29/10

Archives of Foundry,
Year 2003, Volume 3, № 10
Archiwum Odlewnictwa,
Rok 2003, Rocznik 3, Nr 10
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

WYZNACZENIE SPEKTRALNEGO CIEPŁA KRYSTALIZACJI BRĄZU B102 I BA1032

J. SUCHOŃ[1], S. JURA[2]
Katedra Odlewnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice

STRESZCZENIE

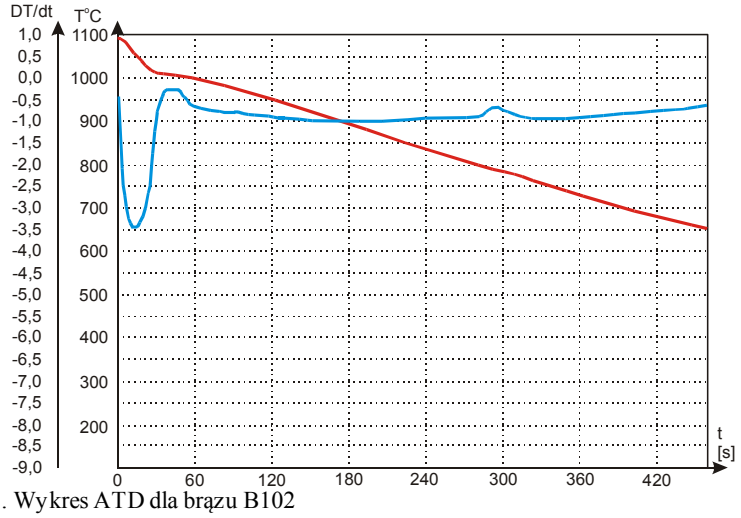
Celem pracy było wykonanie symulacji komputerowej procesu krzepnięcia i stygnięcia dwóch stopów miedzi. Do wykonania symulacji niezbędne było określenie rozkładu ciepła krystalizacji badanych stopów. W ramach pracy wykonano wytopy stopów B102 oraz BA1032 z rejestracją krzywych ATD. Na podstawie krzywych ATD wyznaczono rozkłady ciepła krystalizacji na drodze zadania odwrotnego.

Key words: crystallization, spectral heat of crystallization, simulation

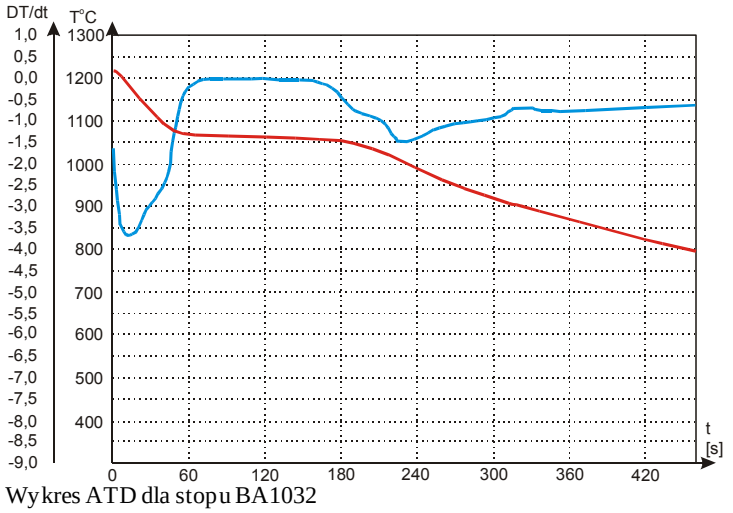
1. PRZEPROWADZONE BADANIA

Podczas badań użyto dwóch rodzajów brązów B102 i BA1032. Wytopy wykonano w piecu indukcyjnym o pojemności 3 l. Do rejestracji pomiarów wykorzystanych aparaturę Crystaldigraph PC. Podczas badań ATD wykorzystano dwa rodzaje próbników ATD–B i ATD–C. Rejestracja dokonana w próbniku ATD-B posłużyła od określenia rozkładu ciepła krystalizacji. Druga do weryfikacji otrzymanego wyniku. Uzyskane podczas wykonywania prób przebiegi stygnięcia zarejestrowane w próbniku ATD-B przedstawiono na rys. 1 i 2.

[1] *dr inż., jsuchon@zeus.polsl.gliwice.pl*
[2] *prof. dr hab. inż.*



Rys. 1. Wykres ATD dla brązu B102
Fig. 1. TDA diagram for bronze B102



Rys. 2. Wykres ATD dla stopu BA1032
Fig. 2. TDA diagram for bronze B1032

2. WYZNACZENIE PARAMETRÓW FUNKCJI CIEPŁA SPEKTRALNEGO

Do opisu ciepła krystalizacji zastosowano funkcję parametryczną. Ogólna postać funkcji ciepła krystalizacji dla jednej fazy ma postać [1,2]:

$$F = A_1 \cdot \frac{A_2 \cdot \exp(A_2(A_3 - T))}{(1+\exp(A_2(A_3 - T)))^2} + \frac{A_4}{1+\exp(A_2(T - A_3))} \cdot \frac{1}{1+\exp(A_5(A_6 - T))} \quad (1)$$

gdzie: A_1 – stała zarodkowania [J/(kgK)],
A_2 – intensywność wydzielania ciepła[1/K],
A_3 – temperatura największego efektu cieplnego [^{o}C],
A_4 – stała wzrostu krzyształów [J/(kgK)],
A_5 – intensywność wyczerpywania ciekłego metalu po zetknięciu się kryształów[1/K],
A_6 – temperatura przejścia w procesie kończenia krystalizacji [^{o}C],
T – temperatura.

Wyznaczenie funkcji ciepła spektralnego dokonuje się poprzez dobranie odpowiednich parametrów funkcji tak, aby wykres symulacji pokrył się z zarejestrowanym wykresem ATD. Do symulacji wykorzystano program „Próbnik" autorstwa dr Z. Jury. Dla symulacji przyjęto dane termofizyczne przedstawione w tabeli 1 i 2.

Tabela 1. Parametry termofizyczne brązu B102
Table 1. Thermophysical parameters of bronze B102

Próbka		B102
Temp. zalewania [°C]		1090
Temp	Likwidus	1004
	Solidus	780
Przewodność λ [W/(mK)]	780	55
	1004	50
Ciepło właściwe [J/kgK]	780	300
	1004	440
Gęstość ρ [kg/m^3]	780	8700
	1004	8700

Tabela 2. Parametry termofizyczne brązu BA1032.
Table 2. Thermophysical parameters of bronze BA1032

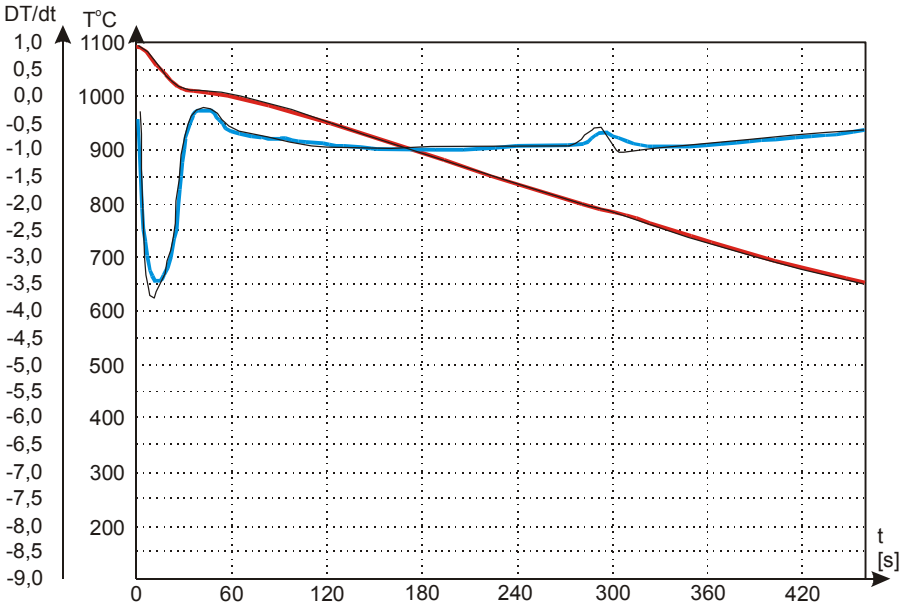
Próbka		BA1032
Temp. zalewania [°C]		1213
Temp	Likwidus	1055
	Solidus	1050
Przewodność λ [W/(mK)]	1050	55
	1055	50
Ciepło właściwe [J/kgK]	1050	355
	1055	440
Gęstość ρ [kg/m^3]	1050	8700
	1055	8700

W wyniku realizacji symulacji komputerowej w zadaniu odwrotnym otrzymano wartości parametrów funkcji ciepła krystalizacji. Otrzymane parametry zestawiono w tabeli 5.

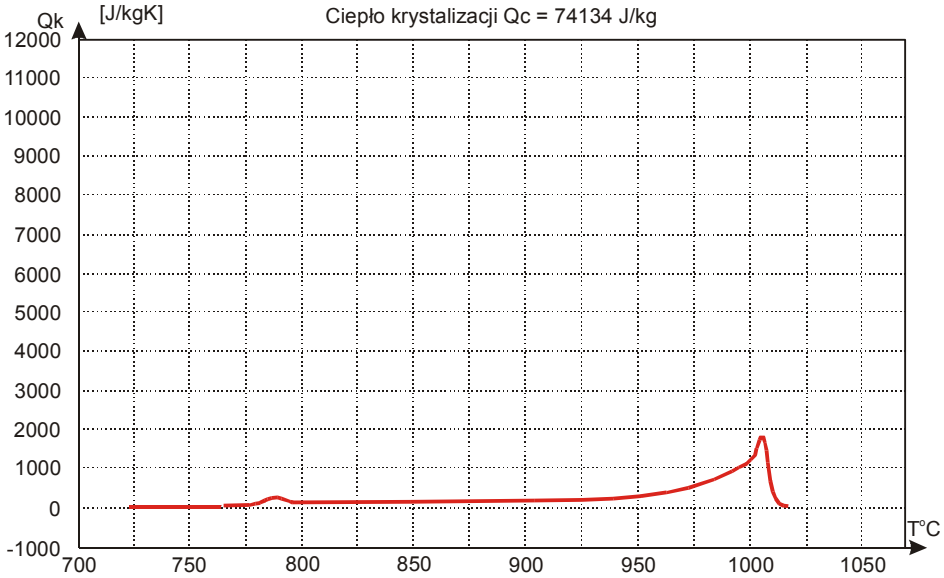
Tabela 3. Parametry funkcji i wartości ciepła spektralnego
Table 3. Parameters of function and value of spectral heat

Lp.	Próba	Faza	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	Q_{sp}
1	BA1032	β	55600	0,38	1055	3000	0,08	1050	95781
			3100	0,20	1022	—	—	—	
		α	2200	0,15	899	—	—	—	
2	B102	α	6000	0,6	1007	—	—	—	74134
				0,05		2400	1	1007	
		β	—	1	—	150	0,05	1007	
			2000	0,37	788	—	—	—	

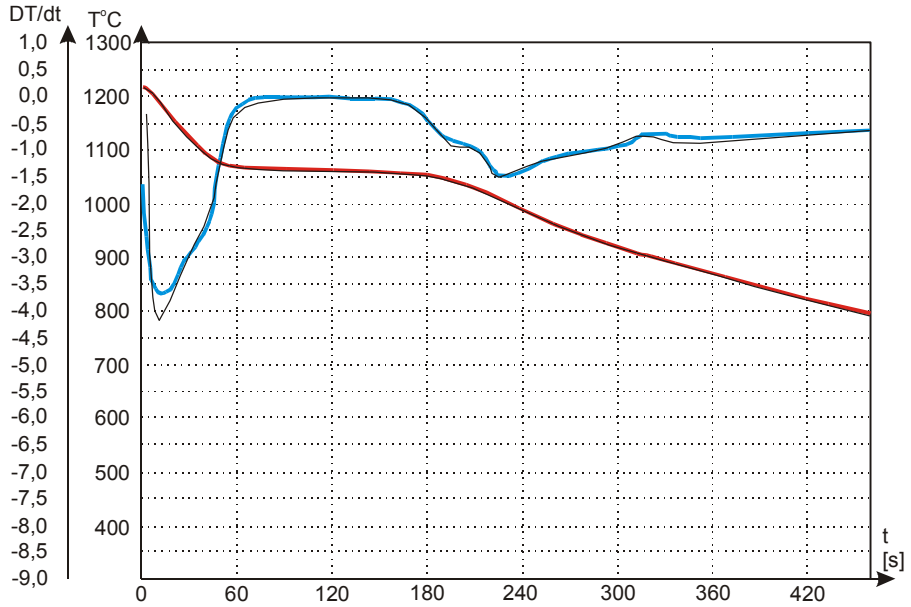
Otrzymane w wyniku symulacji przebiegi krzepnięcia oraz funkcje ciepła spektralnego przedstawiono na rys. 3 – 6.



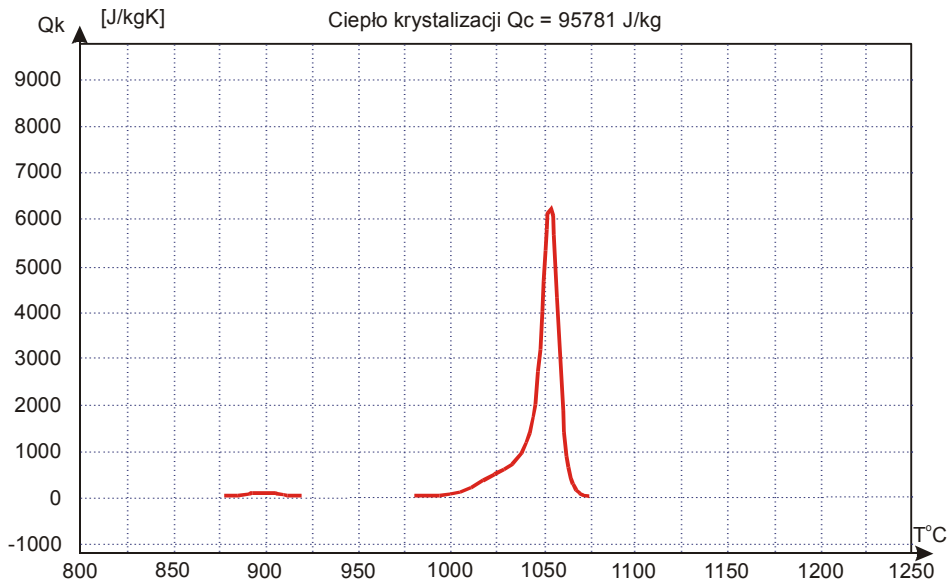
Rys. 3. Symulacja krzepnięcia brązu B102 w próbniku ATD-B w zadaniu odwrotnym
Fig. 3. Computer simulation of solidification of bronze B102 in inverse problem



Rys. 4. Funkcja ciepła spektralnego krystalizacji brązu B102
Fig. 4. Spectral heat of crystallization for bronze B102



Rys. 5. Symulacja krzepnięcia brązu B1032 w zadaniu odwrotnym
Fig. 5. Computer simulation of solidification of bronze B1032 in inverse problem



Rys. 6. Funkcja ciepła spektralnego krystalizacji brązu B1032
Fig. 6. Spectral heat of crystallization for bronze B1032

Uzyskane postaci krzywych opisujących rozkład spektralnego ciepła pozwalają na określenie intensywności wydzielania się ciepła krystalizacji w poszczególnych temperaturach jak również określenie ile ciepła wydziela się podczas krzepnięcia poszczególnych faz badanego materiału. W tablicy 1 przedstawiono ilość ciepła wydzielonego podczas krystalizacji faz badanych stopów.

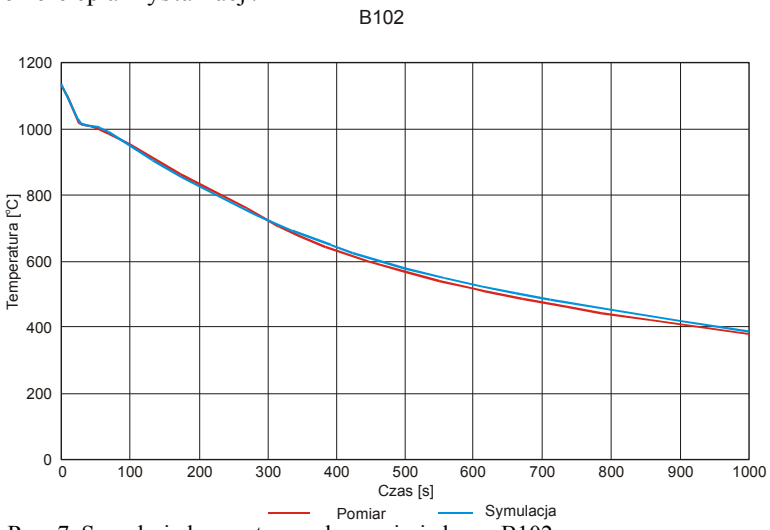
Tabela 4. Ciepło i temperatury krystalizacji faz
Table 4. Heat and temperature of phase's crystallization

Lp.	Próba	Faza	$Q_{cząstkowe}$	$T_{krystalizacji}$	$Q_{całkowite}$
1	**BA1032**	β	86700	1055	95781
			4842	1022	
		α	4239	899	
2	B102	α	27560	1007	74134
		β	46574	788	

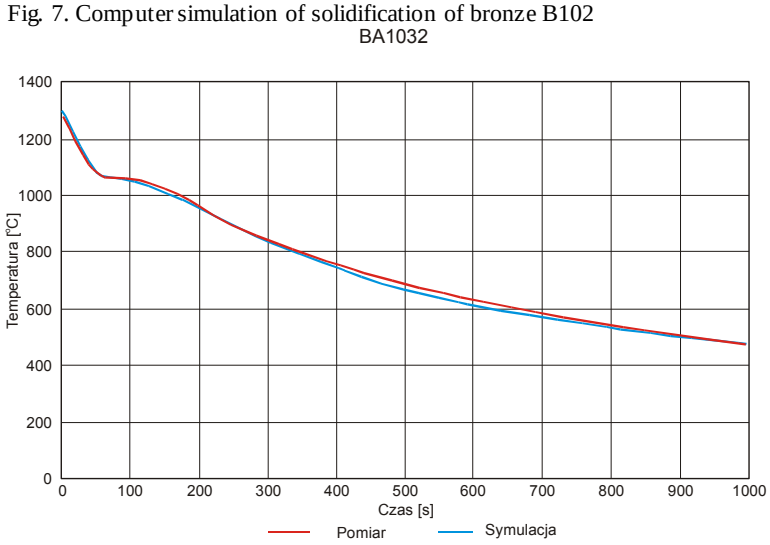
W celu sprawdzenia poprawności wykonania obliczeń przeprowadzono symulację stygnięcia próbnika ATD-C w programie ColdCAST [3]. Do symulacji wykorzystano parametry termofizyczne te same, które zastosowano w zadaniu odwrotnym podczas symulacji próbnika ATD-B.

Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci wykresów stygnięcia na rys. 7 i 8

Analizując otrzymane wykresy można zauważyć, że w fazie początkowej krzywe pokrywają się w zakresie krystalizacji co świadczy o dokładności przeprowadzonej analizy. W dalszej części wykresu krzywe mają tendencję do rozbiegania się, błąd jest bardzo mały i nie ma istotnego wpływu wiarygodność symulacji. Przeprowadzona symulacja potwierdziła poprawność przyjęcia parametrów termofizycznych oraz wyznaczenie ciepła krystalizacji.



Rys. 7. Symulacja komputerowa krzepnięcia brązu B102
Fig. 7. Computer simulation of solidification of bronze B102



Rys. 8. Symulacja komputerowa krzepnięcia brązu BA1032
Fig. 8. Computer simulation of solidification of bronze BA1032

3. WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Zastosowanie próby ATD pozwoliło na określenie parametrów termofizycznych niezbędnych dla symulacji.
2. Analiza kształtu funkcji rozkładu ciepła spektralnego pozwala na przewidywanie ilości wydzielających się podczas krystalizacji faz.
3. Stwierdzono, że wykorzystując metodę ATD istnieje możliwość określenia na podstawie równania krystalizacji ilości powstających faz oraz specyfiki krystalizacji i stygnięcia stopu.

LITERATURA

[1] Z. JURA: *Ciepło spektralne krystalizacji żeliwa*. Krzepnięcie Metali i Stopów, Nr 40, 1999.
[2] S. JURA, Z. JURA: *Spektralne ciepło krystalizacji żeliwa szarego*. Krzepnięcie Metali i Stopów, Nr 44, 2000.
[3] Z. JURA: *ColdCAST – zestaw programów komputerowych do symulacji przepływu ciepła*. Krzepnięcie Metali i Stopów, Nr 30, 1997.

DETERMINATION OF SPECTRAL HEAT OF CRYSTALLIZATION FOR BRONZES B102 TDA BA1032

SUMMARY

The aim of the work was realization of computer simulation of solidification and self-cooling processes of two cooper alloys. For this, obtain the distribution of crystallization heat for researching alloys was necessary. The smelts of B102, B1032 and TDA curve determination have been realized within the confines of presented work. On the basis of TDA curve distributions of crystallization heat have been determined in the inverse problem.

Recenzował dr hab. Jan Szajnar