

ZALEŻNOŚĆ WŁASNOŚCI TERMOFIZYCZNYCH STALIWA OD SZYBKOŚCI STYGNIĘCIA

D. BARTOCHA¹

Katedra Odlewnictwa Politechniki Śląskiej
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice

STRESZCZENIE

W artykule opisano wstępne badania wpływu szybkości stygnięcia na wartości własności fizycznych staliwa w stanie stałym i kształt ich charakterystyk temperaturowych.

Key words: cast steel, thermo-physical properties, computer simulation

1. WPROWADZENIE

Dane termofizyczne wykorzystywane do symulacji komputerowych procesów przepływu ciepła to najczęściej proste charakterystyki temperaturowe. Całkowicie pomija się w nich (z wyjątkiem specjalistycznych programów do obróbki cieplnej) wpływ szybkości stygnięcia na własności fizyczne, które ściśle związane są ze strukturą, a ta jak wiadomo zmienia się w trakcie przemian fazowych determinowanych szybkością stygnięcia. Wpływ szybkości stygnięcia na kształt charakterystyk danych termofizycznych w swoich algorytmach obliczeniowych przedstawia Miettinen [1,2,3]. Algorytmy te bazują na modelach IDS i ADC i służą do obliczeń własności termofizycznych staliw, wykorzystywanych do symulacji krzepnięcia i stygnięcia odlewów. Pozwalają jednak wyznaczyć własności termofizyczne staliwa w bardzo szerokim zakresie temperatury <25;1600>°C. Model IDS (Interdendritic Solidification Model) pierwotnie stworzony był w celu symulacji przemian fazowych krzepnięcia niskostopowych nierdzewnych stali o zawartości 16-20%Cr i 8-14%Ni. Połączenie modelu IDS z modelem ADC (Austenite Decomposition Model), stworzonego do symulacji rozkładu austenitu na struktury zawierające ferryt i cementyt, znacznie rozszerzyło możliwości ich zastosowania. Obecnie w rezultacie zastosowania modelu

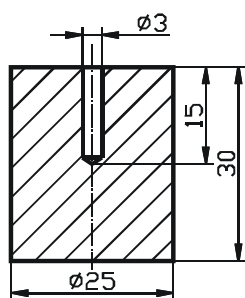
¹ dr inż., dariusz2@zeus.polsl.gliwice.pl

IDS otrzymujemy udziały poszczególnych faz (fazy ciekłej, ferrytu, austenitu, cementytu) w funkcji temperatury (dla zakresu temperatur $<1000;1600>^{\circ}\text{C}$). Dalsze obliczenia, aż do temperatury pokojowej, przeprowadzane są w oparciu o model ADC. Zależności Miettinen'a służą do obliczeń własności termo – fizycznych stali węglowych, niskostopowych i odpornych na korozję na podstawie ich składu chemicznego i zadanej szybkości stygnięcia.

W niniejszej pracy zaproponowano prostą metodę wyznaczania własności termofizycznych materiałów chłodzonych z różnymi prędkościami, podjęto także próbę opisanie wpływu szybkości stygnięcia na przebieg charakterystyk danych termofizycznych.

2. STANOWISKO POMIAROWE

Kształt próbki oraz stanowisko badawcze przygotowano tak aby zarejestrować krzywe stygnięcia próbek stalowych (rysunek 1) nagrzewanych i austenitizowanych w piecu oporowym i chłodzonych tylko poprzez bezpośrednie oddawanie ciepła do otoczenia, jako które stosowano trzy różne media chłodzące.



Rys. 1. Próbką
Fig. 1. Specimen

Dzięki czemu w obliczeniach można stosować tylko współczynnik wnikania ciepła do otoczenia i jest to jedyną wielkość charakteryzującą oddawanie ciepła przez próbkę. W geometrycznym (cieplnym) centrum próbki umieszczano termoelement Ni-NiCr, podłączony do przetwornika i komputera, próbki umieszczane były w piecu w „koszyku” wykonanym z drutu $\phi 0.5\text{mm}$ i tak też próbki były chłodzone w powietrzu, oleju hartowniczym i wodzie.

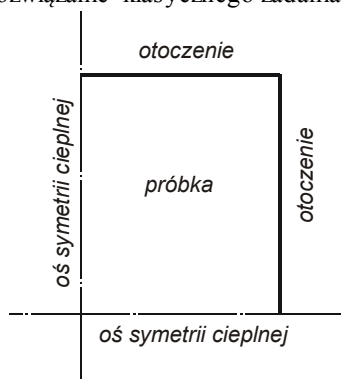
Wykonano 12 prób rejestrując krzywe stygnięcia próbek odlanych z czterech stali, skład chemiczny badanych stali podano w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny badanych stali
Table 1. Chemical composition of testing cast steels

Nr próbki	Oznaczenie	Skład chemiczny [%]									
		C	Cr	Si	Ni	Mn	Cu	P	S	Al	Mo
1	GS30Mn5	0,31	0,24	0,42	0,24	1,27	0,18	0,013	0,008	0,025	0,04
2	L35GSM	0,3	0,08	0,7	0,01	1,32	0,08	0,022	0,021	0,01	0,28
3	L35HM	0,33	1	0,45	0,24	0,66	0,17	0,013	0,007	0,032	0,25
4	L70H2GNM	0,66	1,7	0,53	0,73	0,9	0,17	0,021	0,009	0,029	0,35

3. WYZNACZENIE DANYCH TERMOFIZYCZNYCH

Własności termofizyczne badanych staliw wyznaczone były poprzez rozwiązanie klasycznego zadania odwrotnego.

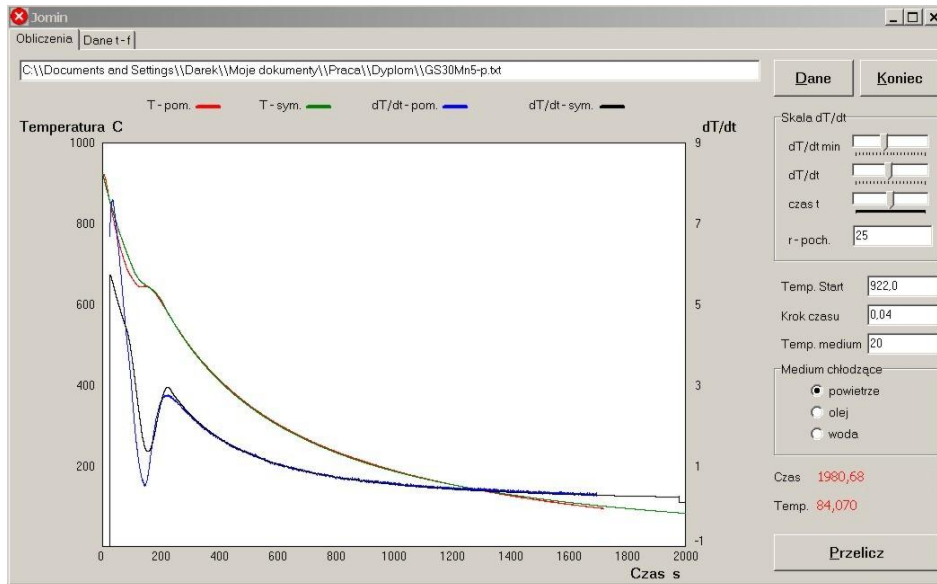


Rys. 2. Model obliczeniowy
Fig. 2. Calculating model

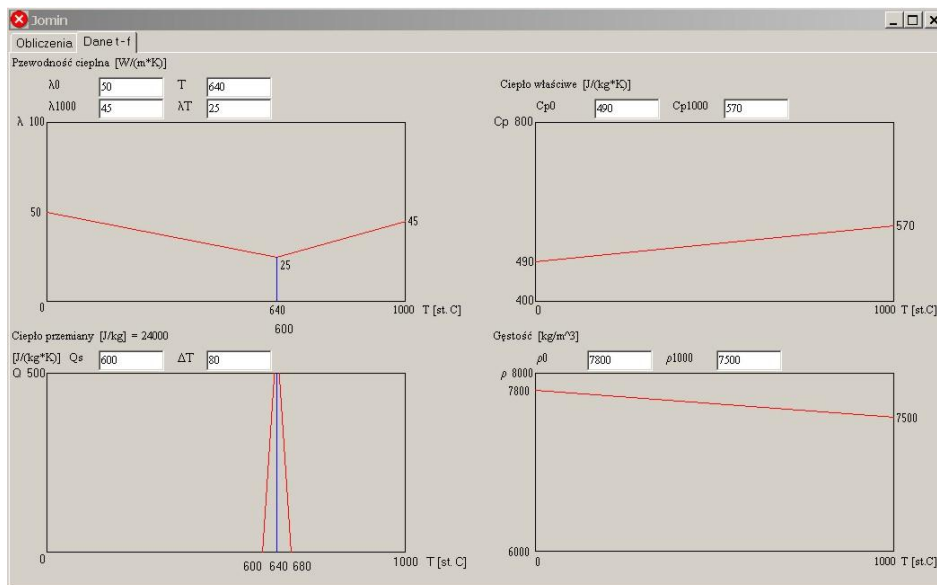
W obliczeniach zamodelowano tylko 1/4 obszaru próbki wykorzystując dwuosiową symetrię cieplną układu, rysunek 2. Do obliczeń wykorzystano autorski program Jomin. W programie istnieje możliwość wyboru medium chłodzącego (otoczenie). Dla poszczególnych mediów: powietrza, oleju i wody na podstawie danych z pracy [4] zaimplementowane zostały wartości współczynnika wnikania ciepła w przedziale temperatury 0 – 1000°C w funkcji temperatury powierzchni próbki odpowiednio: dla powietrza 10 – 100 [W/(mK)], oleju 80 – 1080 [W/(mK)], wody 1000 – 2000 [W/(mK)], a także na podstawie pomiarów prowadzonych w trakcie badań ich temperatury odpowiednio 20, 100, 40°C.

Tabela 2. Wyznaczone dane termofizyczne badanych materiałów
Table 2. Thermophysical data of testing materials determined

Staliwo	Med.	λ_0	λ_{Tp}	λ_{1000}	T_p	C_{p0}	C_{p1000}	ρ_0	ρ_{1000}	Q_{mp}	ΔT	Q_p	T
Gs30Mn5	pow	50	25	45	640	490	570	7800	7500	600	80	24000	920
	olej	50	25	45	250	490	570	7800	7500	420	200	42000	860
	woda	25		45		520	600	7800	7500	0	0	0	850
L35GSM	pow	55	15	45	500	470	550	7800	7500	350	200	35000	900
	olej	55	15	45	250	470	550	7800	7500	450	250	56250	860
	woda	15		45		500	580	7800	7500	0	0	0	860
L35HM	pow	55	10	45	700	500	550	7800	7500	100	50	2500	860
	olej	55	10	45	300	500	550	7800	7500	350	200	35000	860
	woda	10		45		500	550	7800	7500	0	0	0	860
L70H2GNM	pow	45	25	45	100	480	500	7800	7500	400	250	50000	920
	olej	25		45		480	500	7800	7500	0	0	0	900
	woda	25		45		480	500	7800	7500	0	0	0	890



Rys. 3. Główne okienko programu Jomin
Fig. 3. Main user interface of Jomin software

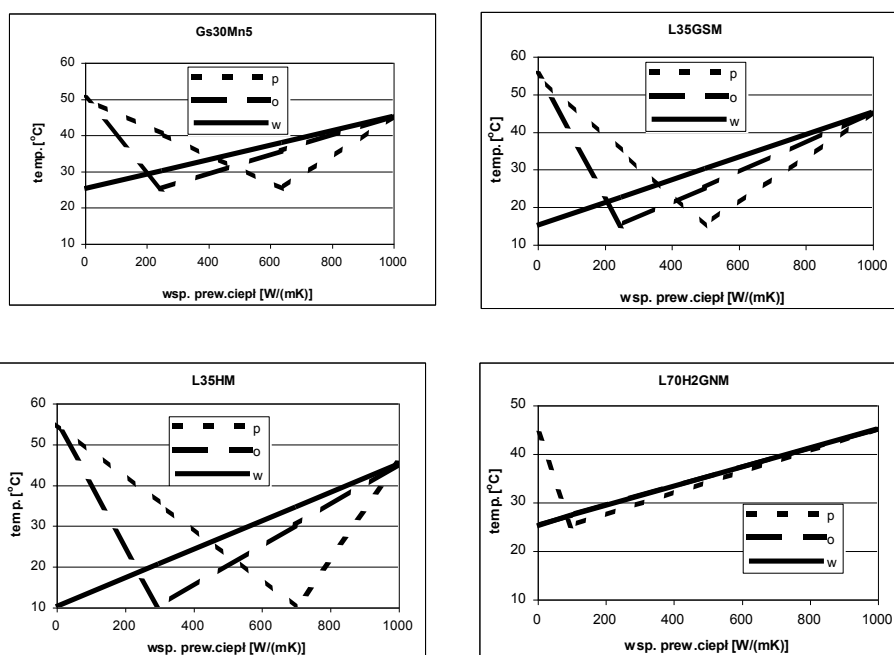


Rys. 4. Okienko edycji danych termofizycznych programu Jomin
Fig. 4. Interface for thermophysical data edition of Jomin software

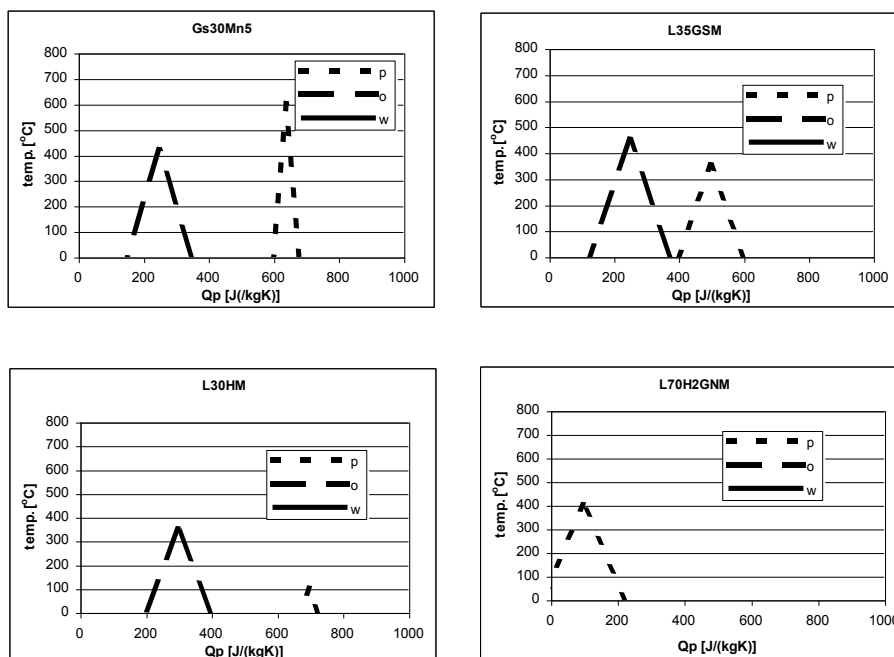
Procedura wyznaczenia danych termofizycznych polegała na wczytaniu do programu zarejestrowanej krzywej stygnięcia próbki, która wyświetlana zostaje na wykresie rysunek 3, doborze warunków początkowo – startowych, a następnie w cyklu obliczeń iteracyjnych na doborze takich wartości charakterystycznych danych termofizycznych, rysunek 4, aby doprowadzić do jak najdokładniejszego „nałożenia” krzywej obliczeniowej na pomiarową i ich pochodnych. W programie zastosowano uproszczoną postać charakterystyk własności termofizycznych na podstawie pracy [5]. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2.

4. ANALIZA WYNIKÓW I WNIOSKI

Wybrane wyniki badań zamieszczone w tabeli 2 w formie liczbowej przedstawiono w postaci wykresów na rysunkach 5 ÷ 7.



Rys. 5. Współczynnik przewodzenia ciepła
Fig. 5. Thermal conductivity coefficient

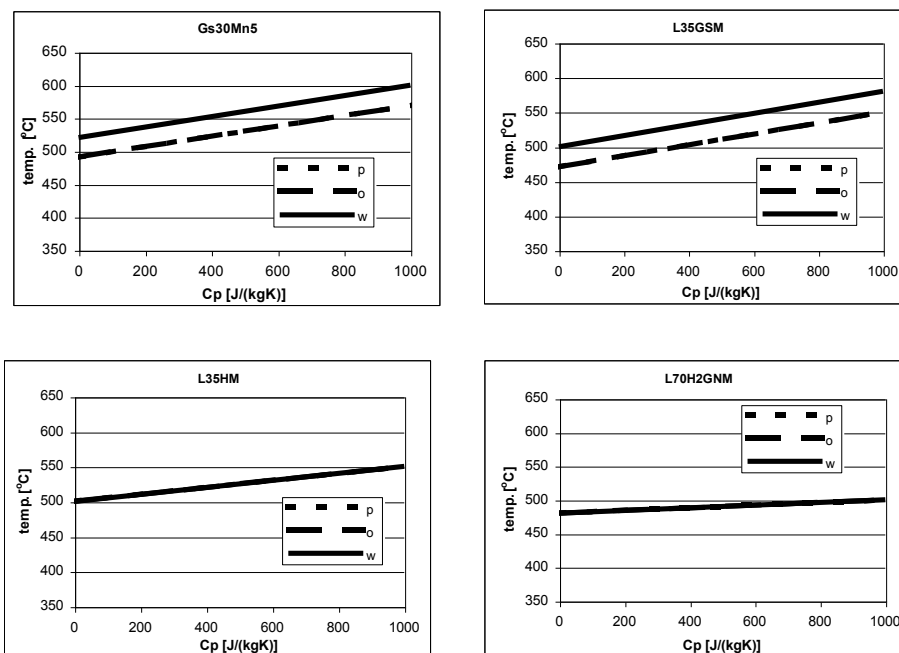


Rys. 6. Ciepło przemiany
Fig. 6. Transformation heat

Na podstawie przedstawionych wyników badań można stwierdzić, że dane termofizyczne silnie zależą od szybkości zmian temperatury. Zależność ta szczególnie silnie uwidacznia się w przypadku współczynnika przewodzenia ciepła oraz charakterystyk wydzielania się ciepła przemiany. W przypadku ciepła właściwego, dla staliwa Gs30Mn5 i L35GSM można zauważyć wyższe jego wartości dla próbek chłodzonych z największą prędkością (w wodzie). Zmian gęstości w funkcji szybkości stygnięcia nie stwierdzono, wielkość tych zmian prawdopodobnie jest bardzo mała.

Z przeprowadzonych w ramach niniejszej pracy wstępnych badań nad wpływem szybkości stygnięcia na przebieg charakterystyk danych termofizycznych wynika, iż taka zależność istnieje i przejawia się z różną siłą dla poszczególnych własności termofizycznych. Wpływ ten różnie przejawia się dla różnych staliw zależy zatem jak i same dane termofizyczne od składu chemicznego staliwa. Fakt istnienia takiego wpływu wymaga uwzględnienia go w bazach danych materiałowych programów symulacyjnych oraz w ich algorytmach obliczeniowych. Wartości własności fizycznych zależą nie tylko od temperatury materiału ale także od

szybkości jego stygnięcia. Dlatego problematyka przedstawiona w pracy wymaga dalszych badań, które pozwolą określić postać funkcyjnych zależności własności fizycznych materiału od temperatury i kinetyki stygnięcia.



Rys. 7. Ciepło właściwe
Fig. 7. Specific heat

LITERATURA

- [1] J. Miettinen: *Calculation of solidification related thermophysical properties for steels*. Metallurgical and Materials Transactions vol. 28B, 1997, 281.
- [2] J. Miettinen: *Simple semiempirical model for prediction of austenite decomposition and related heat release during cooling of low alloyed steels*. Ironmaking and Steelmaking vol. 23 no 4 1996, 346.
- [3] J. Miettinen, S. Louhenkirpi: *Calculation of thermophysical properties of carbon and low alloyed steels for modeling of solidification processes*. Metallurgical And Materials Transaction, vol. 25B, 1994, 909.

- [4] N.I. Kobasko, A.A. Moskalenko, G.E. Totten, G.M. Webster: Experimental determination of the first and second critical heat flux densities and quench process characterization. J.M.E.P. vol. 6, 1997,93.
- [5] D. Bartocha, S. Jura: *Cechy ogólne charakterystyk temperaturowych własności fizycznych staliwa*. Archiwum Odlewnictwa rocznik 3, nr 9, Gliwice 2003.
- [6] D. Bartocha, S. Jura: *A simply method determination data indispensably for computer simulation of hardened*. KMiS vol. 2, no 44, 2000, 23.
- [7] S. Ochęduszek: *Teoria maszyn cieplnych. Tablice*. PWT W-wa 1959.

**DEPENDENCES OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF CAST STEEL
ON SELF-COOLING RATE**

SUMMARY

Preliminaries researches on influent of self-cooling rate on value of thermophysical properties and shape of its temperature characteristics for cast steel in solid state have been described in this work.

Recenzował dr hab. Jan Szajnar