



ZESZYTY STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Możliwości badawcze uniwersalnego symulatora procesów metalurgicznych i obróbki cieplnej UMSA

Mateusz Cichoń ^a, Mariusz Krupiński, Tomasz Tański ^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny
email: mcichon92@gmail.com

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
email: tomasz.tanski@polsl.pl

Streszczenie: W pracy dokonano przeglądu literatury na temat możliwości badawczych symulatora procesów metalurgicznych i obróbki cieplnej UMSA, stosowanego do analizy termicznej metali nieżelaznych oraz obróbki cieplnej materiałów metalowych włącznie ze stalami.

Abstract: The paper is a review of the literature about UMSA's metallurgical and heat treatment simulator investigation possibilities, the UMSA simulator is used to thermal analyzing of non-ferrous alloys and heat treatment of metal materials including steels.

Słowa kluczowe: analiza termiczna, zmienna prędkość chłodzenia, symulator obróbki cieplnej, UMSA

1. WSTĘP

Zgłębianie wiedzy na temat różnych grup materiałowych pozwala na wzrost ich zastosowania w szeroko pojętym przemyśle, w celu poprawienia działania niektórych urządzeń i rozwiązań konstruktorskich. Większość materiałów w wyniku kształtowania struktury i własności poprzez stosowanie, np. zabiegów obróbki cieplnej, czy obróbki plastycznej może wykazać zupełnie nowe własności, o wiele lepsze od własności materiału wyjściowego.

Podstawą do otrzymywania produktów o określonym zespole własności jest wiedza na temat struktury materiału oraz zachodzących w niej procesach w czasie przejścia materiału ze stanu ciekłego w stan stały z uwzględnieniem kolejności krzepnięcia składników strukturalnych. Tego typu informacje można otrzymać na podstawie badań z zakresu analizy termicznej określonych stopów. Znajomość procesów kinetyki krystalizacji oraz obróbki cieplnej wpłynie na uniknięcie błędów w procesie technologicznym na poziomie przemysłowym ograniczając niepożądane straty.

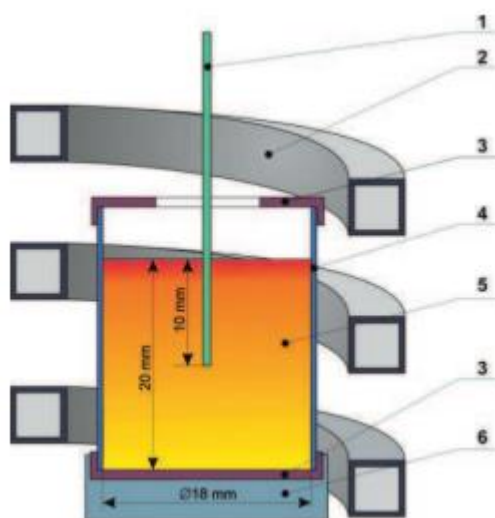
Symulator procesów metalurgicznych i obróbki cieplnej UMSA

Symulator UMSA (Rys. 1) jest urządzeniem służącym do wykonywania fizycznej symulacji procesów topienia, krystalizacji oraz obróbki cieplnej dla próbek pobieranych zarówno z gotowych produktów jak i półproduktów, np. w postaci gąsek czy wlewków. Ze względu na ograniczone możliwości grzewcze urządzenia analizę termiczną można wykonywać dla wybranych stopów metali lekkich, najczęściej na bazie Mg lub Al, itp. Obróbkę cieplną natomiast można wykonywać dla szerszej grupy materiałów włącznie ze stalami. Geometria i rozmiary próbek pozwalają na wykonanie badań strukturalnych oraz badań własności po przeprowadzeniu symulacji. W trakcie procesu istnieje możliwość zastosowania atmosfery obojętnej lub aktywnej, zastosowanie wymuszonego chłodzenia argonem lub studzenie próbek bez wpływu dodatkowych czynników chłodzących. Układ grzejny stanowi cewka indukcyjna w kształcie spirali, która w bardzo krótkim czasie może nagrzać materiał do prawie 1200°C przy stosunkowo niskiej inercji cieplnej próbki (Rys. 2). Próbki o cylindrycznym kształcie można topić w ochronnej folii stalowej lub w tyglach grafitowych, ze względu na wymiary cewki indukcyjnej wymiary próbki są ograniczone [1, 2].



Rys. 1. Symulator UMSA, 1 – komora grzejna z cewką indukcyjną i dyszami chłodzącymi, 2 – komputer z oprogramowaniem, 3 - sterowanie mocą grzania, 4 - sterowanie gazami i cieczami chłodzącymi [1]

Fig. 1. The UMSA simulator, 1 – sample chamber, 2 – PC computer, 3 – temperature control, 4 – gas flow control.



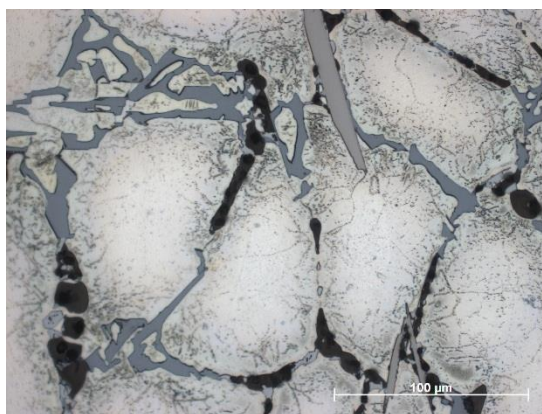
Rys. 2. Schemat układu grzejnego. 1 – termopara, 2 – cewka indukcyjna, 3 – kapsle ochronne, 4 – folia stalowa, 5 – próbka, 6 – izolacja ceramiczna[1]

Fig. 2. Heating system scheme. 1 - thermocouple, 2 - induction coil, 3 - protection caps, 4 - steel foil, 5 - sample, 6 - ceramic insulation[1]

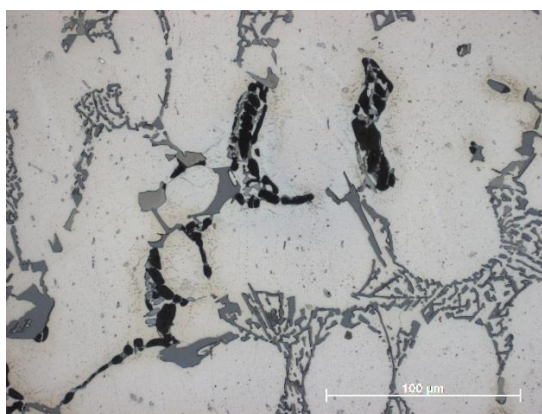
Możliwości badawcze symulatora UMSA – przykłady zastosowania

Badanie wpływu zmiennej szybkości chłodzenia

Przykładowy stop $AlSi7Cu3Mg$ o składzie chemicznym zaprezentowanym w Tabeli 1 poddano badaniom wpływu szybkości chłodzenia na strukturę i własności danego stopu. Eksperyment przeprowadzono na symulatorze procesów metalurgicznych UMSA. Jedna z próbek była studzona swobodnie z prędkością $0,1^{\circ}C/s$, druga próbka chłodzona z wykorzystaniem sprężonego argonu osiągnęła szybkość chłodzenia $1^{\circ}C/s$. Po zakończeniu procesu przeprowadzono obserwację mikrostruktury danych próbek (Rys. 3, 4) oraz zmierzono twardość metodą Rockwella w skali F (Tabela 2). Porównując zbadane struktury można zauważyć, że zwiększenie prędkości chłodzenia wpłynęło na zmianę morfologii wydzieleni oraz ich rozdrobnienie. Krzem w próbce chłodzonej z prędkością $0,1^{\circ}C/s$ występuje w formie podłużnych, iglastych wydzieleni otaczających kryształy fazy $\alpha(Al)$, które z kolei cechuje względna regularność kształtów oraz rozmiarów. Wyraźnie widoczna jest faza Al_2Cu występująca w postaci czarnych wydzieleń wypełniających niektóre wolne przestrzenie na granicach kryształów fazy α . Struktura próbki chłodzonej z szybkością $1^{\circ}C/s$ cechuje się rozdrobnieniem poszczególnych faz. Najbardziej widoczne jest rozdrobnienie fazy $\beta(Si)$ występującej w eutektyce $(Al+Si)$ oraz kryształów fazy α , które przybrały nieregularne kształty o różnych wielkościach[3, 4, 5].



Rys. 3 Struktura próbki chłodzonej z prędkością 0,1°C/s, 500x.
Fig. 3 Structure of sample with cooling rate of 0,1°C/s, 500x.



Rys. 4 Struktura próbki chłodzonej z prędkością 1°C/s, 500x.
Fig. 4. Structure of sample with cooling rate of 1°C/s, 500x.

Tabela 1. Skład chemiczny stopu odlewniczego AlSi7Cu3Mg[5]

Table 1. Chemical composition of AlSi7Cu3Mg casting alloy[5]

Stężenie masowe, w %								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	B
7,98	0,39	3,4	0,21	0,35	0,01	0	0,15	0,0003
Stężenie masowe, w %								
Be	Bi	Ca	Cd	Ti	Pb	Sn	Na	Al
0	0,001 4	0,0001	0,0003	0,15	0,01	0,004	0	reszta

Tabela 2. Wyniki pomiarów twardości stopu AlSi7Cu3Mg[5]

Table 2. Results of hardness investigation of AlSi7Cu3Mg alloy[5]

Próbka Pomiar	0,1°C/s	1°C/s
Pomiar 1	52,2	85
Pomiar 2	69,1	84,1
Pomiar 3	75,3	84,5
Pomiar 4	74,4	83,5
Pomiar 5	68,9	84,9
Pomiar 6	68,1	84,5
Średnia pomiarów	68	84,41

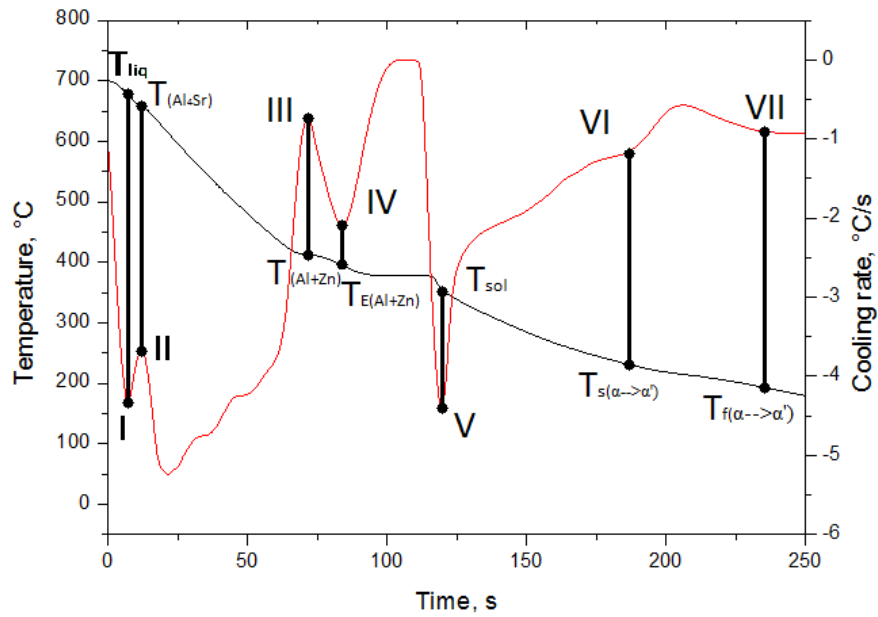
Wyniki pomiarów twardości wykazały, że zwiększenie prędkości chłodzenia do 1°C/s spowodowało wzrost twardości materiału o 24,1% względem próbki studzonej swobodnie. Analiza poszczególnych pomiarów wskazuje również, że próbkę chłodzoną z wykorzystaniem argonu charakteryzuje większa jednorodność struktury, wyniki nie odbiegają od średniej pomiarów, co może świadczyć, że rozmieszczenie faz umacniających stop czyli Al₂Cu oraz β-Si jest bardziej regularne niż w próbce studzonej swobodnie[4, 5].

Analiza termiczno-derywacyjna

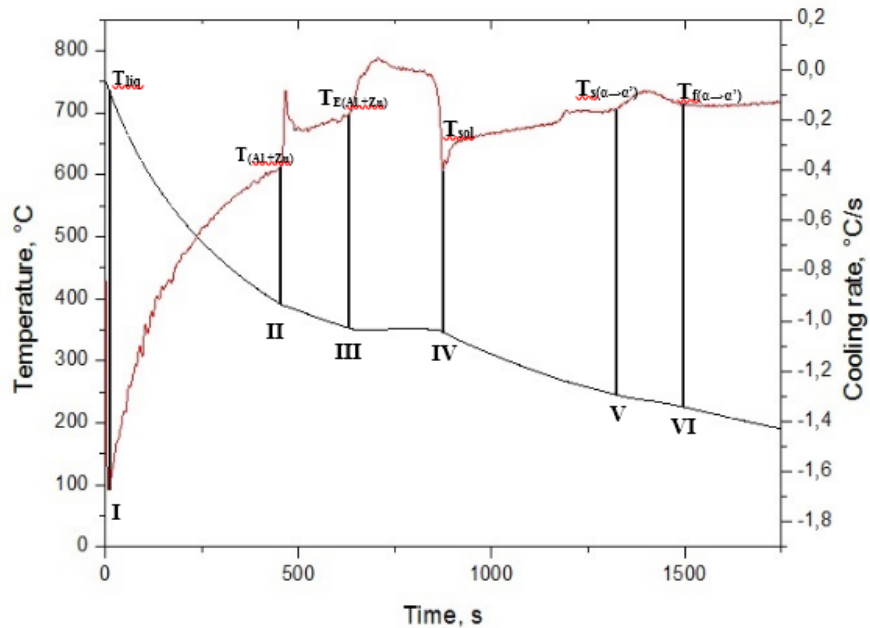
Kolejnym przykładem badań jest analiza termiczna stopów, polegająca na roztopieniu próbki, wygrzaniu w temperaturze docelowej przez określony czas oraz chłodzeniu próbki z określoną prędkością[1, 2].

Rejestracja przebiegu eksperymentu, oraz raport wygenerowany przez urządzenie pozwalają na sporządzenie wykresu krzywej chłodzenia oraz krzywej derywacyjnej. Charakterystyczne przegięcia na krzywej derywacyjnej, oraz chwilowe wstrzymanie spadku temperatury (pomimo wyłączonej cewki indukcyjnej) świadczą o procesach krzepnięcia poszczególnych składników stopu. W odniesieniu do układów równowagi fazowej badanych stopów oraz po mikroskopowej analizie struktury można wyznaczyć kolejność krzepnięcia składników strukturalnych. Ponadto istnieje możliwość obliczenia ukrytego ciepła krystalizacji oraz udział frakcji stałej w czasie krzepnięcia stopu[1, 2].

Przykładowe wykresy analizy termicznej prezentują Rys. 5 i 6, zostały wykonane dla stopów Zn-Al z różnymi dodatkami stopowymi. Oznaczenie charakterystycznych punktów na wykresach pozwala na określenie sekwencji krzepnięcia a zestawienie i analiza wykresów pozwala na zbadanie wpływu składu chemicznego na przebieg krzywej derywacyjnej dla każdego ze stopów. W Tabeli 3 dokonano porównania temperatur, w których poszczególne składniki stopów rozpoczynały krzepnięcie, wyraźnie widoczny jest wpływ składu chemicznego na przebieg krzepnięcia.



Rys. 5. Przykładowy wykres analizy termicznej dla stopu Zn-Al-Cu-Sr.
 Fig. 5. Sample thermal analysis scheme of Zn-Al-Cu-Sr alloy.



Rys. 6. Przykładowy wykres analizy termicznej dla stopu Zn-Al-Cu-Sr.
 Fig. 6. Sample thermal analysis scheme of Zn-Al-Cu-Sr alloy.

Tabela 3. Porównanie temperatur procesów krzepnięcia dla stopów Zn-Al-Cu z różnymi dodatkami stopowymi.

Table 3. Compare of crystallisation temperatures of Zn-Al-Cu alloys with different alloys additions.

	Zn-Al-Cu-Sr	Zn-Al-Cu-Ti-B-Mg
Zarodkowanie fazy α - Tliq	686°C	<750°C
Zarodkowanie fazy η	415°C	390°C
Początek krzepnięcia eutektyki $\alpha+\eta$	377°C	350°C
Solidus – koniec krzepnięcia autektyki	350°C	345°C
Przemiana monotektoidalna w stanie stałym (początek-koniec)	220-190°C	240-220°C

PODSUMOWANIE

Możliwości badawcze uniwersalnego symulatora procesów metalurgicznych i obróbki cieplnej UMSA pozwalają na poznanie procesów zachodzących w stopach metali w trakcie krzepnięcia, z uwzględnieniem doboru prędkości chłodzenia do potrzeb eksperymentu. Informacje z zakresu sekwencji krzepnięcia oraz wpływu zmiennej prędkości chłodzenia usprawnia wdrożenie badanego materiału do produkcji przemysłowej i umożliwi uniknięcie błędów procesowych, które mogłyby zostać popełnione bez odpowiedniej wiedzy pozyskanej z nauki i eksperymentów laboratoryjnych.

LITERATURA

1. Dobrzański L.A., Tański T., Dobrzańska-Danikiewicz A.D., Król M., Malara Sz., Domagała-Dubiel J. : „Struktura i własności stopów Mg-Al-Zn”, Gliwice-Warszawa 2012, Open Access Library.
2. <http://aparatura.polsl.pl/>
3. M. Krupiński, K. Labisz, Z. Rdzawski, M. Pawlyta, “Cooling rate and chemical composition influence on structure of Al-Si-Cu alloys”, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 45/1 (2011) 13-22.
4. M. Krupiński, K. Labisz, L.A. Dobrzański, Z.M. Rdzawski, „Derivative thermo-analysis application to assess the cooling rate influence on the microstructure of Al-Si alloy cast”, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 38/2 (2010) 115-122.
5. Projekt inżynierski, „Mikrostruktura i własności odlewniczego stopu AlSi7Cu3Mg.”, Gliwice, 2015