

# Proekologiczny sposób przygotowania ciekłego stopu $AlSi11Cu2(Fe)$ na bazie złomu handlowego

A. Mager <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Zakład Odlewnictwa, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3 60-965 Poznań

\*Kontakt korespondencyjny: e-mail: aneta.mager@put.poznan.pl

Otrzymano 20.06.2014; zaakceptowano do druku 12.07.2014

## Streszczenie

Ze względu na dbałość o środowisko i chęć obniżania kosztów wytwarzania odlewów, celem jest wykorzystanie złomu handlowego stopów aluminium jako materiału wsadowego bezpośrednio w odlewni. W pracy przedstawiono sposób umożliwiający wytwarzanie znormalizowanego stopu aluminium  $AlSi11Cu2(Fe)$  ze złomu handlowego bezpośrednio w odlewni. Zaprezentowano metodę doboru wsadu metalowego na bazie złomu handlowego oraz proces technologiczny jego topienia pozwalający na przygotowanie wybranego odlewniczego gatunku stopu. Przedstawiona w niniejszej pracy ocena jakości uzyskanego stopu  $AlSi11Cu2(Fe)$  obejmująca: wynik analizy zawartości wodoru, kontroli składu chemicznego, właściwości mechanicznych oraz analizy struktury metalograficznej, pozwala na ocenę poprawności zaproponowanej metody.

**Słowa kluczowe:** recykling stopów aluminium, odlewnicze stopy aluminium, złom handlowy stopów aluminium, jakość stopów.

## 1. Wprowadzenie

Wobec stałego wzrostu ilości aluminium i jego stopów stosowanych jako tworzywo konstrukcyjne, rośnie także ilość odpadów poamortyzacyjnych zawierających te materiały. Odpady te po przeróbce stanowią złom handlowy [2]. Złom ten jest przetwarzany w zakładach hutniczych na stopy w postaci gąsek odlewniczych o określonym składzie chemicznym [1, 3]. Gąski topione są powtórnie w odlewniach a ciekły stop odlewany do form odlewniczych. Ponieważ wyposażenie zarówno technologiczne jak i kontrolne odlewni w zasadzie odpowiada wyposażeniu zakładów, w których wytwarzane są gąski nasuwa się pytanie, czy złom handlowy może stanowić podstawowy składnik wsadu metalowego w odlewni zastępujący gąski. Postępowanie takie, ze względu na jednokrotne topienie złomu, powinno spowodować obniżenie kosztu wytworzenia odlewu, a także mieć

istotne znaczenie proekologiczne. Proponowane postępowanie musi jednak zapewnić odpowiednią jakość otrzymanego stopu.

Celem niniejszej pracy była odpowiedź na pytanie, czy w warunkach odlewni możliwe jest uzyskanie stopu o wymaganej jakości w przypadku zastąpienia gąsek odlewniczych złomem handlowym. Badania postanowiono przeprowadzić dla stopu  $AlSi11Cu2(Fe)$  (stop EN AC- 46100 wg DIN EN 1706) ze względu na jego dobre właściwości mechaniczne, bardzo dobrą lejącość oraz szerokie zastosowanie w odlewaniu ciśnieniowym.

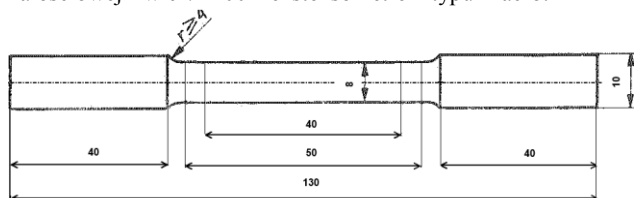
## 2. Jakość badanego stopu

Jakość badanego stopu można opisać zestawem następujących cech [1, 3, 9, 10]:

- skład chemiczny, który obejmuje zgodnie z cytowaną poprzednio normą:

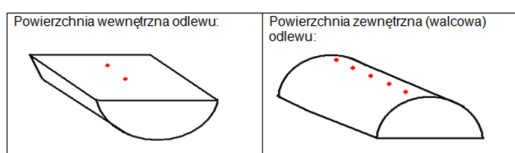
- przedział zawartości składników stopowych
- dopuszczalną zawartość zanieczyszczeń metalicznych
- zawartość zanieczyszczeń niemetalicznych:
  - wodoru
  - wtrąceń niemetalicznych przede wszystkim tlenków
- właściwości mechaniczne
- strukturę stopu po skrzepnięciu.

Zawartość składników stopowych oraz zanieczyszczeń metalicznych badano przy użyciu spektrometru iskrowego firmy Spectro Analytical Instruments [8]. Zawartość wodoru oznaczano w ciekłym stopie przy użyciu urządzenia Alu Compact II działającego w oparciu o metodę pierwszego pęcherza. Bezpośrednie oznaczenie wtrąceń niemetalicznych w stopach aluminium jest bardzo trudne i na ogół niestosowane. W związku z tym o zawartości zanieczyszczeń niemetalicznych postanowiono wnioskować na podstawie właściwości mechanicznych oraz badań strukturalnych stopu [6]. Właściwości wytrzymałościowe wyznaczano na znormalizowanych próbkach (PN – EN ISO 6892-1:2100) odlanych w kokili i obrabionych do wymiarów podanych na rys. 1 oznaczając wartości  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $A_5$  na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Z100 z ekstensometrem typu Macro.



Rys. 1. Wymiary okrągłej próbki wytrzymałościowej

Badania twardości przeprowadzono na próbkach do badań składu chemicznego w miejscach podanych na rys. 2 z użyciem twardościomierza Brinella z kulką stalową o średnicy 2,5 mm przy obciążeniu 613N i stałej  $K=10$ . Badania strukturalne wykonano przy pomocy mikroskopu Neophot 2 wykonując zglądy na próbkach do badań składu chemicznego.



Rys. 2. Powierzchnie, na których dokonano pomiaru twardości metodą Brinell'a

### 3. Proces technologiczny topienia stopu AlSi11Cu2(Fe)

Topienie przeprowadzono w piecu oporowym Nabertherm z tygłem karborundowym o pojemności 5 kg. Stanowisko do topienia przedstawiono na rysunku 3.

Opierając się na wymaganym składzie chemicznym stopu AlSi11Cu2(Fe), podanym w tabeli 1, wytypowano jako składniki wsadu metalowego:

- złom handlowy stopów aluminium (odlewy) wyselekcjonowany ze względu na skład chemiczny podany w tabeli 1,



Rys. 3. Piec oporowy Nabertherm z tygłem karborundowym

- złom drutów i kabli o składzie zgodnym z tabelą 1,
- stop wstępny Al-Si o składzie przedstawionym w tabeli 1.

Ilości poszczególnych składników wsadu metalowego oraz skład chemiczny odpowiadającego im stopu obliczono w oparciu o arkusz kalkulacyjny Microsoft Excel 2010 [4, 5], a ich wartości podano również w tabeli 1. Przy pomocy arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel 2010, zawierającego skład chemiczny gatunków złomu uzyskany drogą badań spektrometrycznych oraz przedziały zawartości składników stopowych według normy DIN-EN 1706 wyznaczono udziały masowe składników wsadu dobierając je ze względu na skład chemiczny. Ponieważ złom handlowy stopów aluminium charakteryzuje się niepewnym składem chemicznym, konieczna jest kontrola jego składu przed procesem technologicznym topienia.

Tabela 1. Rozwiązanie optymalizacyjne dla uzyskania stopu AlSi11Cu2(Fe)

Stop	Skład chemiczny [%]					
	AlSi11Cu2(Fe) wg normy DIN EN 1706		Składniki wsadu metalowego			AlSi11Cu2(Fe) wg arkusza kalkulacyjnego
	min	max	Złom handlowy odlewów	Złom drutów i kabli	Stop wstępny Al-Si	
Si	10	12	8,85	0,33	50	10,438
Fe	0	1,1	0,983	0,151	0,34	0,7652
Cu	1,5	2,5	2,56	0,03	0,02	1,8508
Mn	0	0,55	0,199	0,009	0,16	0,1579
Mg	0	0,3	0,042	0,006	0,08	0,0378
Cr	0	0,15	0,036	0,004	0,01	0,0275
Ni	0	0,45	0,074	0,002	0,01	0,0545
Zn	0	1,7	1,317	0,009	0,03	0,9524
Pb	0	0,25	0,058	0,001	0,01	0,0428
Sa	0	0,25	0,026	0	0,01	0,0195
Ti	0	0,25	0,055	0,0002	0,07	0,045
Al i inne	80,5	88,5	85,80	99,46	49,26	85,609
<b>Masa składników wsadowych</b>			<b>3,6 kg</b>	<b>1 kg</b>	<b>0,4 kg</b>	<b>Masa stopu = 5kg</b>
<b>% udział masy składników wsadowych</b>			<b>72</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>100</b>

Jako składniki wsadu niemetalowego przyjęto następujące preparaty produkcji firmy ECO-SAL powszechnie stosowane w metalurgii stopów aluminium [6]:

- topnik pokrywająco-odtleniający ECOSAL – Al 140G,
- topnik odgazowujący ECOSAL – Al 320.

Proces topienia przebiegał następująco: tygiel pieca topialnego wygrzewano do temperatury  $850 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Na dno tygla wprowadzano topnik pokrywająco-odtleniający w ilości zgodnej z zaleceniami producenta to jest 0,1% masy wsadu metalowego [7]. Następnie wprowadzano wsad metalowy,

zaczynając od złomu handlowego odlewów, poprzez złom drutów i kabli kończąc na stopie wstępny w ilości podanej w tabeli 1. Po stopieniu wsadu przegrzewano go do temperatury 750 °C±5 °C. Następnie zdejmowano żużel z powierzchni kąpiel. W celu usunięcia wtrąceń niemetalicznych wprowadzano na powierzchnię kąpiel kolejną partię topnika ECOSAL – Al 140G, a po jego stopieniu zanurzano go w kąpiel i mieszano przez 2 min. Po wypłynięciu żużel zdejmowano z powierzchni kąpiel. W celu odwodowania stopu wprowadzano za pomocą zanurzonego topnika odgazowujący ECOSAL – Al 320 w ilości 0,05% masy wsadu [7]. Po ustaniu „gazowania” topnika i wypłynięciu żużla, zdejmowano go z powierzchni kąpiel. Po usunięciu żużla i ustabilizowaniu temperatury kąpiel na poziomie 720 °C±5 °C pobrano po trzy próbki do badań zawartości wodoru oraz oznaczenia składu chemicznego stopu, jak również odlewano w kokili o temperaturze 200 °C±5 °C trzy próbki do badania właściwości mechanicznych.

## 4. Wyniki badań

Wykonano pięć wytopów w sposób opisany w rozdziale 3. Skład chemiczny stopu uzyskanego ze złomu handlowego poszczególnych wytopów przedstawia tabela 2. Dla porównania w tablicy 3 zestawiono wymagany skład chemiczny badanego stopu podany przez normę DIN-EN 1706 oraz odpowiadające im wartości uzyskane z arkusza kalkulacyjnego.

Tabela 2.  
Średnie zawartości pierwiastków w uzyskanym stopie AlSi11Cu2(Fe)

Odlewniczy stop aluminium AlSi11Cu2(Fe)												
Wypok	Skład chemiczny [%]											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Su	Ti	Al
1	11,03	0,75	2,02	0,17	0,05	0,03	0,05	0,97	0,04	0,02	0,04	84,83
2	11,43	0,63	1,74	0,17	0,06	0,03	0,05	0,98	0,04	0,02	0,04	84,81
3	11,33	0,62	1,7	0,17	0,02	0,03	0,05	0,99	0,04	0,02	0,04	84,99
4	11,37	0,65	1,72	0,17	0,03	0,03	0,05	0,98	0,04	0,02	0,04	84,90
5	11,41	0,64	1,72	0,17	0,02	0,03	0,05	0,97	0,04	0,02	0,04	84,89

Tabela 3.  
Porównanie zawartości pierwiastków obecnych w stopie AlSi11Cu2(Fe)

Odlewniczy stop aluminium AlSi11Cu2(Fe)												
Skład chemiczny [%]												
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Su	Ti	Al	
wg normy DIN EN 1706												
10-12	0-1,1	1,5-2,5	0-0,55	0-0,3	0-0,15	0-0,45	0-1,7	0-0,25	0-0,25	0-0,25	80,5-88,5	
wg arkusza kalkulacyjnego												
10,44	0,77	1,85	0,16	0,04	0,03	0,05	0,95	0,04	0,02	0,05	85,6	

Porównanie wartości zawartych w tabeli 2 i 3 pozwala stwierdzić, że skład chemiczny każdego z wytopów odpowiada wartościom podanym w tabeli 3. Zawartości składników stopowych w otrzymanych stopach po porównaniu z zawartościami uzyskanymi w arkuszu kalkulacyjnym wskazują na fakt,

że zmiany składu chemicznego związane z topieniem są nieistotne.

Stwierdzone zawartości wodoru w otrzymanym stopie podano w tabeli 4. Średnie zawartości wodoru uzyskane w kolejnych wytopach są dostatecznie niskie dla celów odlewania.

Tabela 4.  
Końcowa zawartość wodoru w ciekłym stopie AlSi11Cu2(Fe) w poszczególnych wytopach

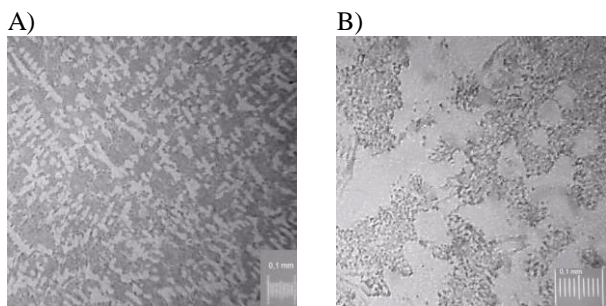
Nr wytopu	Zawartość wodoru w ciekłym stopie [cm <sup>3</sup> /100g]	
	Zmierzona	Wartość średnia
1	0,11	0,12
	0,14	
	0,11	
2	0,11	0,11
	0,10	
	0,13	
3	0,16	0,14
	0,12	
	0,14	
4	0,12	0,11
	0,10	
	0,11	
5	0,16	0,13
	0,10	
	0,13	

Średnie wartości właściwości mechanicznych stopu uzyskane w sposób opisany w rozdziale 3 przedstawiono w tabeli 5. Dla porównania w tablicy tej zawarto wymagania stawiane przez normę DIN EN 1706. Wytrzymałość na rozciąganie i twardość odpowiadają wymaganiom normy, natomiast wydłużenie A<sub>5</sub> jest kilkakrotnie wyższe od wymagań. Granica plastyczności wszystkich próbek jest niższa od wartości podanych w normie. Wartości te wskazują na dużą plastyczność stopu, co może być spowodowane niską zawartością żelaza, sposobem odlewania próbek, a także świadczyć pośrednio o niskiej zawartości wtrąceń niemetalicznych.

Tabela 5.  
Wyniki pomiaru właściwości mechanicznych stopu AlSi11Cu2(Fe)

Nr wytopu	Właściwości mechaniczne stopu				
	R <sub>p0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	HB	
				pow. wew.	pow.zew.
1	122	296	7,1	80,2	83
2	119	276	5,2	81,3	80,2
3	166	282	6,8	82	81,3
4	114	296	8,7	80,5	83
5	114	258	6,4	83	81,3
wg normy DIN-EN 1706	min. 140	min. 240	< 1	80	80

Na rysunku 4 przedstawiono strukturę materiału próbek użytych do badań składu chemicznego. Fotografia A świadczy o jednorodności struktury. Na zdjęciu B widać globuliczny (sferoidalny) kształt krzemu, co świadczy o modyfikacji stopu. Na obu zdjęciach nie stwierdzono obecności wtrąceń niemetalicznych. Nie stwierdzono również różnic struktury na przekrojach próbek obserwowanych przy identycznym powiększeniu.



Rys. 4. Struktura metalograficzna stopu AlSi11Cu2(Fe):  
A - powiększenie 60x, B - powiększenie 400x

## 5. Wnioski

Otrzymane w badaniach wyniki pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Stop odlewniczy uzyskany ze wsadu, którego skład obliczono proponowaną metodą, odpowiada wymaganiom dotyczącym składu chemicznego stopu zawartego w normie, co świadczy o przydatności zaproponowanej metody obliczania wsadu dla praktyki odlewniczej.
2. W procesie topienia złomu handlowego ubytki pierwiastków stopowych są na tyle nieznaczne, że nie zachodzi konieczność korekty składu chemicznego stopu.
3. Zawartość wodoru w otrzymanym stopie odpowiada wymaganiom odlewniczym.
4. Wysokie właściwości plastyczne oraz struktura stopu pozwalają na stwierdzenie, że poziom zawartości wtrąceń niemetalicznych w otrzymanym stopie jest dostatecznie niski z punktu widzenia wymagań odlewniczych.
5. Otrzymane wyniki przedstawionych badań wskazują na możliwość stosowania złomu handlowego jako podstawowego elementu wsadu metalowego dla celów odlewniczych.

6. Pominięcie przetwarzania złomu handlowego na gąski przyczynia się, obok obniżenia kosztów przygotowania ciekłego stopu, do skrócenia cyklu przetwarzania złomu aluminium, a tym samym do zmniejszenia negatywnego oddziaływania na środowisko oraz zużycia energii.

## Literatura

- [1] Mager, A., Moryson, G. (2010). *Wykorzystanie złomu stopów aluminium w odlewniach*. Materiały konferencyjne Nauka i Technologia, Zwierzyniec, s. 63.
- [2] Moryson, G., Mager, A. (2010). *Nowe możliwości klasyfikacji złomu stopów aluminium*. Materiały konferencyjne Nauka i Technologia, Zwierzyniec, s. 71.
- [3] Górny, Z., Sobczak, J. (2005). *Nowoczesne tworzywa odlewnicze na bazie metali nieżelaznych*. Wydawnictwa Instytutu Odlewnictwa, Kraków.
- [4] Piątkowski, J., Szymuszal, J., Binczyk, F. (2002). Obliczanie namiaru wsadu metalowego z wykorzystaniem algorytmu simpleks. *Archiwum Odlewnictwa*, s. 179.
- [5] Ziółkowski, E. (2010). Optymalizacja kosztu wsadu w procesie produkcji gąsek Al materiałów wsadowych o niepewnym składzie chemicznym. *Nauka i Technologia*. Zwierzyniec, s. 109.
- [6] Jackowski, J., Szweyger, M., Witczak, D. (1994). Topienie złomu w odlewniach aluminium. *Przegląd Odlewnictwa*, s. 159-162.
- [7] Karty topników ECO SAL, Sp. cywilna KDO, <http://www.kdo.com.pl/en/index.html>, dostęp: 31.03.2014.
- [8] <http://www.filmar-recycling.pl/>, dostęp: 31.03.2014.
- [9] Kaufman, J.C., Rooy, E.L. (2004). The influence and control of porosity and inclusions in Aluminium Castings. *Materials Technology and Engineering*, s. 47-54.

# Environmentally Friendly Method of Preparing Liquid Alloy AlSi11Cu2 (Fe) on the Basis of Trade Metal Scrap

Due to care of the environment and desire to reduce the cost of castings manufacturing, it is purposeful to use aluminum trade scrap as feed material directly in the foundry. The paper presents a way allowing to produce standardized aluminum alloy AlSi11Cu2 (Fe) from trade scrap directly in the foundry. One has presented method of selecting metal charge based on trade scrap and technology process of melting allowing preparation of foundry alloy in chosen grade. Quality evaluation of obtained alloy presented in this paper AlSi11Cu2 (Fe) including: result of the analysis of hydrogen content, control of chemical composition, mechanical properties and the analysis of grain structure, allows to assess the accuracy of the proposed method.