

ZMĘCZENIE CIEPLNE STALIWA CHROMOWEGO I CHROMOWO-NIKLOWEGO

J. KILARSKI¹, A. STUDNICKI², S. JURA³

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

STRESZCZENIE

W artykule omówiono wpływ węgla, chromu i niklu oraz twardości i skurczu odlewniczego na zmęczenie cieplne staliwa chromowego i chromowo-niklowego.

Key words: thermal fatigue, chromium-nickel cast steel, casting contraction

1. WSTĘP

Jednym z czynników powodujących szybkie niszczenie konstrukcji w wysokiej temperaturze jest zjawisko zmęczenia cieplnego. Szczególnie dotyczy to elementów o złożonej konstrukcji (np. dysze palników energetycznych) wykonywanych dotychczas ze stali typu H24JS lub staliwa czy żeliwa wysokochromowego dla których zmiany temperatury nawet niezbyt raptowne w zakresie 600-1200° C spowodowane chwilowym brakiem przepływu mieszanki pyłowo-powietrznej lub powietrza powodują pojawienie się naprężeń w wyniku których powstają deformacje konstrukcji oraz pęknięcia. Zdeformowane i popękane konstrukcje nie tylko powodują zagrożenie typu awaryjnego, ale przede wszystkim utrudniają regulację procesów spalania i tym samym uniemożliwiają redukcję NOx. Dlatego też podejmuje się próby zastosowania na dysze innych materiałów o mniejszej wrażliwości na zmęczenie cieplne. Niniejsza praca jest próbą poszukiwania stopów odlewniczych bardziej odpornych na zmęczenie cieplne w grupie staliw chromowo-niklowych.

¹ dr inż. sekrmt3@polsl.gliwice.pl

² dr inż. ajstud@polsl.gliwice.pl

³ prof.dr hab.inż. sekrmt3@polsl.gliwice.pl

2. BADANIA WŁASNE

W ramach badań przeprowadzono 3 wytopy staliwa chromowego o różnej zawartości chromu jako stopów porównawczych i 6 wytopów staliwa chromowo-niklowego o zmiennej zawartości węgla, chromu i niklu. Wytopy prowadzono w piecu elektrycznym indukcyjnym o pojemności 20kg. Ciekłe staliwo przegrzewano do ok.1600°C, przelewano do dobrze wygrzanej kadzi i zalewano próbki do form skorupowych. Równocześnie rejestrowano przebieg krzepnięcia oraz skurczu odlewniczego na dylatometrze odlewniczym DO-01/P.Śl.[2]. Składy chemiczne badanych staliw zamieszczono w tabeli 1, a wartości liczbowe skurczu bezwzględnego (Δl_0) i względnego (ϵ_0) oraz współczynnika skurczu (∞) przedstawiono w tabeli 2. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przykładowe wykresy skurczu względnego i współczynnika skurczu. Ponadto przeprowadzono pomiary twardości w stanie surowym po odlaniu HRCs oraz po badaniach zmęczenia cieplnego HRCz. Zmęczenie cieplne (Z) badano metodą hartowania w wodzie z temp. 1000°C próbek walcowych $\phi 25 \times 70$. Jako kryterium oceny odporności na zmęczenie cieplne przyjęto ilość cykli nagrzewania i chłodzenia do momentu zauważenia pierwszego pęknięcia.

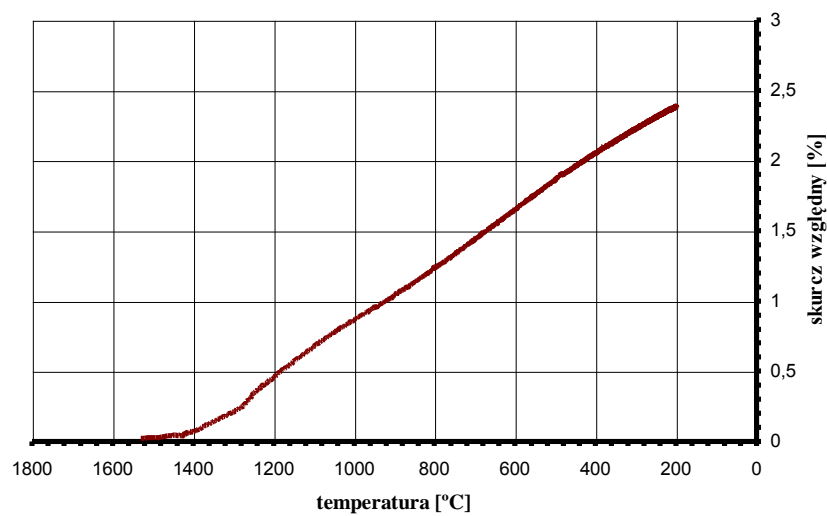
Tabela 1 Skład chemiczny oraz wyniki badań twardości i zmęczenia cieplnego
Table 1 Chemical composition and results of measurement hardness and thermal fatigue

Nr wyt.	Zawartość pierwiastków, %						Twardość			Ilość cykli Z
	C	Cr	Ni	Si	Mn	Cr/C	HRCs	HRCz	Δ HRC	
1	0,65	14,25	0,20	0,75	0,18	21,9	36	56	20	4
2	0,81	18,59	0,31	1,17	0,21	22,9	33	49	16	8
3	0,97	26,28	0,21	1,87	0,20	27,0	29	35	6	16
4	0,70	12,97	8,46	1,20	0,17	18,5	22	27	5	8
5	0,69	16,68	6,03	0,98	0,24	24,1	27	37	10	20
6	0,64	13,92	9,03	0,76	0,19	21,7	25	32	7	13
7	1,20	21,63	5,46	1,26	0,20	18,0	35	37	2	10
8	1,09	23,03	5,39	1,20	0,15	20,9	30	34	4	17
9	0,98	21,58	9,70	1,37	0,17	22,0	22	25	3	20

Tabela 2. Wyniki pomiarów parametrów skurczu.

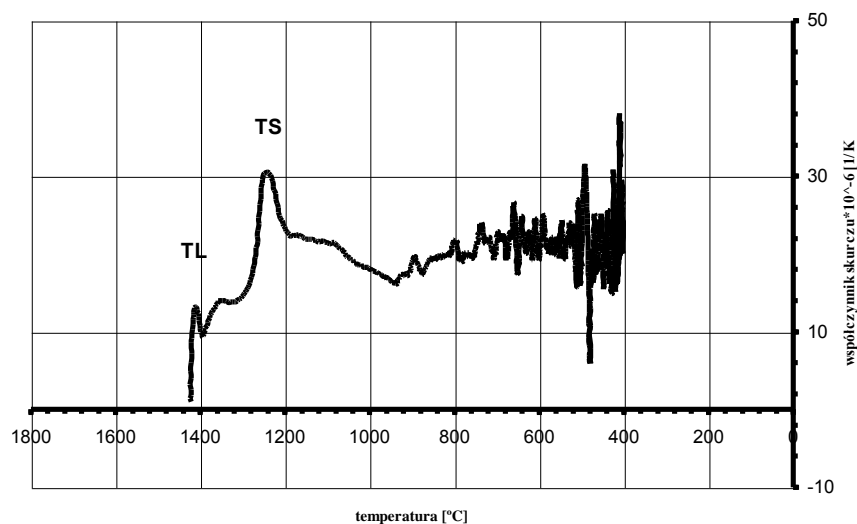
Table 2. Results measurement parameters casting contraction

Nr wytopu	Parametry skurczu					Ilość cykli
	ϵ_0	Δl_0	α_{600}	α_{800}	α_{1000}	Z
	%	Mm	1/K 10^{-6}	1/K 10^{-6}	1/K 10^{-6}	
1	2,691	5,390	20,37	18,80	18,10	4
2	2,723	5,496	22,19	20,53	17,62	8
3	1,990	4,023	14,28	15,99	17,08	16
4	2,941	5,917	19,53	19,15	19,12	8
5	2,818	5,587	21,11	18,33	16,11	20
6	2,846	5,654	22,38	18,82	19,25	13
7	2,836	5,632	21,87	17,43	18,38	10
8	2,771	5,550	19,12	17,98	16,07	17
9	2,677	5,312	18,83	17,88	19,68	20



Rys.1. Wykres skurczu względnego staliwa chromowego-- wytop 2

Fig.1. Diagram of casting contraction of chromium cast steel - melt 2



Rys.2. Wykres współczynnika skurczu staliwa chromowego -- wytop 2
 Fig.2. Diagram of contraction coefficient of chromium cast steel - melt 2

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

W ramach badań przeprowadzono wytopy staliwa chromowego o zróżnicowanej zawartości chromu i chromowo-niklowego w którym zmieniano: węgiel w zakresie 0,6-1,2%, chrom w zakresie 13-23% i nikiel w ilości 5,4-9,7%. Skład stopów był tak pomyślany, aby nie zachodziła w nich w czasie procesu krzepnięcia przemiana w stanie stałym, co sprawdzano za pomocą krzywej stygnięcia.

Analizując składy chemiczne, można zauważyć, że w miarę wzrostu chromu w staliwach chromowych wzrasta odporność na zmęczenie cieplne (Z), zmniejszają się parametry skurczu odlewniczego i stabilizuje się struktura czego efektem jest zmniejszająca się wartość ΔHRC . Wprowadzenie niklu znacznie poprawia odporność na zmęczenie, szczególnie przy równocześnie zwiększonym stosunku Cr/C. W staliwach tych różnice twardości jeszcze się zmniejszają co świadczy o wysokiej trwałości struktury austenitycznej w całym zakresie temperatury. Również obniżają się niektóre parametry skurczu. Dla lepszego zobrazowania zależności pomiędzy zmęczeniem cieplnym a składem chemicznym i parametrami skurczu przeprowadzono statystyczną analizę wyników badań.

4. STATYSTYCZNA ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Analiza statystyczna wyników badań dotyczyła powiązania zmęczenia cieplnego ze składem chemicznym, twardością i niektórymi parametrami skurczu staliwa. W konsekwencji otrzymano zależności przedstawiające liniowy model równania.

I. Zależność zmęczenia cieplnego od składu chemicznego

$$Z = -59,8 + 19,0 \cdot C + 1,68 \cdot Ni + 2,0 \cdot Cr/C \quad (1)$$

o parametrach statystycznych:

- wartość średnia	Z _{śr} = 12,8
- odchylenie standardowe	dZ = 2,14
- współczynnik korelacji	R = 0,95
- test Fischera	F = 17,3
- test wiarygodności	W = 7,12

II. Zależność zmęczenia cieplnego od parametrów skurczu i twardości

$$Z1 = 183 - 109 \cdot \epsilon_0 + 23,7 \cdot \Delta l_0 + 1,1 \cdot \alpha_{800} + 1,1 \cdot \Delta HRC \quad (2)$$

o parametrach statystycznych:

$$Z1_{\text{śr}} = 14,6; \quad dZ1 = 1,0; \quad R = 0,98; \quad F = 62,5; \quad W = 25,5$$

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski i spostrzeżenia:

1. na zmęczenie cieplne istotny wpływ ma skład chemiczny,
2. podwyższone zawartości chromu i niklu radykalnie zwiększają odporność na zmęczenie cieplne i jednocześnie mocno stabilizują strukturę,
3. parametry skurczu mają istotny wpływ na zmęczenie cieplne i maleją wraz ze wzrostem zawartości chromu i niklu.
4. na elementy o złożonej konstrukcji pracujące w wysokich i zmiennych temperaturach powinno się stosować staliwo chromowo – niklowe o składzie chemicznym opisanym zależnością (1).

LITERATURA

- [1] Weroński A. : Zmęczenie cieplne metali. WNT, Warszawa 1972.
- [2] Studnicki A., Jura S., Kilariski J.: Badania żeliwa chromowego na dylatometrze odlewniczym DO-01/PŚl. PAN- Katowice, nr 38, 1998.
- [3] Zych Jerzy.: Ocena zmęczenia cieplnego żeliwa nieniszcząca metodą ultradźwiękową. Krzepnięcie Metali i Stopów. PAN-Katowice nr 31, 1997.

THE THERMAL FATIGUE OF CHROMIUM AND OF CHROMIUM-NICKEL CAST STEEL

SUMMARY

The paper presents the influence of C, Cr and Ni and hardness and casting contraction on thermal fatigue of chromium and chromium-nickel cast steel.

Recenzował Prof. Józef Gawroński