	Cr	Mo	W	Mg	Fe	Ni	Co	P
p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	brak	brak	brak	brak
t (36)	-6,19	4,26	8,24	12,33	2,13	28,52	wpływu	wpływu	wpływu	wpływu

Z przeprowadzonej analizy wynika, że twardość badanych siluminów nadeutektycznych w stanie po odlaniu w sposób statystycznie istotny zależy od obecności w stopie Si, Cu, Ni, Co, Mo, Mg i Fe. Jedynie dodatek żelaza wpływa na obniżenie twardości HB (ujemna wartość testu t-Studenta). Po obróbce cieplnej stwierdzono jedynie istotne oddziaływanie Si, Cu, Co, P i Mg. Zmalało znaczenie istotności wpływu dodatku niklu. Krzem istotnie wpływa na twardość po obróbce cieplnej, w kierunku jej obniżenia. Działanie takie może być wynikiem zmniejszania się zawartości krzemu, w wyniku powstawania związku Mg_2Si. Wytrzymałość na rozciąganie próbek w stanie po odlaniu istotnie zależy jedynie od zawartości Si, Cu, Ni, Cr, Co i Mg. Krzem obniża wytrzymałość na rozciąganie (ujemna wartość testu t-Studenta), co wydaje się być uzasadnione, ze względu na znaczną twardość oraz kruchość. Po obróbce cieplnej, największy wpływ na wytrzymałość na rozciąganie mają dodatki Mg i Cu. Pojawia się ponadto istotny wpływ dodatków W oraz Mo, co jest wynikiem umocnienia (deformacji) roztworu stałego [2]. Wpływ kobaltu oraz niklu staje się nieistotny. Obecność krzemu zwiększa siłę działania w kierunku obniżenia wytrzymałości. Zanik pozytywnego działania kobaltu i niklu może być wynikiem ich silnego oddziaływania w stanie surowym w wyniku tworzenia związków z aluminium oraz krzemem wydzielających się w trakcie krystalizacji w eutektyce „niklowej".

Z rysunku 1 wynika, że współczynnik tarcia dla najmniejszej prędkości obwodowej utrzymuje się na stałej wartości, niezależnie od wielkości obciążenia. Dalsze zwiększanie prędkości prowadzi do wzrostu współczynnika tarcia. Największą wartość uzyskuje on dla najmniejszego obciążenia (nacisku). Zwiększenie nacisku od 0,7 do 4,9 MPa powoduje systematyczne obniżenie współczynnika tarcia. Tarciu towarzyszy wydzielanie ciepła, czego efektem jest systematyczny wzrost temperatury. Stwierdzono [6], że w strefie tarcia mogą występować mikroobszary, w których pojawiają się tzw. „błyski temperatury", czemu towarzyszy znaczny wzrost temperatury powyżej 500°C. Zjawisko to może powodować topienie w mikroobszarach niskotopliwej eutektyki, która „rozprowadzana" po powierzchniach tarcia, może pełnić rolę czynnika smarującego.

Wydaje się więc, że zjawisko to jest przyczyną zmniejszania się współczynnika tarcia w miarę zwiększania nacisku. Zwiększenie prędkości obwodowej w nieznacznym stopniu wpływa na zmianę współczynnika tarcia. Należy stwierdzić, że efekt obniżania współczynnika tarcia nie występuje w innych skojarzeniach ciernych, np. stal-brąz, żeliwo-brąz itp. Stwierdzono ponadto, że najmniejszą wartość zużycia wykazuje próbka wykonana z siluminu nr 4 oraz siluminu nr 8.

4. PODSUMOWANIE

Najkorzystniejszym zespołem właściwości mechanicznych oraz najmniejszą wartością zużycia ściernego wykazał się silumin nr 8, o składzie: 17,92%wag. Si; 2,11%wag. Cu; 1,92%wag. Ni; 0,70%wag. Mg; 0,41%wag. Co; 0,24%wag. Cr oraz 0,32%wag. W. Po obróbce cieplnej polegającej na przesycaniu w temperaturze 490°C/4/woda i starzeniu w 200°C/6h/powietrze, otrzymano wytrzymałość na rozciąganie R_m~350 MPa; twardość ~185 HB oraz wydłużenie A_5~2,5%.

LITERATURA

[1] Z. Poniewierski: *Krystalizacja, struktura i właściwości siluminów*. WNT, Warszawa 1989.

[2] J. Piątkowski: *Wpływ dodatków stopowych oraz modyfikacji na strukturę oraz właściwości obrabianych cieplnie siluminów średnionadeutektycznych*. Rozprawa Doktorska, Politechnika Śląska, Katowice 2000.

[3] J. Janecki, St. Gołąbek: *Zużycie części zespołów pojazdów samochodowych*. WKŁ, Warszawa 1979.

[4] P. Solski, S. Ziemba: *Zagadnienia tarcia suchego*. PWN, Warszawa 1965.

[5] S. Pietrowski: *Siluminy tłokowe, Monografia*. Krzepnięcie Metali i Stopów PAN, z. 29, (1997).

[6] J. Sadowski: *Termodynamiczne aspekty procesów tribologicznych*. Politechnika Radomska, Radom 1997.

MECHANICAL AND FRICTION PROPERTIES OF HYPEREUTECTIC SILUMIN AFTER OF THE HEAT TREATMENT

SUMMARY

The results of mechanical and selected friction properties of the hypereutectic AlSi17 alloy with a Cu, Ni, Mg, Co, Mo and Cr are presented in this paper. Studies were conducted for hypereutectic AlSi17 alloy modified by phosphorus (0,05wt. %) inoculated after heat treatment. The best increasing of the mechanical properties after Mg and Cu alloy additions are confirmed. The hypereutectic silumins very positive behave during content friction system with the grey cast iron (EN-GJ200) and spheroid graphite iron (EN-GJS-500-7).

Recenzował Prof. Jerzy Cybo