

Mariusz TABĘCKI

## BADANIA DYLATOMETRYCZNE ŻELIWA SZAREGO ODLEWANEGO DO KOKIL

**Streszczenie.** Przeprowadzono badania dylatometryczne żeliwa szarego odlewanego do kokil. Ustalono temperatury przemian, grafityzacji oraz liniowe współczynniki rozszerzalności cieplnej. Otrzymane wyniki opracowano statystycznie, podając odpowiednie wzory zależności badanych parametrów od składu chemicznego żeliwa oraz średnicy odlewu.

### 1. WSTĘP

Badania dylatometryczne stali i stopów należą do najpopularniejszych metod dokładnego ustalania temperatur przemian zachodzących przy ogrzewaniu lub chłodzeniu. Metoda ta, jako podstawowa, znalazła bardzo szerokie zastosowanie do stali, a obecnie coraz częściej stosowana bywa do żeliw szarych, sferoidalnych, a szczególnie do stopowych. Ogólną tendencją obecnie przeprowadzonych badań jest ustalenie związków pomiędzy temperaturami przemian a np. składem chemicznym. Badania takie np. dla żeliwa sferoidalnego wykonał Bylica [1].

Drugim celem badań dylatometrycznych jest ustalenie współczynnika rozszerzalności liniowej  $\beta$ . Znajomość tego współczynnika jest nieodzowna do określania zmian wymiarowych współpracujących części maszyn wykonanych z różnych tworzyw i pracujących w podwyższonych temperaturach. Szczególne znaczenie ma on w stopach odlewiczych, w których ma decydujący wpływ na powstawanie naprężeń w skomplikowanych odlewach.

Jednym z najciekawszych tworzyw jest żeliwo, które wobec bogactwa faz strukturalnych oraz zdolności grafityzacyjnych, stanowi problem pod tym względem nie całkiem rozwiązany.

Ogół wiadomości na temat współczynnika rozszerzalności liniowej opiera się na podsumowaniach Piwowarskiego [2], Girszowicza [3] oraz Podrzuckiego i Ksley [4]. Z nowszych źródłowych prac należy wymienić badania Piskowskiego [5, 6].

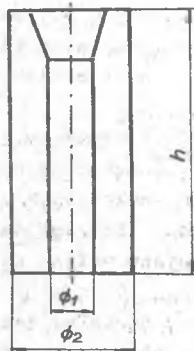
Z ww. prac wynika, że rozszerzalność cieplna żeliwa szarego niestopowego w przedziale temperatur 20-600<sup>o</sup> waha się średnio w granicach  $11-12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Wartość tego współczynnika zależy od składu chemicznego oraz od szybkości krzepnięcia - a więc od struktury. Wg danych Girszowicza współczynnik  $\beta$  wynosi dla różnych składników strukturalnych:

feryt -  $12,5 \cdot 10^{-6}$ ,  
 cementyt -  $6-6,5 \cdot 10^{-6}$ ,  
 austenit -  $18-19,10^{-6}$ ,  
 grafit -  $6,6-8 \cdot 10^{-6}$  (zależnie od kier. krystalograf.).

Z powyższego zestawienia wynika, że żeliwo białe będzie miało znacznie mniejszy współczynnik rozszerzalności, niż żeliwo szare o tym samym składzie chemicznym. Rozpatrując zagadnienie wyłącznie dla żeliw szarych niestopowych, w których krzem i mangan zawierają się w granicach "konwencjonalnych", to stwierdza się, że krzem obniża, a mangan podwyższa współczynnik rozszerzalności. Wpływ pierwiastków stopowych jest zagadnieniem osobnym, gdyż w zależności od rodzaju i ilości dodatku stopowego współczynnik rozszerzalności cieplnej może zmieniać się w dość szerokich granicach.

## 2. MATERIAŁ DO BADAŃ ORAZ PRZYGOTOWANIE PRÓBEK

Materiałem do badań było żeliwo szare modyfikowane, wytopione w piecu indukcyjnym z surówki OB, żelomu stalowego i żelazostopów. Ciekłym metalem o temperaturze  $1360-1410^{\circ}\text{C}$  zalewano formy metalowe.



Rys. 1. Kokila z wymiarami wg tablicy 1

Tablica 1

Wymiary kokil

Wymiar w mm	Nr kokil				
	2	3	4	5	6
$\phi_1$	13	17	26	41	61
$\phi_2$	59	67	86	123	177
h	250	250	300	300	300

Dla zbadania wpływu grubości ścianek odlewu na szukane właściwości, zastosowano 5 różnych kokil o wnękach walcowych (rys. 1), w których wymiar  $\phi_1$  posiadał różne wymiary. W zależności od średnicy odlewu obliczono grubość ścianki kokil ( $\phi_2$ ) wg wzorów Wiejnika. Zestawienie i wymiary kokil podano w tablicy 1.

Na kokile, przed wypełnieniem metalem naniesiono pokrycie ochronne (mieszanka talku i szkła wodnego), a następnie podgrzano je do temperatury  $350^{\circ}\text{C}$ . Odlewy wyjmowano z kokil po całkowitym ostygnięciu.

Do badań zakwalifikowano wyłącznie próbki z tych wytopów, które zkrzepły jako żeliwo szare bez zabielen. Z ogółu wytopów wybrano 18, których skład chemiczny zawarty był w granicach:

węgiel	2,92-3,67%,
krzem	1,57-3,11%,
mangan	0,09-0,81%,
fosfor	0,005-0,175%,
siarka	0,017-0,084%,
wsp. nasyt.	0,877-1,111.

Próbki do badań dylatometrycznych, w ilości 54 sztuk, o wymiarach  $\phi 9 \times 30$  mm pobrano z rdzenia odlewów.

### 3. BADANIA DYLATOMETRYCZNE

Badania wydłużenia i punktów przemian przeprowadzono na dylatometrze bezwzględny JS4 (z rejestracją świetlną na kliszy fotograficznej). Szybkość grzania i chłodzenia regulowana była krzywką, która zapewniła prędkość  $240^{\circ}\text{C}/\text{godz}$ .

Otrzymane dylatogramy opracowano, wyznaczając charakterystyczne temperatury:

- $T_{gr}$  - początku grafityzacji,
- $A_{c1}^p$  - początku przemiany przy ogrzewaniu,
- $A_{c1}^k$  - końca przemiany przy ogrzewaniu,
- $A_{r1}^p$  - początku przemiany przy chłodzeniu,
- $A_{r1}^k$  - końca przemiany przy chłodzeniu.

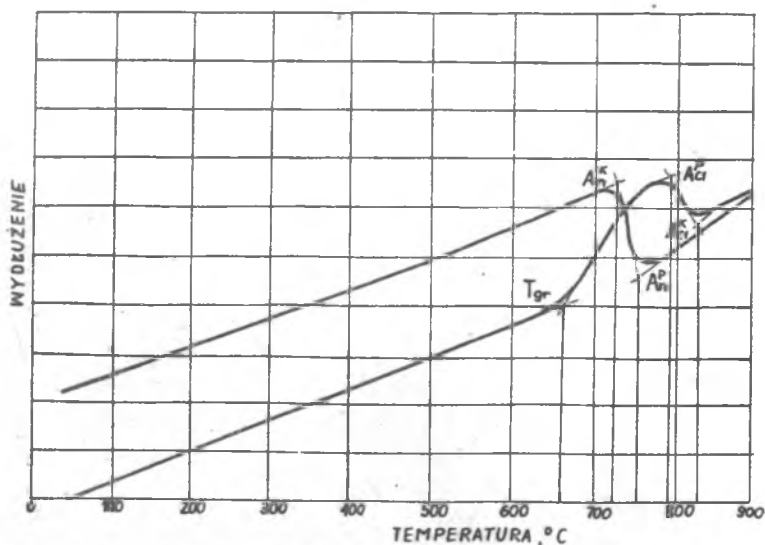
Sposób wyznaczania tych temperatur pokazany jest przykładowo na opracowanym dylatogramie z rys. 2.

Wyznaczenie współczynnika rozszerzalności liniowej dokonano na podstawie wzoru

$$\beta = \frac{1}{l_0} \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

gdzie:

- $l_0$  - długość początkowa próbki,
- $l$  - długość próbki w badanej temperaturze,
- $\Delta t$  - przyrost temperatury.



Rys. 2. Dylatogram żeliwa szarego

Obliczenia te wykonano dla zakresów

20-100°C,

20-200°C itd. do 20-900°C

oraz

20-100°C,

100-200°C itd. do 800-900°C.

Obliczenia takie wykonano zarówno dla ogrzewania, jak i dla chłodzenia.

#### 4. ANALIZA STATYSTYCZNA

Badaniem statystycznym poddano najczęściej spotykane współczynniki rozszerzalności liniowej, tzn. w zakresie 20-100°C oraz 20-600°C przy ogrzewaniu i przy chłodzeniu. W analizie tej szukano zależności pomiędzy współczynnikiem  $\beta$ , a składem chemicznym. Podobnych zależności poszukiwano dla  $T_{gr}$ ,  $A_{ci}^p$ ,  $A_{ci}^k$ ,  $A_{r1}^p$  i  $A_{r1}^k$ .

Obliczenia wykonano na minikomputerze "Wang 2200" metodą krokową, zakładając w pierwszym przybliżeniu równanie liniowe, uwzględniające pełny skład chemiczny oraz średnicę odlewu lub współczynnik nasycenia i średnicę odlewu. Otrzymane wyniki nie dały zadowalających rezultatów (mały współczynnik korelacji), szczególnie przy zastosowaniu równania z współczynnikiem nasycenia  $S_c$ . Z tego względu w dalszych obliczeniach odrzucono  $S_c$  i zmieniono typ równania na

$$y = A_0 + A_1 x_1 + A_2 \ln x_1 + A_3 x_2 + A_4 \ln x_2 + A_5 x_3 + A_6 \ln x_3 + A_7 x_4 + \\ + A_8 \ln x_4 + A_9 x_5 + A_{10} \ln x_5 + A_{11} x_6 + A_{12} \frac{1}{x_6},$$

gdzie:

- $x_1$  - zawartość węgla,                       $x_4$  - zawartość fosforu,  
 $x_2$  - zawartość krzemu,                     $x_5$  - zawartość siarki,  
 $x_3$  - zawartość manganu,                 $x_6$  - średnica odlewu,  
 $A_0, A_1, \dots$  - współczynniki równania regresji.

## 5. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wyniki obliczeń współczynników równania regresji ( $A_0, A_1, A_2$  itd.) dla poszczególnych zależności zestawiono w tabelicy 2. Natomiast statystykę dla równań podano w tabelicy 3. Parametry te wskazują, że zależności są istotne ( $F > F_{\text{kryt}}$ ). Z statystyki wynika, że najlepszą korelację współczynnika rozszerzalności liniowej uzyskano dla zakresu  $\beta_{600-20}$ , którą należy ocenić jako dobrą, pozostałe są słabsze, natomiast dla  $\beta_{20-100}$  bardzo słabą.

Z obliczeń wynika, że węgiel, krzem i siarka obniżają, natomiast fosfor podwyższa wartość współczynnika  $\beta$ . Rola manganu jest niewyjaśniona, gdyż dla małych zakresów temperatur, pierwiastek ten obniża współczynnik rozszerzalności, a przy szerokim zakresie temperatur (20-600°C) - podwyższa. Rola wpływu grubości ścianki odlewu nie jest również jednoznacznie wyjaśniona.

Korelacja punktów charakterystycznych ze składem chemicznym żeliwa jest bardzo dobra. Z obliczeń wynika, że węgiel obniża, natomiast krzem i siarka podwyższają temperaturę punktów przemian w żelwie. Uwagę zwraca wpływ manganu, który powinien obniżać temperaturę. W przypadku  $A_{c1}^k$  ma jednak wpływ dodatni, a dla  $A_{r1}^p$  został odrzucony jako nieistotny. Poza tym zwraca również uwagę fakt istotności wpływu siarki we wszystkich równaniach oraz brak istotności wpływu fosforu.

Szczególną uwagę zwraca temperatura początku grafityzacji. Równanie regresji uwzględniła tylko cztery parametry (C.S, średnicę odlewu oraz  $\ln Mn$ ), dając w efekcie dobrą korelację, a pozostałe parametry zostały odrzucone jako nieistotne. Z obliczeń również wynikało, że z pomierzonych i obliczonych średnie wartości

$$\begin{aligned}
 20-600 &= 12,75 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}, \\
 600-20 &= 11,86 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}, \\
 20-100 &= 9,56 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}, \\
 100-20 &= 9,55 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1},
 \end{aligned}$$

nie odbiegają od wartości podanych w literaturze.

Współczynniki równania regresji

$y$	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$	$A_{10}$	$A_{11}$	$A_{12}$
$\beta_{20-600}$	22,78	-0,73	-	-3,83	12,75	1,59	-1,46	-	-	-62,45	-2,75	-0,006	-
$\beta_{600-20}$	6,84	-12,61	37,51	-11,13	27,97	1,88	-1,81	9,43	-	-9,25	-	2,42	14,15
$\beta_{20-100}$	8,52	-	-	-	2,13	-3,21	-	5,16	-	-	-	-	-
$\beta_{100-20}$	28,55	-	-11,11	-11,50	28,30	-2,35	-	-	-	-32,33	-	-	-
$T_{gr}$	506,23	19,94	-	-	-	-	19,00	-	-	426,58	-	2,09	-
$A_{c1}^D$	170,47	-367,07	1298,84	90,28	-121,89	-16,21	-	-	1,44	1095,37	-37,83	0,15	-
$A_{c1}^D$	260,04	-209,55	799,48	45,98	-	10,70	-	-	-	1097,28	-41,11	-	-
$A_{r1}^D$	-13,12	-432,15	1556,45	44,18	-	-	-	-	-	1461,19	-55,76	-0,26	-
$A_{r1}^k$	502,57	-227,39	768,79	83,35	-101,52	-43,83	-	-294-69	14,71	330,24	-11,91	-0,47	-140,92

Tablica 3

## Statystyka równań

y	Odchyl. standard.		Współczynnik korelacji R	Test F	Krytyczne F <sub>0,05</sub>
	s	%			
$\beta_{20-600}$	0,638	4,99	0,667	4,406	2,12
$\beta_{600-20}$	0,499	4,21	0,806	7,594	2,04
$\beta_{20-100}$	1,218	12,75	0,392	2,970	2,57
$\beta_{100-20}$	1,047	10,96	0,694	8,719	2,30
T <sub>gr</sub>	21,699	3,41	0,825	25,522	2,42
A <sub>c1</sub> <sup>p</sup>	6,564	0,83	0,917	25,409	2,04
A <sub>c1</sub> <sup>k</sup>	6,598	0,80	0,944	69,464	2,23
A <sub>r1</sub> <sup>p</sup>	8,192	1,07	0,913	38,447	2,23
A <sub>r1</sub> <sup>k</sup>	6,338	0,87	0,937	26,743	1,97

## 6. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika, że istnieje możliwość pewnej korelacji współczynnika rozszerzalności liniowej ze składem chemicznym żeliwa szarego odlanego do kokili. Istnieje również bardzo ścisła korelacja pomiędzy temperaturami punktów przemian, a składem chemicznym ww. żeliwa.

Zastosowanie wykonanych obliczeń pozwoli na dokładniejsze ustalenie temperaturowych zmian wymiarów elementów odlewanych z żeliwa w kokili, a także pozwoli na określenie najkorzystniejszych temperatur obróbki cieplnej gotowych wyrobów np. wyżarzania odprężającego, podczas którego nie powinna zajść grafityzacja.

## LITERATURA

- [1] Bylica A.: Praca doktorska. Politechnika Śląska 1967.
- [2] Piwowski E.: Wysokocząstotliwy czugun. Moskwa 1958.
- [3] Girszowicz N.G.: Krystalizacja i swojstwa czuguna w otłiwkach. Moskwa 1966.

- [4] Podrzucki C., Kalata C.: Metalurgia i odlewnictwo żeliwa. Śląsk 1976.
- [5] Piasekowski J.: Rozszerzalność cieplna żeliwa niestopowego i niskostopowego. Mat. VIII Konf. KH PAN 1972.
- [6] Piasekowski J.: Numeryczne określenie współczynników rozszerzalności cieplnej stopów odlewniczych. Pr. Inst. Odlew. Nr 1 Kraków 1971.

ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРОГО ЧУГУНА,  
ОТЛИВАЕМОГО В КОКИЛИ

Р е з ю м е

Проведены дилатометрические исследования серого чугуна, отливаемого в кокили. Определены температуры превращения, графитизации и линейные коэффициенты термической расширяемости. Полученные результаты обработаны статистически и представлены соответствующих формул зависимости исследуемых параметров от химического состава чугуна, а также диаметра отливки.

THE DILATOMETRIC TESTS OF GREY CAST IRON  
CAST INTO PERMANENT MOULDS

S u m m a r y

The dilatometric tests of grey cast iron cast into permanent moulds have been performed. The temperatures of transformations, graphitization, and the linear heat expansion coefficients have been fixed. The results have been statistically handled, defining the adequate formulae of relations of the tested parameters to the chemical composition of the cast iron and to the diameter of the casting.