

Andrzej KLESZCZYŃSKI

Stefan NOWAKOWSKI

Instytut Techniki Ciepłej w Łodzi

## BADANIA ZMĘCZENIOWE STALI Z DOMIESZKĄ Cu Z USZKODZONEGO WALCZAKA KOTŁA OP-130

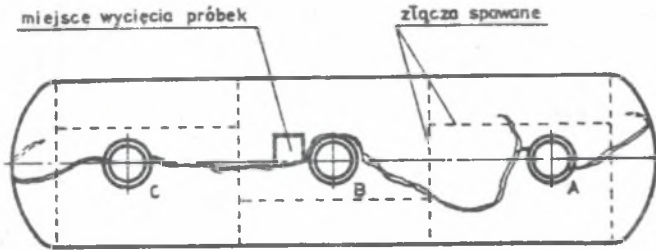
**Streszczenie.** Praca przedstawia wyniki badań zmęczeniowych próbek stali pochodzącej z pękniętego walczaka kotła OP-130. Wstępne przypuszczenia, że przyczyną uszkodzeń było wyzerpanie się żywotności zmęczeniowej materiału, nie potwierdziły się.

### 1. WSTĘP

Walczak kotła OP-130 w EC-III Łódź uszkodzono podczas próby wodnej przy ciśnieniu 14,5 MPa i temperaturze 20°C po wykonaniu prac remontowych. Walczak wyprodukowany w 1963r. przekazano do eksploatacji w 1969 roku, zarejestrowano łącznie 534 uruchomienia instalacji kotłowej z różnych stanów pośrednich do ciśnienia nominalnego 13 MPa oraz łączny czas eksploatacji 108119 godzin w temperaturze 338°C. Jedno z pytań zespołu poawaryjnego było związane ze zmęczeniową oceną materiału ścianek, w wyniku tego została zrealizowana praca [1]. Pracę tę wykonano zgodnie z uprzednio realizowanymi w Instytucie Techniki Ciepłej pracami [2,3] w zakresie badań zmęczeniowych małowyciskowych stali K22MA i jej złącz spawanych dla EJ oraz zgodnie z normą PN-84/H-04334.

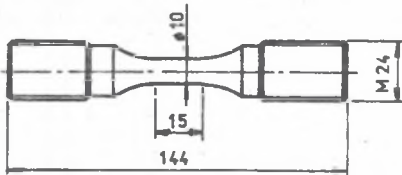
### 2. MATERIAŁ BADANY I WARUNKI PRZEPROWADZANIA BADAŃ

Badany materiał stal 18CuNiMnT pochodziła z piaszcza części cylindrycznej walczaka kotła typu OP-130, wymiary walczaka - średnica zewnętrzna 1880 mm, długość 7500 mm i grubość ścianki 85 mm. Próbkę do badań zostały wycięte z płyty o wymiarach 300x300 mm, usytuowanie płyty przedstawia rys.1, gdzie zaznaczono również przebieg szczeliny pęknięcia. Płyta znajdowała się pomiędzy otworami króćców B i C, skąd wycinano również materiał do innych badań niszczących. 40 próbek o wymiarach wg rys.2 było umiejscowionych w dwóch warstwach - zewnętrznej i wewnętrznej, z oznaczeniem warstwy na każdej próbce.



Rys.1. Widok walczaka od strony króćców

Fig.1. A drum view from pipe connector side



Rys.2. Próbką do badań zmęczeniowych  
Fig.2. A specimen for fatigue testing

Oś próbek była równoległa do kierunku walcowania blach i w przybliżeniu prostopadła do przebiegającej w pobliżu powierzchni szczeliny pęknięcia awaryjnego.

Skład chemiczny badanej stali wg karty materiałowej oraz wg analizy chemicznej dla dwóch warstw wycinania "W" i "Z" zamieszczono w tablicy 1, a własności statyczne wg karty materiałowej w tablicy 2. W obu tablicach umieszczone dane literaturowe o stalach kotłowych służących do porównania własności.

Dla pięciu próbek przed końcową obróbką wykańczającą części pomiarowej - szlifowaniem i polerowaniem wykonano obróbkę cieplną, w wyniku której materiał został "zregenerowany". Polegała ona na normalizacji w temperaturze  $900^{\circ}\text{C}$ , odpuszczaniu i odprężaniu w  $600^{\circ}\text{C}$ . Wyniki prób zmęczeniowych tych próbek służyły jako punkty odniesienia przedstawiające własności materiału w stanie wyjściowym, gdyż oryginalny materiał o strukturze wyjściowej w chwili wykonywania badań nie był już dostępny.

Badania zmęczeniowe prowadzono na 250kN maszynie wytrzymałościowej MTS810.13. W każdej z temperatur 20 i  $338^{\circ}\text{C}$  obciążano 15 próbek przy pięciu poziomach amplitud odkształceń względnych 2; 1,5; 1; 0,8; 0,5% dla uzyskania danych dla określenia charakterystyki trwałości zmęczeniowej (1) i charakterystyki cyklicznego odkształcenia (2).

Tablica 1. Skład chemiczny stali w procentach.

Oznaczenie stali	C Mn	Si P	S Cr	Cu Ni	Ni+Mn Mo	Ti V
18CuNMT [4]	max 0,2 0,70-1,0	0,30-0,50 max 0,04	max 0,04 max 0,3	0,9-1,2 1,0-1,2	1,8-2,1 0,25-0,32	0,03-0,05 -
18CuWMT "W"	0,16 1,09	0,53 0,028	0,015 0,21	1,03 1,20	1,44 0,24	0,04 -
18CuNMT "Z"	0,19 1,13	0,54 0,033	0,018 0,22	1,08 1,25	1,49 0,24	0,04 -
K22MA atest [2]	0,16-0,22 0,93-1,02	0,22 0,015-0,02	0,015-0,018 0,06	- 0,04-0,05	0,34 0,28-0,3	- -
CuNiMo [3]	0,175			0,61 0,65	0,27	
WB35 [3]	0,15 1,61	0,33 0,015	0,006		0,28	0,15

Tablica 2. Właściwości mechaniczne stali kotłowych.

Oznaczenie stali	Temp °C	Re MPa	Rm MPa	A5 MPa	Z %	U J/cm <sup>2</sup>
18CuNMT [4]	20 350	min 392 304-451	540-667	11800/Rm		min 69
K22MA atest [2]	20 350	275-312 165-196	438-485	29-33	62	69-114
CuNiMo [3]	20 350	547 370	652 600	24 21	53 51	57-89
WB35 [3]	20 350	353 320	697 684	23 25	61 68	69-116

Równania tych dwóch charakterystyk są następujące:

$$\epsilon_a = \frac{\sigma_f'}{E} (2N_f)^b + \epsilon_f' (2N_f)^o \quad (1)$$

$$\sigma_a = K' \cdot \epsilon_{ap}^n \quad (2)$$

Oznaczenia poszczególnych wielkości:

$\epsilon_a$  - amplituda odkształceń względnych całkowitych, wielkość zadawana w badaniach,

$\epsilon_{ap}$  - amplituda odkształceń względnych plastycznych,

$N_f$  - liczba cykli do zniszczenia, wielkość wyznaczana w badaniach,

- $\sigma_a$  - amplituda naprężeń średnia, MPa,  
 $\sigma'_f$  - współczynnik wytrzymałości zmęczeniowej, MPa,  
 $E$  - moduł Younga, MPa,  
 $b$  - wykładnik wytrzymałości zmęczeniowej,  
 $\epsilon'_f$  - współczynnik cyklicznego odkształcenia plastycznego,  
 $c$  - wykładnik cyklicznego odkształcenia plastycznego,  
 $K'$  - współczynnik krzywej cyklicznego odkształcenia, MPa,  
 $n'$  - wykładnik krzywej cyklicznego odkształcenia.

Wszystkie parametry noszące powyżej określenie wykładnika lub współczynnika są wyznaczane w wyniku interpolacji wyników badań i mają znaczenie powszechnie przyjęte w tej dziedzinie badań do opisu własności zmęczeniowych danego materiału.

### 3. WYNIKI BADAŃ

Stosując metodę najmniejszych kwadratów w układzie osi logarytmicznych dla jednej temperatury określa się trzy proste regresji dla zależności: amplitud odkształcenia sprężystego od liczby cykli, amplitud odkształcenia plastycznego od liczby cykli oraz amplitud naprężeń od liczby cykli. Dane do określenia powyższych zależności uzyskuje się przez rejestrację pętli histerezy - graficzną na rejestratorze x-y i cyfrową.

Dla badanej stali 18CuNiMT w temperaturze 20° charakterystyki zmęczeniowe posiadają postać:

$$\epsilon_a = \frac{1176}{E} \cdot (2 N_f)^{-0,0672} + 0,766 \cdot (2 N_f)^{-0,711} \text{ mm/mm}$$

$$\sigma_a = 891 \cdot \epsilon_{ap}^{0,0561} \text{ MPa}$$

dla wartości modułu sprężystości  $E = 206000$  MPa.

W temperaturze 338° postacie charakterystyk są następujące:

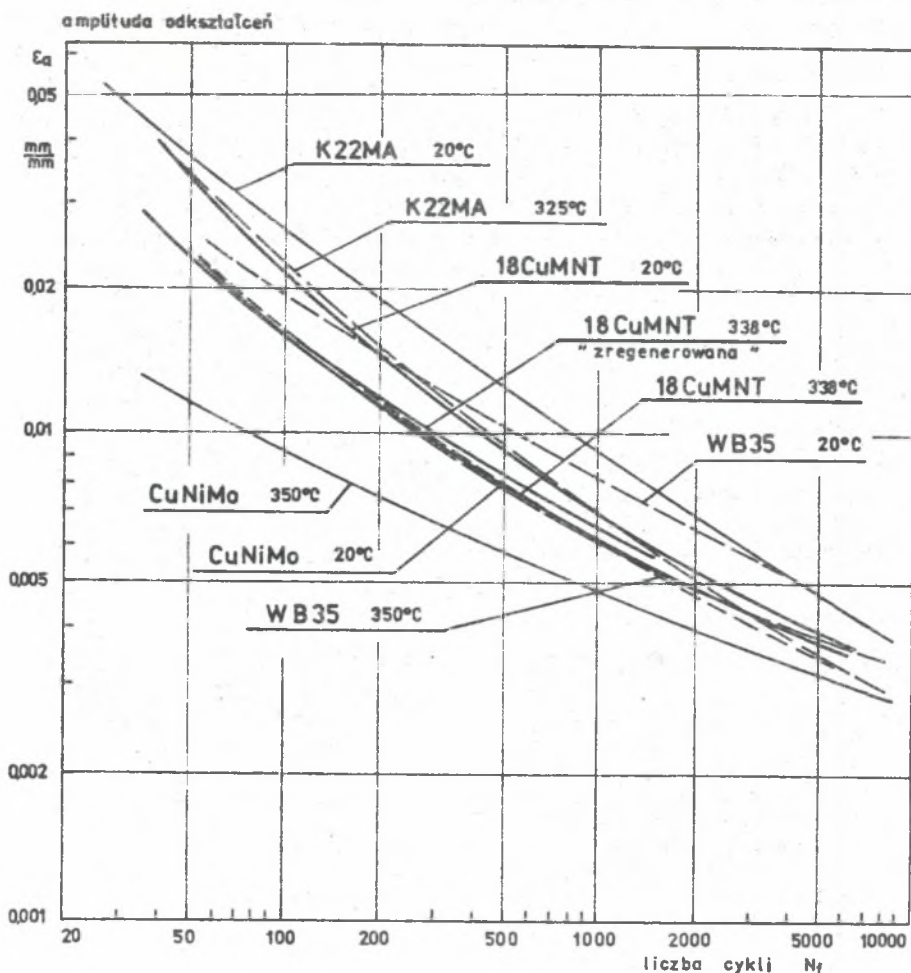
$$\epsilon_a = \frac{955}{E} \cdot (2 N_f)^{-0,0571} + 0,415 \cdot (2 N_f)^{-0,673} \text{ mm/mm}$$

$$\sigma_a = 964 \cdot \epsilon_{ap}^{0,0703} \text{ MPa}$$

dla wartości modułu sprężystości  $E = 178000$  MPa.

W temperaturze roboczej 338°C walczaka badano również pięć dodatkowych próbek, których materiał zregenerowano na drodze obróbki cieplnej.

Łączne charakterystyki żywotności zmęczeniowej trzech powyższych serii próbek widoczne są na rys. 3, gdzie dodatkowo naniesiono dane dla zbliżonych stali walczakowych z danych uzyskanych z literatury.



Rys.3. Charakterystyki żywotności zmęczeniowej stali kotłowych wg badań własnych i danych literaturowych

Fig.3. Strain-life curve of boiler steel, based on our experiments and data given in literature

Krzywa oznaczająca żywotność zmęczeniową stali 18CuMNT w temperaturze 20°C przebiega powyżej krzywej dla temperatury 338°C, co jest normalne dla tego zakresu temperatur, próbki z materiałem "zregenerowanym" tworzą fragmentaryczną krzywą, która jest położona nieznacznie powyżej materiału o strukturze rzeczywistej.

Przeprowadzona dla każdej z temperatur badań interpolacja wyników danych osobno dla próbek wyciętych z warstw walozaka: wewnętrznej - 7 próbek i zewnętrznej - 8 próbek wykazała, że nie występuje wyraźne zróżnicowanie własności zmęczeniowych - tzn. uzyskane charakterystyki pokrywają się w granicach pasma rozrzutu wyników.

## 7. WNIOSKI

1. Przebieg charakterystyk trwałości i wartości parametrów zmęczeniowych określone na próbkach wyciętych z płaszcza walczaka o grubości 85 mm /odległość od powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej większa od 10 mm/ wskazują, że przyczyną awarii walczaka nie było wyczerpanie zmęczeniowe materiału podstawowego płaszcza walczaka. Świadczy o tym położenie charakterystyk badanego materiału po eksploatacji pośród krzywych wyznaczonych dla podobnych materiałów w stanie wyjściowym.

2. Stwierdzony w badanym materiale obraz zniszczeń zmęczeniowych odpowiadający historii obciążeń związanej z 534 rozruchami z różnych stanów do temperatury 338°C pozwala ocenić z dużym prawdopodobieństwem, że analogiczna dalsza historia obciążeń nie spowodowałaby wyczerpania pozostałego zapasu żywotności zmęczeniowej.

Uwagi te z racji zakresu badań nie dotyczą: materiału podstawowego w warstwach przypowierzchniowych poniżej 10 mm, materiału złączy spawanych i ich sąsiedztwa, miejsc koncentracji naprężeń, jak również innych nieoczywistych sposobów obciążania i temperatur spoza zakresu badań 20-338°C.

## LITERATURA

- [1] Kleszczyński A.: Badania zmęczeniowe niskocykliczne materiału walczaka kotła nr 2 typ OP-130 w EC-III Łódź. Praca Energoitecs E-27/AK/89 Łódź 1989, niepublikowana.
- [2] Kleszczyński A.: Badania zmęczeniowe stali K22MA. Praca ITC nr ewid. 4351. Łódź 1981, niepublikowana.
- [3] Wellinger Von K., Luft G.: Wechselverformungsverhalten von Stählen. VGB Mitteilungen, Heft 1, Februar 1968, s. 33-45.
- [4] Karta materiałowa. 18CuNMT. Stal niskostopowa do pracy w podwyższonych temperaturach. Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice. 1966.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Ludwik Cwynar

УСТАЛОСТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ СТАЛИ С ДОБАВКОЙ Cu  
ИЗ ПОВРЕЖДЕННОГО БАРАБАНА КОТЛА ОР-130

Р е з ю м е

Представлены результаты усталостных испытаний образцов стали поврежденного барабана котла ОР-130. Предварительные предположения, что причиной повреждений являлось израсходование ресурса усталостной долговечности материала не нашли подтверждения.

LOW-CYCLE FATIGUE TESTING OF COPPER STEEL FROM  
DAMAGED DRUM OF BOILER TYPE OP-130

S u m m a r y

The paper presents the results of fatigue of steel specimens from cracked drum of boiler type OP-130. Preliminary assumptions that the damage was caused by fatigue life exhaustion of the material were not confirmed.