

ZASTOSOWANIE CZYNNIKA STOPOWEGO W ANALIZIE STATYSTYCZNEJ

D. BARTOCHA¹, S. JURA²

Katedra Odlewnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice

STRESZCZENIE

W niniejszej pracy opisano sposób opracowania zależności umożliwiających wyznaczenie danych (własności termofizycznych i wartości parametrów funkcyjnej zależności twardości od kinetyki stygnięcia) niezbędnych do symulacji pola twardości hartowanych odlewów staliwnych na podstawie składu chemicznego staliwa.

Key words: heat treatment, quenching, computer simulation, Jominy test.

1. WPROWADZENIE

Dane materiałowe wyznaczone metodą opracowaną w pracy [1], własności termo – fizyczne i współczynniki równania $HRC=f(S)$, stanowią stosunkowo niewielki zbiór wartości liczbowych (czternaście), przy pomocy których można w pełni scharakteryzować staliwo na potrzeby symulacji efektów hartowania. Niewielka ilość danych wynikowych ułatwia przeprowadzenie ich analizy porównawczej i analizy wpływu zarówno składu chemicznego badanego staliwa jak i parametrów obróbki cieplnej na ich wartości. Przeprowadzając analizę statystyczną reprezentatywnej grupy wyników charakteryzujący grupę materiałów np. staliwa węglowe czy staliwa stopowe można uzyskać uogólnione zależności pozwalające na obliczeniowe wyznaczenie wszystkich danych potrzebnych do symulacji na podstawie składu chemicznego dla założonych parametrów obróbki cieplnej bez konieczności fizycznego wykonywania próby Jominy – M. [2, 3].

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

² prof. dr hab. inż., sermt3@zeus.polsl.gliwice.pl

2. PODZIAŁ STALIW NA GRUPY ZE WZGLĘDU NA WARTOŚĆ CZYNNIKA STOPOWEGO AF

Ogólne zależności służące do obliczeń, na podstawie składu chemicznego staliwa, parametrów niezbędnych do symulacji pola twardości elementów hartowanych określić można analizując statystycznie metodą regresji krokowej zbiór danych przedstawionych w pracy [1]. Aby wyniki obliczeń według wyznaczonych zależności były poprawne i wiarygodne, wyznaczyć je należy analizując dane w obrębie zbioru staliw charakteryzujących się zbliżonymi własnościami z punktu widzenia obróbki cieplnej. Należy, zatem analizować uzyskane wyniki dla staliw pogrupowanych ze względu na podatność na zabieg obróbki cieplnej. Bardzo prosty sposób określenia własności staliwa, przy założeniu, że zależą one głównie od składu chemicznego, na potrzeby obróbki cieplnej zaproponowano w pracy [5] polega on na obliczeniu wartości tak zwanego czynnika stopowego AF (alloy factor) i w zależności od jego wartości przyporządkowanie staliwa do odpowiedniej grupy. Wartość czynnika stopowego oblicza się na podstawie składu chemicznego według poniższej zależności (1)

$$AF = k_{Mn} \cdot k_{Si} \cdot k_{Cr} \cdot k_{Ni} \cdot k_{Mo} \quad (1)$$

wartości poszczególnych współczynników dla pierwiastków wchodzących w skład stopu wyznacza się z wzoru:

$$k_i = A_0 + A_1 \cdot i[\%] \quad (2)$$

Wartości współczynników A_0 i A_1 służących do obliczenia wartości czynników k_i przedstawiono w tabeli 4.1.

Tabela 1. Wartości współczynników A_0 i A_1 służących do obliczenia wartości czynnika stopowego AF

Table 1. A_0 and A_1 coefficients value serve for calculate alloy factor value

P%	A_0	A_1
Mn \leq 1.2	1	3.333
1.2 < Mn \leq 1.95	1.12	5.1
Si	1	0.7
Ni	1	0.363
Cr	1	2.16
Mo	1	3.0

Dla każdego staliwa, dla którego wykonano próbę Jominy – M obliczono wartość czynnika stopowego AF. Wartości czynnika stopowego, numery prób i oznaczenia staliw przedstawiono w tabeli 2, w kolejności rosnących wartości czynnika

stopowego. W tabeli przedstawiono także podział staliw na grupy, którego dokonano ze względu na wartość czynnika stopowego AF.

Tabela 2. Podział zbadanych staliw na grupy za względu na wartość czynnika stopowego AF

Table 2. Division of tested cast steel on groups depending on alloy factor AF value

Nr próbki	Oznaczenie staliwa	AF	Grupa	
24	L47HNM	84.4	I	
26	L70H2GNM	66.4		
27	L70H2GNM	66.4		
34	GS32NiGMo14,4	37.9		
35	GS32NiGMo14,4	37.9		
14	L18HM	34.2		
15	L18HM	34.2		
20	L35GSM	32.1		
21	L35GSM	32.1		
16	L35GSM	30.2		
17	L35GSM	30.2		
22	L35GSM	25.8		
23	L35GSM	25.8		
3	L35GSM	25.3		
4	L35GSM	25.3		
32	L35HM	25.2		
33	L35HM	25.2		
30	GS30Mn5	18.1		II
31	GS30Mn5	18.1		
18	L30GS	15.3		
19	L30GS	15.3		
5	L30H	10.6		
6	L30H	10.6		
13	340-550	7.4		
28	GS52	7.1		
29	GS52	7.1		
10	270-480	6.6		
11	270-480	6.6		
36	GS-C25	4.1		
37	GS-C25	4.1		
38	GS-C25	4.1		

3. RÓWNANIA REGRESJI

Analizie statystycznej metodą regresji krokowej w celu wyznaczenia ogólnych zależności własności termo – fizycznych i współczynników funkcji $HRC=f(S)$ od składu chemicznego staliwa i parametrów austenitacji (czasu austenitacji t_{obr} i temperatury austenitacji T_{obr}), poddano wyniki badań uzyskane dla staliw należących do grupy I i II.

Wynikami przeprowadzonych obliczeń statystycznych jest czternaście zależności dla każdej analizowanej grupy staliw. Opracowane zależności umożliwiają wyznaczenie danych niezbędnych do przeprowadzenia symulacji pola twardości dowolnego hartowanego elementu w programie ColdCast, dla każdego staliwa, które należy ze względu na wartość czynnika stopowego do I lub II grupy.

Zależności dla staliw należących do grupy II podano poniżej a podstawowe parametry statystyczne ich wyznaczenia zestawiono w tabeli 3.

Parametry zależności $HRC=f(S)$, wg ogólnej zależności:

$$HRC = B_0 + B_1S + B_2S^2 + B_3 \ln(S)$$

$$B_0 = -41.325164 + 0.00002546 T_{obr}^2 + 40.399670C^2 - 8151.5592P^2 + 331.09782Al + 0.71289111 Mo^{-1} \quad (3)$$

$$B_1 = 0.44940705 - 303.83757T_{obr}^{-1} + 0.0007t_{obr} - 0.18562040 Cr - 0.05603951 8Mn^2 - 6.1025689M o^2 \quad (4)$$

$$B_2 = 0.000037697820 - 0.00000006T_{obr} + 0.0000219Cr + 0.0000092Mn + 0.000079Al \quad (5)$$

$$B_3 = -4.4553411 + 19.636009t_{obr}^{-1} + 9.0871988C^2 - 9.0841714C r + 6.6550657M n + 6972.4595P^2 + 234.31815M o^2 \quad (6)$$

Dane termo – fizyczne:

- ciepło właściwe w temperaturze 0[°C]

$$C_{p0} = 882.65673 - 0.34294646 T_{obr} + 0.0058t_{obr}^2 + 176.40994Cu + 413.67180Mo \quad (7)$$

- ciepło właściwe w temperaturze 1000[°C]

$$C_{p1000} = 879.04801 - 0.31025151 T_{obr} + 0.0062167t_{obr} - +29.186264C^2 + 768.62374Cu^2 + 7846.5614Al^2 \quad (8)$$

- przedział temperatury wydzielania się ciepła przemiany [°K]

$$\Delta T = 188.36948 - 46.696660Mn + 1009.6705Cu + 736.41925P \quad (9)$$

- współczynnik przewodzenia ciepła [W/mK] w temperaturze 0[°C]

$$\lambda_0 = 35.251924 - 8.2017461t_{obr}^{-1} + 5.9605998C^2 - 9.9784879S i + 17.487918N i - 8.1252380M n - 161.22781P + 98.648110S \quad (10)$$

- współczynnik przewodzenia ciepła [W/mK] w temperaturze 1000[°C]

$$\lambda_{1000} = 42.482931 - 14.899774S i^2 - 962.11344Cu^2 - 43255.760P^2 + 24090.410S^2 + 0.00143639 Al^{-2} + 15.401607M o \quad (11)$$

- współczynnik przewodzenia ciepła [W/mK] w temperaturze przemiany T_p [°C]

$$\lambda_{Tp} = 19.882037 - 0.00206893 T_{obr} - 8.4280344C^2 + 1.09338Cr^2 + 2.4498198S i^2 + 24.056107Cu \quad (12)$$

- jednostkowe ciepło przemiany [J/kgK]

$$Q_s = -189.53741 + 0.0004234T_{obr}^2 - 0.01543001 t_{obr}^2 + 214.23282C + 68.983625C_r + 101.20376M_n - 1836.4564C_u^2 \quad (13)$$

- gęstość [kg/m³] w temperaturze 0[°C]

$$\rho_0 = 7920.9592 - 0.0563417T_{obr} + 0.065478t_{obr} - 211.9424C - 61.365463C_r - 54.65624Si + 688.3908S \quad (14)$$

- gęstość [kg/m³] w temperaturze 1000[°C]

$$\rho_{1000} = 7764.4506 - 188.7616C - 80.5255Si - 1.7188221Mn - 195.047Cu - 1133.652P \quad (15)$$

- temperatura przemiany [°C]

$$T_p = 944.84975 + 58.36529C - 400.7977Si - 772.3117Ni + 64.51957Mn - 4666.225P \quad (16)$$

Tabela 3. Parametry statystyczne zależności 3-16

Table 3. Statistical parameters equations 3-16

Nr równania	Odchylenie Standardowe	Korelacja	Test Fischera	Test wiarygodności	Poziom istotności
3	0.84	0.97	32.19	13.00	0.01
4	0.028	0.88	5.88	2.88	0.01
5	0.000004	0.86	6.53	2.70	0.01
6	0.46	0.98	43.70	20.71	0.01
7	4.44	0.97	42.67	13.82	0.01
8	2.35	0.99	124.19	52.33	0.01
9	3.62	0.99	217.35	60.00	0.01
10	0.23	0.99	429.22	170.26	0.01
11	0.72	0.99	243.36	82.44	0.01
12	0.11	0.99	133.27	37.06	0.01
13	5.65	0.99	90.53	45.77	0.01
14	0.73	0.99	1248.59	576.81	0.01
15	0.73	0.99	1465.13	564.13	0.01
16	1.21	0.99	1221.93	470.59	0.01

4. SYMULOWANA KRZYWA HARTOWNOŚCI

Wykorzystując wyznaczone zależności dla staliw należących do umownej grupy II ze względu na wartość czynnika stopowego AF, którego wartość dla staliwa L40G2M o składzie chemicznym przedstawionym w tabeli 4, wynosi 12.43 określono jego własności termo – fizyczne i współczynniki funkcji $HRC=f(S)$. Obliczone wartości danych do symulacji przedstawiono w tabeli 5.

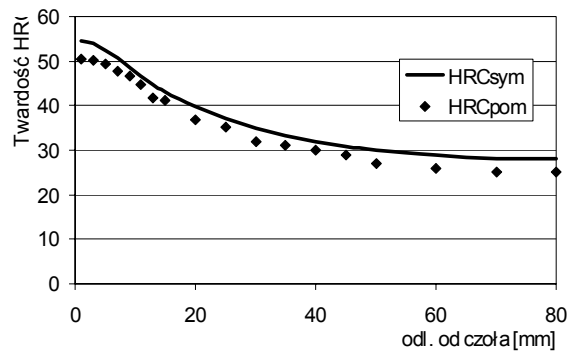
Tabela 4. Skład chemiczny staliwa L40G2M

Table 4. Chemical composition of L40G2M. steel

OZNACZENIE	C	Cr	Si	Ni	Mn	Cu	P	S	Al	Mo
L40G2M	0.45	0.3	0.4	0.3	0.8	0.01	0.01	0.01	0.1	0.15

Tabela 5. Własności termofizyczne i współczynniki funkcji $HRC=f(S)$ obliczone dla staliwa L40G2M czasu austenizacji 120min i temperatury austenizacji 880°C
 Table 5. Thermal and physical properties and parameters of $HRC=f(S)$ calculated for L40G2m steel, heating time 120min and treat temperature 880°C

T_p	Q_s	ΔT	λ_0	λ_{T_p}	λ_{1000}	ρ_0	ρ_{1000}	Cp_0	Cp_{1000}	B0	B1	B2	B3
584.05	114.03												6.116



Rys. 1. Krzywe hartowności symulowana i pomiarowa staliwa L40G2M
 Fig. 1. Hardness curve simulated and measured of L40G2M steel

LITERATURA

- [1] D. Bartocha: Praca doktorska. Gliwice 2002.
- [2] D. Bartocha, S. Jura: *Computer simulation of field of hardened steel casting*. M²E'2000, Gliwice 2000, 39.
- [3] D. Bartocha, S. Jura: *A simply method determination data indispensably for computer simulation of hardened*. KMiS vol. 2, no 44, 2000, 23.
- [4] D. Bartocha, S. Jura: *Zależności parametrów funkcji $HRC=f(S)$ i własności termofizycznych od składu chemicznego staliwa* Archiwum Odlewnictwa rocznik 1, nr 1(2/2), 2001Katowice, 414.
- [5] W. Sitek: Praca doktorska, Gliwice 1997.

APPLICATION OF ALLOY FACTOR IN STATISTICAL ANALYZE

SUMMARY

In this work the way of work out the equations making possibility to determining data (thermal and physical properties and parameters of cooling dependent hardness function) indispensable for hardness field simulation basis on steel's chemical composition has been described.

Recenzował Prof. Józef Gawroński