

## KSZTAŁTOWANIE MIKROSTRUKTURY I WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH STOPU AK7 POPRZEZ OBRÓBKĘ MIESZANKAMI EGZOTERMICZNYMI

Tomasz LIPIŃSKI

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
Wydział Nauk Technicznych  
Katedra Technologii Maszyn i Materiałów  
ul. Oczapowskiego 2, 10-957 Olsztyn

### Wprowadzenie

Stopy Al z Si ze względu na mały ciężar właściwy przy stosunkowo wysokich właściwościach mechanicznych i chemicznych znajdują coraz to szersze zastosowanie. Istotną wadą tych stopów jest tworzenie gruboziarnistej struktury będącej przyczyną niskich właściwości mechanicznych (głównie wydłużenia względnego).

Budowę strukturalną można kształtować między innymi poprzez wprowadzenie do stopu pierwiastków i związków chemicznych, które oddziałując na proces krystalizacji przyczyniają się do jej zmiany.

Z badań A. Bydalka [1], wynika że zasadniczym efektem występującym podczas przepływu metalu zawierającego modyfikatory przez kanał formy odlewniczej jest efekt mieszania. Badania te wskazują również, że dopiero w stanie statycznym, podczas krótkiego okresu krzepnięcia pozostałej fazy ciekłej uwidacznia się oddziaływanie modyfikatorów.

Na właściwości mechaniczne siluminów podeutektycznych wpływa kształt i wielkość zarówno fazy  $\alpha$  jak i eutektyki ( $\alpha+\beta$ ).

### Podstawy teoretyczne procesów metalotermicznych

Każdej reakcji chemicznej towarzyszy efekt energetyczny, czyli wydzielanie się lub pochłanianie energii w czasie trwania procesu. Natomiast reakcję chemiczną, w czasie której energia wydziela się na zewnątrz środowiska reakcji nazywamy egzotermiczną [2].

Metalotermia jest to otrzymywanie metali na bazie reakcji przebiegających między metalem – reduktorem, a związkami, głównie związkami tlenowymi [3]



Reakcja (1) będzie przebiegać jeżeli wartość entalpii wyniesie:

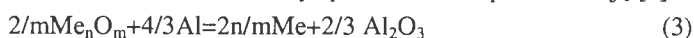
$$\Delta H_{298\text{Me}^{\circ}\text{O}}^{\circ} > \Delta H_{293\text{Me}^{\circ}\text{O}}^{\circ} \quad (2)$$

Im większa jest różnica entalpii, tym reakcja egzotermiczna łatwiej przebiega. Warunkiem energetycznym samorzutnego przebiegu reakcji (1) jest osiągnięcie przyrostu entalpii o minimum -300 kJ/mol reduktora [4]. Należy zatem tak dobierać składniki mieszanki egzotermicznej do procesów metalotermicznych, aby spełnić ten warunek. Ponadto efekt cieplny reakcji powinny pokryć straty ciepła związane z podgrzaniem mieszaniny i częściowym stopieniem niektórych jej składników [5].

W przypadku gdy efekt cieplny wywołany przebiegiem reakcji jest zbyt mały należy uzupełnić brakującą ilość ciepła.

W przypadku obróbki pozapiecowej brakująca ilość entalpii może być uzupełniona ciepłem ciekłego stopu. Nie jest to jednak korzystne, następuje obniżenie temperatury roztworu i zmniejszenie rozpuszczalności wprowadzanego składnika stopowego.

Redukcja tlenków metali z aluminium może być przedstawiona przez reakcję [4]:

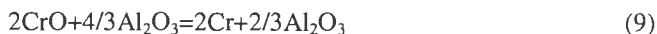
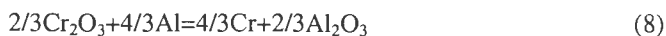
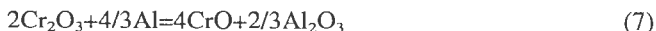


Równanie (3) można rozpatrywać jako sumę algebraiczną reakcji tlenku metalu i aluminium:



$$\Delta Z^0 = \Delta Z_{\text{Al}}^0 - \Delta Z_{\text{Me}}^0 \quad (6)$$

Przykładem może być  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ :



Proces metalotermii posiada wiele zalet takich jak: brak zgaru dodatków stopowych i duży ich uzysk, możliwość stosowania bezpośrednio w piecu, kadzi lub formie odlewniczej, co eliminuje procesy wytwarzania czystych dodatków stopowych. Poza tym efekty cieplne towarzyszące reakcjom egzotermicznym powodują podgrzanie stopu, przez co polepszają się warunki wypełniania formy.

## Cel i zakres i metodyka badań

Celem pracy było wykazanie możliwości kształtowania budowy strukturalnej oraz wybranych właściwości mechanicznych stopu AK7 poprzez jego obróbkę wieloskładnikowymi mieszankami dającymi efekt egzotermiczny. Składniki mieszanki dobrano w sposób zapewniający dostarczenie pierwiastków i związków chemicznych niezbędnych do zmiany mikrostruktury stopu oraz przebiegu reakcji egzotermicznej.

Zakładając, że badane właściwości są funkcjami ciągłymi rozpatrywanych zmiennych i mogą być z dostateczną dokładnością przedstawiane w postaci wielomianu, dla mieszanek o udziałach przedstawionych w tablicy I oraz proszku Al i Mg w badaniach

zastosowano aktywne planowanie doświadczeń, przyjmując plan czynnikowy dla pięciu zmiennych niezależnych:

Tablica 1. Charakterystyka poziomu zmiennych  
Table 1. Characteristics of the variables

Poziomy	Zmienne rzeczywiste w g				
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	NaNO <sub>3</sub>	Bi	ZrC
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
Podstawowy	0,90	0,60	0,90	0,30	0,90
Zmian	0,45	0,30	0,30	0,15	0,45
Wyższy	1,35	0,90	1,20	0,45	1,35
Niższy	0,45	0,30	0,60	0,15	0,45

Formowanie przeprowadzono ręcznie używając masę klasyczną. Mieszanki przeznaczone do obróbki stopu po dokładnym wymieszaniu uformowano poprzez sprasowanie w specjalnie przygotowanej matrycy. Następnie umieszczano je w komorze reakcyjnej formy odlewniczej (metoda Inmold). Wlew główny umieszczono nad komorą reakcyjną i dla zwiększenia ciśnienia metalostatycznego zastosowano nadstawkę. Taki układ gwarantował dobre "wymieszanie" wprowadzonych dodatków z obrabianym stopem.

Stop AK7 topiono w grafitowym tyglu o pojemności 2 dm<sup>3</sup>, umieszczonym w piecu indukcyjnym. Częstotliwość pracy pieca wynosiła 10 kHz, zaś moc maksymalna 50kW.

Formę zalewano na wilgotno 1000 g siluminu o temperaturze 850°C. Ciekły metal, poprzez wlew główny, doprowadzany do komory reakcyjnej inicjował proces redukcji metali z umieszczonych tam pastylek, które przechodząc do stopu powodowały jego ulepszenie. Z komory reakcyjnej metal poprzez układ doprowadzający kierowany był do wnętrza – (próbki wytrzymałościowe) oraz, z umieszczonymi w ich dolnych częściach termoelementami NiCr-Ni [6]. Po wypełnieniu przez stop przelewów, zalewanie formy przerywano.

Po ostygnięciu, odlew wybijano z formy i oczyszczano. Komorę reakcyjną przecinano w celu sprawdzenia wypłukania wprowadzonych kompozycji. W żadnej z badanych komór nie stwierdzono występowania skupisk (pozostałości) mieszanek.

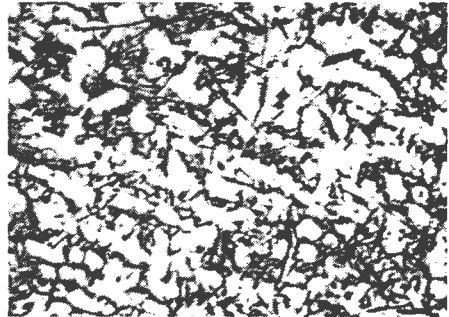
### Wyniki badań i ich analiza

Przykłady mikrostruktur badanego stopu przedstawiono na rys. 1–4. Widoczne są wyraźne różnice w budowie strukturalnej obrabianych stopów. Otrzymano struktury złożone z faz iglasto-ziarnistych Si (rys. 1) jak też z częściowo sferoidyzowaną eutektyką (rys. 4) Stwierdzono różne kształty i wielkości fazy  $\alpha$  przy podobnym stopniu rozdrobnienia eutektyki (rys. 3 i 4). Wraz ze zmianą budowy strukturalnej zmianie uległy analizowane właściwości mechaniczne (rys. 5). Największy wzrost aż o 88% do wartości  $A_5=7.7\%$  w stosunku do stopu wyjściowego otrzymano dla wydłużenia względnego.

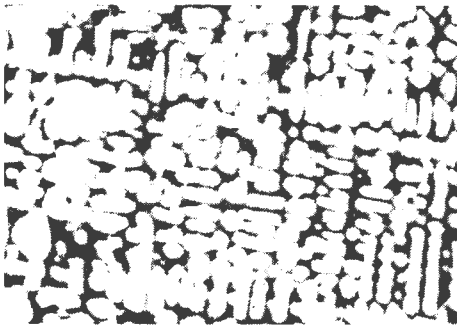
Dla tego parametru otrzymano również wartości gorsze o 34% tj.  $A_5=2.7\%$  od wartości dla stopu wyjściowego. Istotne zmiany otrzymano dla wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$ . Jej wartość wzrosła o 21% do 177MPa, ale dla kilku mieszanek uległa obniżeniu o 10% do 132MPa. Najmniejsze zmiany otrzymano dla twardości HB. Odnotowano wzrost twardości stopu wyjściowego o 18% do 60HB oraz spadek o 1% od 46HB, przy twardości stopu wyjściowego 51HB.



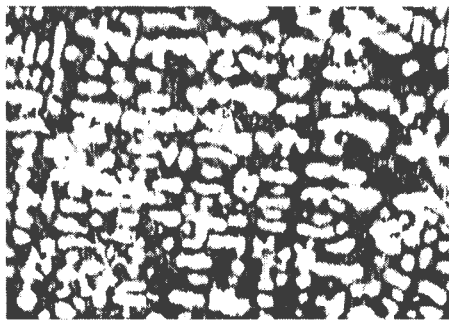
Rys. 1. Mikrostruktura stopu AK7 po obróbce mieszanekami egzotermicznymi. Struktura iglasto-ziarnista. Trawiono Mi8Al, pow. 100x.  
Fig. 1. Microstructure of alloy AK7 after treatment with exothermic mixtures. Acicular-grained structure. Etching with Mi8Al, enlarged. 100x.



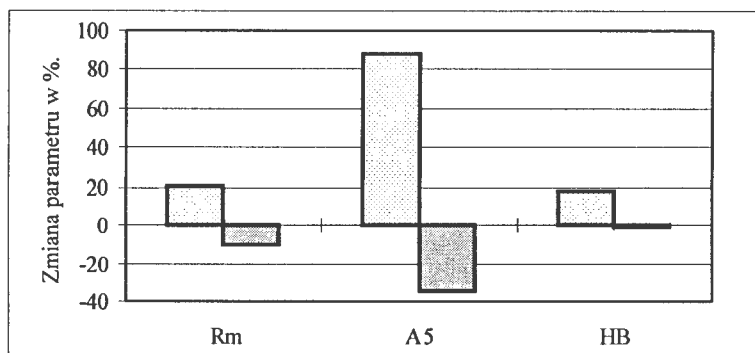
Rys. 2. Mikrostruktura stopu AK7 po obróbce mieszanekami egzotermicznymi. Struktura częściowo zmodyfikowana. Trawiono Mi8Al, pow. 100x.  
Fig. 2. Microstructure of alloy AK7 after treatment with exothermic mixtures. Partly modified structure. Etching with Mi8Al, enlarged. 100x..



Rys. 3. Mikrostruktura stopu AK7 po obróbce mieszanekami egzotermicznymi. Struktura częściowo sferoidyzowana. Trawiono Mi8Al, pow. 100x.  
Fig. 3. Microstructure of alloy AK7 after treatment with exothermic mixtures. Partly spheroidized structure. Etching with Mi8Al, enlarged. 100x.



Rys. 4. Mikrostruktura stopu AK7 po obróbce mieszanekami egzotermicznymi. Struktura częściowo sferoidyzowana. Trawiono Mi8Al, pow. 100x.  
Fig. 4. Microstructure of alloy AK7 after treatment with exothermic mixtures. Partly spheroidized structure. Etching with Mi8Al, enlarged. 100x.



Rys. 5. Zakres zmian Rm, A<sub>5</sub> i HB stopu AK7 po obróbce mieszankami egzotermicznymi  
 Fig. 5. Variation range of Rm, A<sub>5</sub> i HB Ak7 alloy after treatment by exothermic mixtures

### Podsumowanie

Możliwe jest kształtowanie mikrostruktury stopu AK7 mieszankami egzotermicznymi bezpośrednio w formie odlewniczej. Potwierdzono ściśle powiązanie budowy strukturalnej z właściwościami mechanicznymi. Najkorzystniejsze efekty obróbki stopu otrzymano dla mieszanek w których skład wchodziły duże ilości Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NaNO<sub>3</sub> oraz reduktorów Mg i Al. Przy dużych udziałach tych składników otrzymano również obniżenie gęstości stopu.

### Literatura

1. Bydałek A. W.: Oddziaływanie modyfikatorów w trakcie wypełniania form odlewniczych. Krzepnięcie metali i stopów. Katowice 1994, s. 87-90
2. Samsonov G. V., Pobergin V. A.: Metallotermiceskie processy w chemii i metallurgii. Novosibirsk, Nauka, 1971
3. Bogoliubov B.A. i inni: Fizyko-chimiceskije osnovy metallurgiceskich processov. M. Metallurgia, 1964
4. Ljakisjew N. P., Klinier Ju. L. Ignatjenko G. S., Latto S. I. 1978. Aluminiotermia. Metallurgia. Moskwa
5. Warchala T., Borkowski S.: Aluminiotermia w procesie otrzymywania żeliwa niskochromowego. Archiwum Nauki o Materiałach 1988,t.9, z.2
6. Górny Z.: Metale nieżelazne i ich stopy odlewnicze: topienie, odlewanie, struktury, właściwości. T2, cz.4. Instytut Odlewnictwa, Kraków 1995.

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