

## MODYFIKACJA SILUMINU AK12

Ferdynand ROMANKIEWICZ

Politechnika Zielonogórska, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra

### 1. Wprowadzenie

Silumin AK12 (AlSi13MgCuNi) należy do grupy okołoeutektycznych stopów Al-Si [1] i znajduje zastosowanie na tłoki silników spalinowych.

Struktura siluminu AK12 cechuje się występowaniem grubokrystalicznych zbliźniaczonych płytek krzemu eutektycznego. Sporadycznie mogą pojawiać się w niej również gruboziarniste poliedryczne kryształy pierwotnego krzemu [1, 2]. Takie formy występowania krzemu wywierają ujemny wpływ na właściwości mechaniczne tego stopu. Z tego względu istnieje potrzeba modyfikacji siluminu AK12 w celu korzystnej zmiany morfologii kryształów krzemu. Osiąga się to przez dodanie do ciekłego stopu takich pierwiastków jak sód lub stront [1, 3] oraz fosfor [4, 5].

### 2. Opis badań

#### 2.1. Topienie i modyfikacja

Do badań użyto handlowego stopu AK12 o składzie chemicznym: 12,2% Si; 1,02% Cu; 1,11% Mg; 0,96% Ni; 0,42% Fe; 0,12% Mn; reszta Al. Topienie stopu przeprowadzano w elektrycznym piecu komorowym przy użyciu grafitowo-szametowych tygli. W celu uniknięcia ewentualności wprowadzenia sodu do kąpieli metalowej nie stosowano pokrycia ochronnego.

Zabiegi modyfikacji przeprowadzono przy przegrzaniu ciekłego stopu do temperatury 730° C (1003 K). W charakterze dodatków modyfikujących stosowano wstępne stopy AlSr10 oraz AlCu19P1,4. Ilość wprowadzonych dodatków podano w tablicy 1.

Do oceny efektów modyfikacji badanego siluminu odlewano w metalowej kokili walcowe próbki o średnicy 32 mm i wysokości 60 mm, które służyły do oceny zmian struktury stopu pod wpływem modyfikacji. W celu określenia właściwości mechanicznych stopu odlewano w kokili standardowe próbki wg PN-65/H-88003. Wszystkie próbki odlewano po upływie 10 min po zabiegu modyfikacji.

## 2.2. Badania właściwości mechanicznych

Tablica 1

Właściwości mechaniczne stopu AK12  
Mechanical properties of alloy AK12

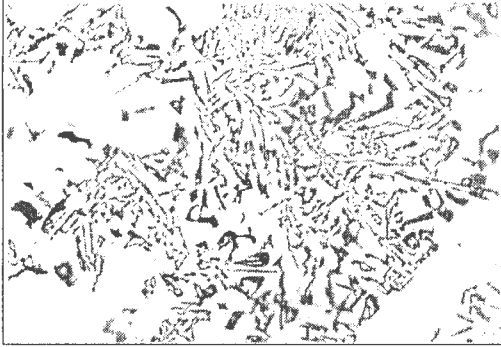
Nr Wytopy	Stan stopu	R <sub>m</sub> MPa	HB	A <sub>5</sub> %
1.	Bez modyfikacji	180	95	5,0
2.	0,15% AlSr10 (0,012% Sr) *	193	99	4,7
3.	0,2% AlSr10 (0,017% Sr) *	188	107	4,3
4.	0,25% AlSr10 (0,023% Sr) *	236	108	5,4
5.	0,30% AlSr10 (0,026% Sr) *	234	100	5,6
6.	0,35% AlSr10 (0,029% Sr) *	203	98	4,9
7.	0,25% AlSr10	218	86	6,0
8.	0,2% AlCu19P1,4 0,25% AlSr10	183	93	5,4
9.	0,4% AlCu19P1,4 0,25% AlSr10 0,6% AlCu19P1,4	198	90	5,5
Uwagi: * udział Sr w stopie				

Właściwości mechaniczne siluminu AK12 określano w statycznej próbie rozciągania przy użyciu próbek pięciokrotnych wg PN-91/H-04319. Próby twardości dokonywano zgodnie z PN-91/H-04350. Wyniki pomiarów zamieszczono w tablicy 1.

Z przedstawionych w tablicy 1 wskaźników wytrzymałościowych wynika, że silumin AK12 w stanie niemodyfikowanym wykazywał R<sub>m</sub> wynoszące 180 MPa przy twardości 95 HB i wydłużeniu względnym A<sub>5</sub> wynoszącym 5%. Najkorzystniejszy wzrost właściwości mechanicznych badanego stopu spowodował zabieg modyfikacji dodatkiem 0,25% AlSr10. Nastąpił w tym wypadku wzrost R<sub>m</sub> do 236 MPa przy równoczesnym podwyższeniu twardości do 108 HB i wydłużenia A<sub>5</sub> do 5,4%. Zwiększenie ilości dodatku AlSr10 do 0,30% spowodowało nieznaczny wzrost wydłużenia A<sub>5</sub> do 5,6% przy dostrzegalnym obniżeniu twardości do 100 HB przy zachowaniu R<sub>m</sub> na niezmiennym poziomie 234 MPa. Dalsze zwiększenie dodatku AlSr10 do 0,35% spowodowało wyraźne obniżenie R<sub>m</sub> do 218 MPa i A<sub>5</sub> do 4,9% przy zachowaniu twardości 98 HB.

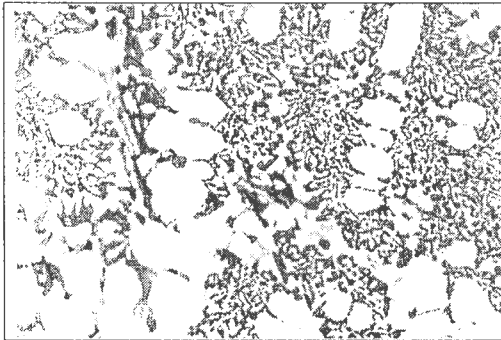
Zabiegi równoczesnej modyfikacji stopu AK12 dodatkami zawierającymi stront oraz fosfor (wytopy 7–9) nie spowodowały istotnego korzystnego wpływu na właściwości mechaniczne badanego stopu. Jedynie przy dodatku 0,25% AlSr10 i 0,2%

AlCu19P1,4 nastąpił wzrost  $R_m$  do 218 MPa przy obniżeniu twardości do 86 HB i wzroście  $A_5$  do 6%. Zwiększenie ilości AlCu19P1,4 do 0,4% oraz 0,6% spowodowało obniżenie  $R_m$  przy nieco większym  $A_5$ .



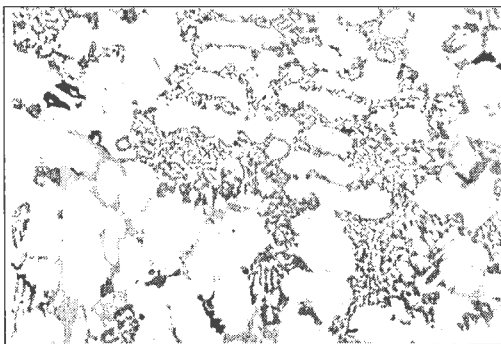
Rys. 1. Mikrostruktura stopu AK12 w stanie niemodyfikowanym (pow. 250 x)

Fig. 1. Microstructure of alloy AK12 no modified (magn. 250 x)



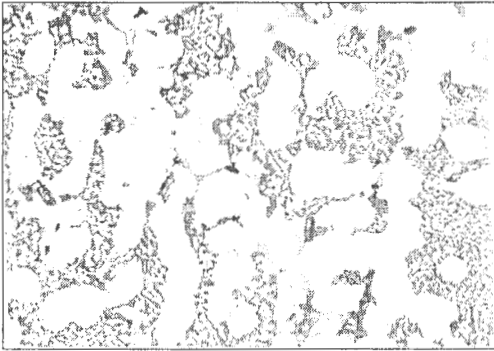
Rys. 2. Mikrostruktura stopu AK12 po modyfikacji dodatkiem 0,15% AlSr10 (pow. 250 x)

Fig. 2. Microstructure of alloy AK12 modified with 0,15% AlSr10 (magn. 250 x)



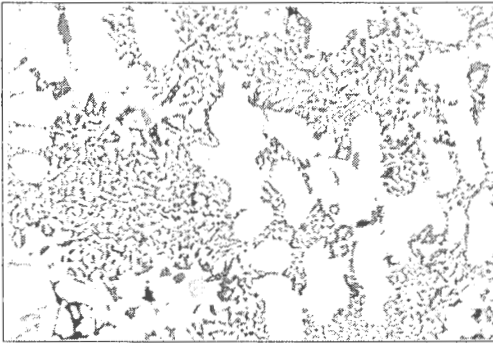
Rys. 3. Mikrostruktura stopu AK12 po modyfikacji dodatkiem 0,2% AlSr10 (pow. 250 x)

Fig. 3. Microstructure of alloy AK12 modified with 0,2% AlSr10 (magn. 250 x)



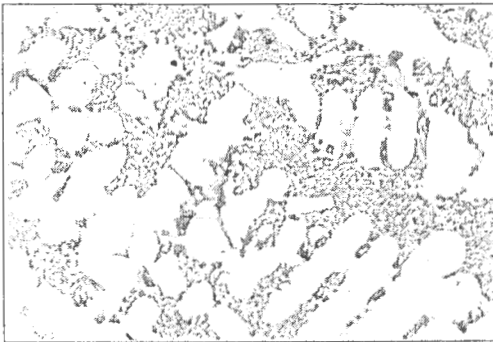
Rys. 4. Mikrostruktura stopu AK12  
po modyfikacji dodatkiem  
0,25% AlSr10  
(pow. 250 x)

Fig. 4. Microstructure of alloy AK12  
modified with 0,25% AlSr10  
(magn. 250 x)



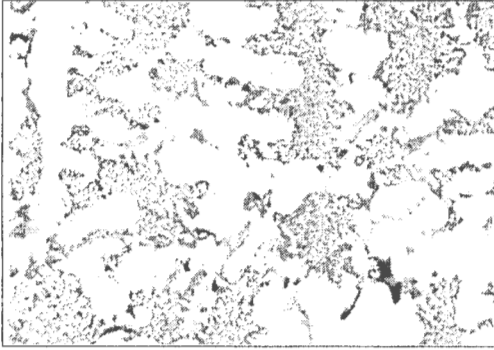
Rys. 5. Mikrostruktura stopu AK12  
po modyfikacji dodatkiem  
0,3% AlSr10  
(pow. 250 x)

Fig. 5. Microstructure of alloy AK12  
modified with 0,3% AlSr10  
(magn. 250 x)



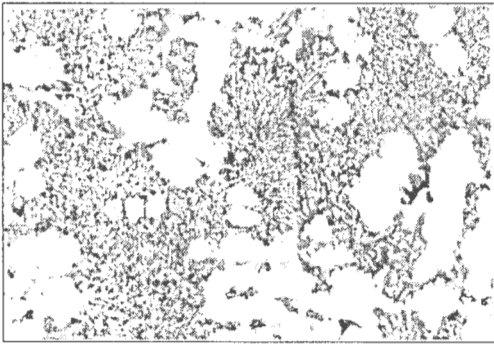
Rys. 6. Mikrostruktura stopu AK12  
po modyfikacji dodatkiem  
0,35% AlSr10  
(pow. 250 x)

Fig. 6. Microstructure of alloy AK12  
modified with 0,35% AlSr10  
(magn. 250 x)



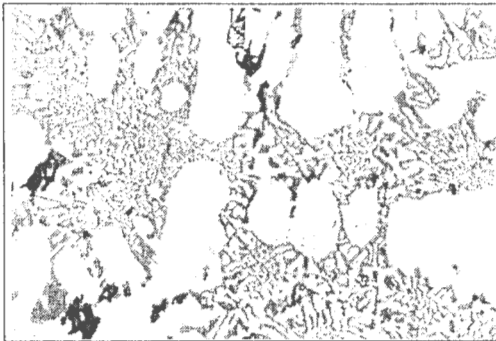
Rys. 7. Mikrostruktura stopu AK12 po modyfikacji dodatkami 0,25% AlSr10 i 0,2% AlCu19P1,4 (pow. 250 x)

Fig.7. Microstructure of alloy AK12 modified with 0,25% AlSr10 and 0,2% AlCu19P1,4 (magn. 250 x)



Rys. 8. Mikrostruktura stopu AK12 po modyfikacji dodatkami 0,25% AlSr10 i 0,4% AlCu19P1,4

Fig. 8. Microstructure of alloy AK12 modified with 0,25% AlSr10 and 0,4% AlCu19P1,4 (magn. 250 x)



Rys. 9. Mikrostruktura stopu AK12 po modyfikacji dodatkami 0,25% AlSr10 i 0,6% AlCu19P1,4 (pow. 250 x)

Fig. 9. Microstructure of alloy AK12 Modified with 0,25% AlSr10 and 0,6% AlCu19P1,4 (magn. 250 x)

### 2.3. Badania struktury

Wpływ modyfikacji na zmianę struktury siluminu AK12 ilustrują rysunki 1–9. Stop w stanie niemodyfikowanym (rys. 1) wykazuje płytkową strukturę autektycznego krzemu. Przy dodatku 0,15% AlSr10 (rys. 2) oraz 0,2% AlSr10 (rys. 3) widać wyraźny lecz niepełny efekt modyfikacji. Zwiększenie dodatku AlSr10 do 0,25% (rys. 4) spowodowało pełny efekt modyfikacji siluminu. Dalsze zwiększenie dodatku AlSr10 do 0,3% (rys. 5) oraz 0,35% (rys. 6) nie spowodowało wyraźnych zmian w budowie struktury badanego siluminu. Zmiany w strukturze nie nastąpiły również przy równoczesnej modyfikacji dodatkami 0,25% AlSr10 i 0,2% AlCu19P1,4 (rys. 7). Natomiast zwiększenie ilości AlCu19P1,4 do 0,4% (rys. 8), a zwłaszcza do 0,6% (rys. 9), spowodowało wyraźne ograniczenie efektu modyfikacji strontem. Świadczy to o niecelowości stosowania dodatku AlCu19P1,4 w ilości większej od 0,2%.

### 3. Wnioski

Badania nad modyfikacją siluminu AK12 wykazały, że najkorzystniejszą zmianę struktury i właściwości mechanicznych tego stopu spowodował dodatek zaprawy modyfikującej AlSr10 w ilości 0,25%, przy którym zawartość strontu w zmodyfikowanym stopie wynosiła 0,023%. W efekcie zabiegu modyfikacji nastąpił wzrost  $R_m$  z 180 do 236 MPa przy równoczesnym wzroście twardości z 95 do 108 HB i niewielkim wzroście  $A_5$  (z 5,0% do 5,4%).

Zwiększenie ilości dodatku AlSr10 powyżej 0,3% powoduje ponowne zmniejszenie wytrzymałościowych wskaźników stopu.

Równoczesne wprowadzenie do modyfikowanego stopu fosforu w postaci zaprawy AlCu19P1,4 w ilości 0,2% spowodowało wzrost  $R_m$  do 218 MPa przy spadku twardości do 86HB i wzroście wydłużenia  $A_5$  do 6%. Dalsze zwiększenie ilości tego dodatku spowodowało wtórne obniżenie  $R_m$  i HB.

### Bibliografia

1. Poniewierski Z.: Krystalizacja, struktura i właściwości siluminów, WNT, Warszawa 1989.
2. Chen X.G., Engler S.: Z. Metallkunde, 1991, nr 6, s. 412.
3. Wasilewski P.: Siluminy – modyfikacja i jej wpływ na strukturę i właściwości, Monografia nr 21, Krzepnięcie Metali i Stopów, Komisja Odlewnictwa PAN, Katowice 1995.
4. Pietrowski S.: Siluminy tłokowe, Monografia nr 29, Krzepnięcie metali i stopów, Komisja Odlewnictwa PAN, Katowice 1997.
5. Prospekt firmowy. Vorlegierungen – Zugabemengen. Technologica Vertriebsgesellschaft für technische Erzeugnisse m.b.H., Düsseldorf 1993.

Recenzował: dr hab. inż. Tadeusz Mikulczyński, prof. nadzw.