

## BADANIE PROCESU KRYSTALIZACJI MOSIĄDZU OŁOWIOWEGO MO59 PRZY POMOCY ATD

M. KONDRACKI<sup>1</sup>, J. GAWROŃSKI<sup>2</sup>, J. SZAJNAR<sup>3</sup>, R. GRZELCZAK<sup>4</sup>,  
K. PODSIADŁO<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Katedra Odlewnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska,  
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice

<sup>4, 5</sup> Walcownia Metali Nieżelaznych Sp. z o.o. Gliwice – Łabędy,  
ul. Metalowców 6, 44-109 Gliwice

### STRESZCZENIE

W pracy przeprowadzono kompleksową analizę krystalizacji mosiądzu ołowiowego MO59 pod kątem jego własności technologicznych. Podjęto również próbę uzależnienia udziału fazy  $\beta'$ , który jest jednym z czynników kształtujących własności technologiczne, od punktów charakterystycznych na krzywych ATD. Wskazano możliwość oceny przydatności stopu dla przemysłu na podstawie ilości faz w oparciu o wyniki badań metodą ATD.

*Keywords: leaded brass, MO59,  $\beta'$  phase, TDA, technological properties*

### 1. WPROWADZENIE

Mosiądz ołowiowy MO59 jest stopem o budowie dwufazowej  $\alpha + \beta'$  z wydzieleniami ołowiu. Głównym zastosowaniem MO59 jest armatura domowa i przemysłowa. Ze względu na specyfikę i rodzaj produkcji w tej branży najważniejsze są własności technologiczne wykorzystywanego materiału.

---

<sup>1</sup> mgr inż., [sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl](mailto:sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl)

<sup>2</sup> prof. dr inż., [sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl](mailto:sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl)

<sup>3</sup> dr inż., [sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl](mailto:sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl)

<sup>4</sup> mgr inż., [prezes@wmn.com.pl](mailto:prezes@wmn.com.pl)

<sup>5</sup> mgr inż.

Na własności technologiczne mosiądzu MO59 główny wpływ mają:

- udział ilościowy fazy  $\beta'$ , określający twardość, wytrzymałość i plastyczność stopu; podwyższony udział fazy  $\beta'$  zwiększa kruchość mosiądzu,
- udział ilościowy i rozłożenie wydzieleni ołowiu; ołów jest wprowadzany w celu polepszenia lejności, szczelności odlewów, a przede wszystkim skrawalności materiału,
- udział ilościowy i rodzaj wydzieleni międzymetalicznych pochodzących z zanieczyszczeń; wydzielenia te wpływają głównie na zdolność do polerowania i nakładania powłok – podwyższona zawartość np. krzemków żelaza  $Fe_mSi_n$  może obniżyć przydatność stopu.

Odbiorcy stawiają często w tym zakresie szczególne wymagania co do udziału poszczególnych faz i zanieczyszczeń. Zazwyczaj przyjmuje się następujące warunki odbioru:

- udział fazy  $\beta'$  20 – 50 %
- twardość 80 – 120 HB
- wtrącenia  $Fe_mSi_n$   $d < 5 \mu m$ , udział  $< 0,5 \%$ , nie dopuszcza się nadmiernego zagęszczenia wydzieleni.

## 2. PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ

W prezentowanej pracy wykorzystano wyniki badań zrealizowanych przy współpracy z Walcownią Metali Nieżelaznych Gliwice – Łabędy. Celem badań była analiza procesu krystalizacji mosiądzu MO59, ze szczególnym uwzględnieniem udziału fazy  $\beta'$  oraz identyfikacji wydzieleni typu „wtrącenia twarde”. Badania te obejmowały analizę termiczną i derywacyjną, analizę mikrostruktury oraz pomiary twardości. Analizę przeprowadzono dla szesnastu próbek pochodzących z różnych wytopów.

### 2.1. Analiza termiczna i derywacyjna

Przykładowy przebieg krzywych ATD pokazano na rysunku 1. Przyjęto, że punkt A oznacza temperaturę likwidus, a punkt F koniec krzepnięcia.

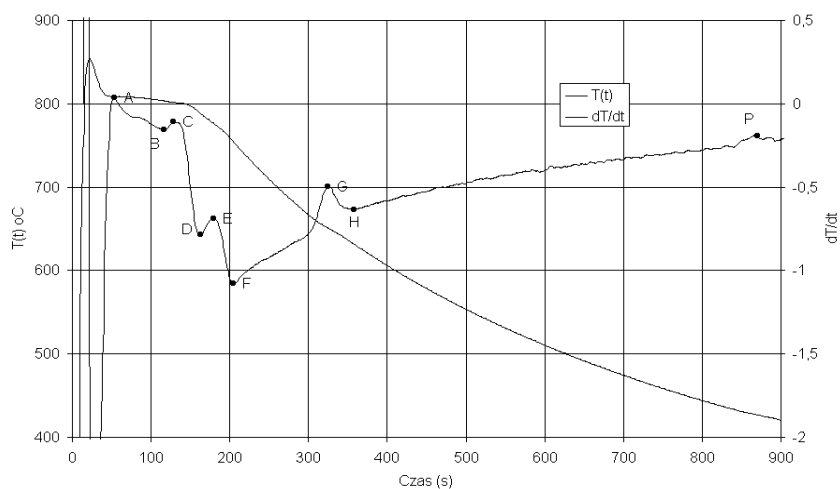
Celem analizy było znalezienie zależności między punktami charakterystycznymi na krzywych i udziałem fazy  $\beta'$ . Pod uwagę wzięto wartości temperatur, wartości pochodnej oraz czasy punktów charakterystycznych. Po przeprowadzeniu analizy statystycznej uzyskano następujące zależności:

Udział  $\beta'$  w funkcji temperatury:

$$\beta' = 135,45 - 0,075 \cdot T_G - 0,2 \cdot T_D + 1,5 \cdot T_F, \quad (1)$$

gdzie  $T_{G,D,F}$  oznaczają temperatury odpowiednich punktów. Parametry statystyczne dla równania są następujące:

Wartość średnia	$\beta'S = 33,91 \%$
Odchylenie standardowe	$\Delta\beta' = 1,38 \%$
Współczynnik korelacji	$R = 0,9482$
Test Fischera	$F = 23,73$
Test Wiarygodności	$W = 7,20$



Rys. 1. Wykres ATD dla mosiądzu ołowiowego MO59  
Fig. 1. The TDA curves of the MO59 leaded brass

Udział  $\beta'$  w funkcji wartości pochodnej:

$$\beta' = 26,27 + 4,9 \cdot A + 6,65 \cdot \frac{K_H - K_F}{K_A - K_H}, \quad (2)$$

gdzie  $K_A$ ,  $K_F$ ,  $K_H$  oznaczają wartość pochodnej w danym punkcie. Parametry statystyczne:

$$\beta'S = 33,38 \%; \Delta\beta' = 1,96; R = 0,8906; F = 29,34; W = 4,03$$

Udział  $\beta'$  w funkcji czasu występowania punktów charakterystycznych:

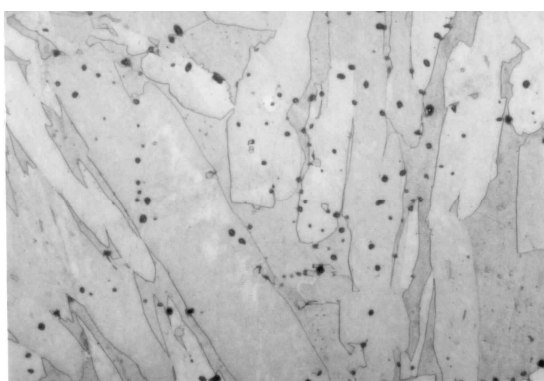
$$\beta' = 5,25 + 0,08 \cdot t_A + 0,2 \cdot t_C - 3,03 \cdot \frac{t_H - t_F}{t_H - t_A}, \quad (3)$$

gdzie  $t_{A,F,H}$  oznaczają czasy występowania określonych punktów charakterystycznych. Parametry statystyczne równania:

$$\beta'S = 33,62 \%; \Delta\beta' = 2,56 \%; R = 0,9799; F = 72,47; W = 18,87$$

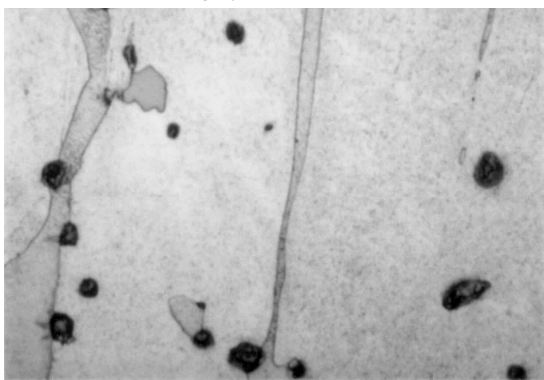
## 2.2. Analiza mikrostruktury

Udział fazy  $\beta'$  określono na podstawie analizy ilościowej przeprowadzonej przy powiększeniu 200 $\times$  na komputerowym analizatorze obrazu. Dla przebadanych próbek udział fazy  $\beta'$  wynosił 28 – 42 %. Rysunki 2 i 3 przedstawiają mikrostrukturę mosiądzu MO59. Na tle nieco ciemniejszej fazy  $\beta'$  widać jaśniejszą fazę  $\alpha$ . Drobne ciemne wydzielenia o zaokrąglonych kształtach to wydzielenia ołowiu. Wtrącenia twarde mają barwę stalowo szarą i nieregularny kształt.



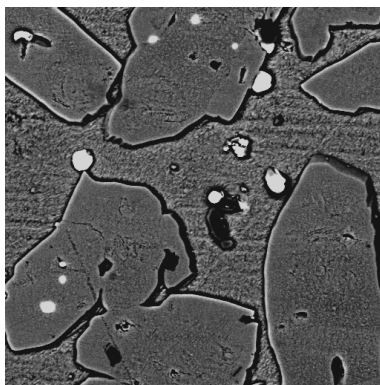
Rys. 2. Mikrostruktura mosiądzu MO59, traw.  $K_3Cr_2O_7$ , 200 $\times$ ; jasna faza  $\alpha$  na tle  $\beta'$ , drobne ciemne wydzielenia Pb oraz szare wydzielienia międzymetaliczne typu twardego

Fig. 2. MO59 brass microstructure, etched  $K_3Cr_2O_7$ , 200 $\times$ ; bright  $\alpha$  phase on the  $\beta'$  background, small dark Pb and gray intermetallic hard inclusions



Rys. 3. Mikrostruktura mosiądzu MO59, traw.  $K_3Cr_2O_7$ , 1000 $\times$   
Fig. 3. MO59 brass microstructure, etched  $K_3Cr_2O_7$ , 1000 $\times$

Ponadto wykonano analizę wydzieleni międzymetalicznych polegającą na określeniu ich wielkości i rodzaju oraz pomiar mikrotwardości metodą Vickersa. Udział oznaczonych wydzieleni nie przekraczał 0,5 %; nie zaobserwowano wydzieleni w kształcie gniazd. Pomiary mikrotwardości przeprowadzono na mikrotwardościomierzu firmy CARL ZEISS. Wykazały one, że znalezione wydzielenia są prawie czterokrotnie twardsze od osnowy (twardość wydzieleni 630  $\mu$ HV, osnowy 170  $\mu$ HV).



Rys. 4. Analiza rentgenograficzna wydzieleni; pole pomiarowe, białe wydzielenia Pb, pozostałe wydzielenia ciemne, 1000 $\times$ ;

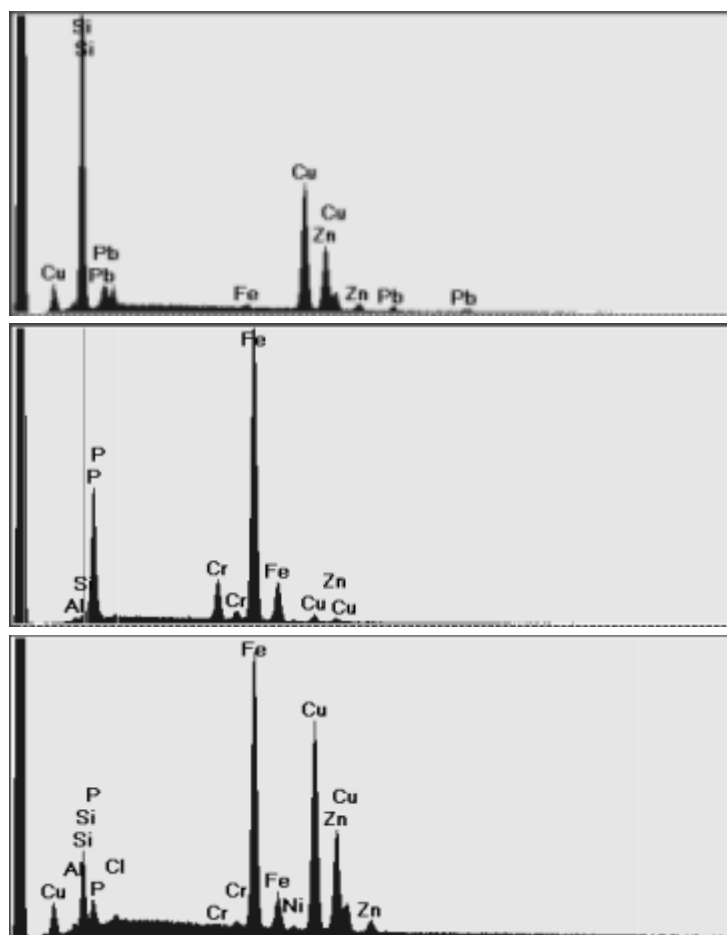
Fig. 4. Röntgenographic analysis of the inclusions; measured field, white Pb, other inclusions dark, 1000 $\times$ ;

W celu zbadania składu chemicznego wtrąceń przeprowadzono analizę rentgenograficzną przy użyciu mikroanalizatora firmy JOEL. Na rysunku 4 pokazano pole poddane analizie; wydzielenia ołowiu zostały zaznaczone na biało, wszelkie pozostałe wtrącenia są zaznaczone na czarno. Na rysunku 5 pokazano widma rentgenowskie oznaczonych wydzieleni.

### 3. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz z analizy uzyskanych wyników można wnioskować:

1. Istnieje możliwość określenia udziału fazy  $\beta'$  na podstawie krzywych ATD. O udziale fazy  $\beta'$  decyduje głównie położenie punktów A i G. Punkt A utożsamiany jest z temperaturą likwidus i decyduje on o przechłodzeniu ciekłego metalu. Punkt G decyduje o intensywności przemiany  $\beta \rightarrow \alpha + \beta$ .
2. Udział  $\beta'$  dla przebadanych próbek spełnia typowe warunki odbioru.
3. Nie stwierdzono występowania szkodliwych wydzieleni krzemku żelaza, a istniejące wydzielenia nie przekraczały 0,5 % udziału.



Rys. 5. Analiza rentgenograficzna wydzieliń – wyniki analizy  
 Fig. 5. Rontgenographic analysis of the inclusions – results

## LITERATURA

- [1] G. Adamski, Z. Bonderek, T. Piwowarczyk: *Mikrostruktury odlewniczych stopów miedzi oraz cynku*, Śląsk, Katowice (1992)
- [2] A.W. Bydałek, K. Dobrowolski: *Wpływ rafinacji żuźlowej mosiądzu MO59 na jakość powłoki ochronnej*, Acta Metalurgica Slovaca vol.8 (2002), str. 210-213

- [3] J. Gwaroński, J. Szajnar, Z. Kalandyk, M Lachowski: *Właściwości mosiądzu MO59 krzepnącego w wirującym polu magnetycznym*, Krzepnięcie metali i stopów, nr 37 (1998) Katowice, str. 131-138
- [4] Z. Górny: *Odlewnicze stopy metali nieżelaznych, przygotowanie ciekłego metalu, struktura i właściwości odlewów*, WNT, Warszawa (1992)
- [5] F. Romankiewicz: *Modyfikacja miedzi i jej niektórych stopów w warunkach procesu metalurgicznego*, Wyd. WSI im. Jurija Gagarina, Zielona Góra (1983)
- [6] K. Sękowski, J. Piaskowski, Z. Wójtowicz: *Atlas struktur znormalizowanych stopów odlewniczych*, WNT, Warszawa (1972)
- [7] M. Tokarski: *Metaloznawstwo metali i stopów nieżelaznych w zarysie*, Śląsk, Katowice (1985)
- [8] B. Wierzbicka, M. Czyż: *Wpływ domieszek występujących w mosiądzach ołowiowych na jakość odlewów*, Acta Metalurgica Slovaca, vol.5 (1999), str. 443-446

#### **CRYSTALLIZATION PROCESS INVESTIGATION OF THE LEADED BRASS MO59 WITH TDA**

##### SUMMARY

This work describes a complex analysis of MO59 leaded brass from technological point of view. Authors tried to find a dependence of  $\beta'$  phase quantity, which is the main factor describing the technological properties and characteristic points of TDA curves. The possibility of suitability evaluation based on TDA of this alloy for fixture industry was shown.

Recenzował Prof. Stanisław Jura