

Manfred SZOPA

Centralne Biuro Konstrukcji Kotłów
w Tarnowskich Górach

BADANIA UMOŻLIWIAJĄCE DOPUSZCZENIE KOTŁA K-1 DO RUCHU PO AWARII
WALCZAKA BLIŹNIACZEGO KOTŁA K-2

Streszczenie. W referacie opisano rozerwanie walczaka w czasie próby ciśnieniowej kotła K-2 w EC-3 Łódź. Przedstawiono związane z tym badania mające na celu ustalenie przyczyny awarii. Naświetlono także zakres przeprowadzonych badań na walczaku kotła K-1, mające uzasadnić techniczną i eksploatacyjną przydatność wspomnianego walczaka i uzyskać jego dopuszczenie do ruchu. Podano zalecenia mogące chronić walczaki przed takimi awariami.

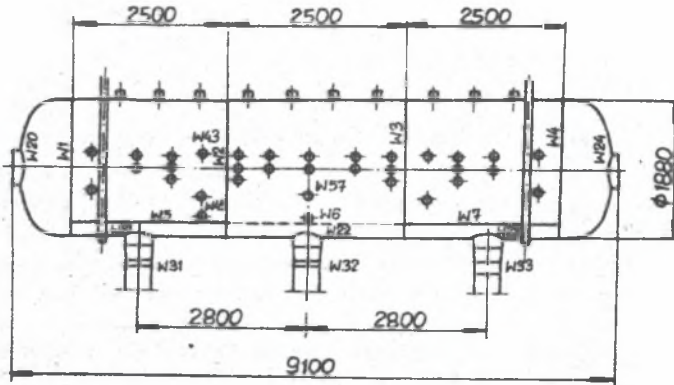
1. WSTĘP

Kotły K-1 i K-2 są kotłami parowymi, dwuciągowymi z naturalnym obiegiem wody typu OP-130; ich podstawowe dane to:

- wydajność maksymalna trwała - 130 t pary/h,
- ciśnienie pary przegrzanej za przegrzewaczem - 12,5 MPa,
- temperatura pary przegrzanej na wylocie - 540 °C,
- rok produkcji kotłów odpowiednio 1962 i 1963,
- w eksploatacji są od roku 1969,
- kotły przearcowały: K-1 105448 godzin; K-2 108119 godzin,
- liczby rozruchów ze stanów zimnych i ciepłych wynoszą odpowiednio 734 i 534,
- liczby prób ciśnieniowych odpowiednio 22 i 25.

Walczaki kotłów wykonano o wymiarach 1880 x 85 x 7500 mm ze stali gatunku 18CuNMt na ciśnienie obliczeniowe 14,5 MPa i temperaturę 338 °C.

/patrz rys. 1/.



Rys. 1. Walczak kotła OP-130

Fig. 1. Drum of boiler OP-130

2. BADANIA WALCZAKA KOTŁA K-2 PO AWARII

2.1. Przeprowadzone naprawy

W okresie eksploatacji kotła, walczak podlegał rutynowym badaniom diagnostycznym. Ujawnione pęknięcia na bieżąco usuwano przez szlifowanie. Na uwagę zasługuje jednak naprawa spoin króćców centralnych rur opadowych o wymiarach 420 x 60 mm ze stali gatunku 16M. Zaistniałe pęknięcia usunięto, a wnęki po operacji szlifowania napawano. Napawanie odbywało się przy podgrzaniu ścianki walczaka do temperatury około 200 °C, a po jego ukończeniu przeprowadzono wyżarzanie odprężające napoin. Do grzania i wyżarzania użyto nagrzewnic indukcyjnych. Proces naprawy zatwierdzono w IDT Łódź i zgodnie z orzeczeniem w protokole wykonawcy naprawę przeprowadzono zgodnie z zatwierdzoną technologią [1].

2.2. Zaistnienie awarii

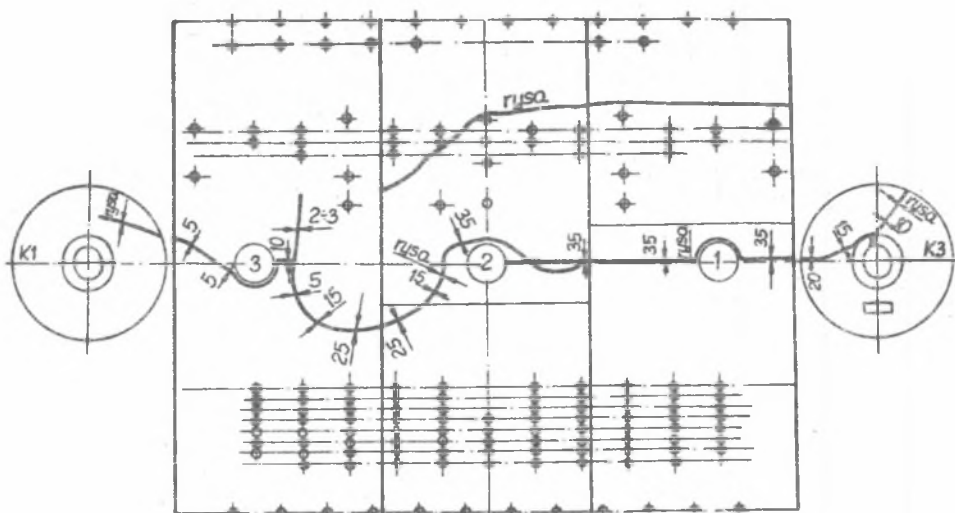
Kocioł K-2 wygaszono do planowanego remontu kapitalnego. W ramach obowiązujących czynności przeprowadzono zgodnie z przepisami rewizję walczaka. Poddano go badaniom metodami ultradźwiękową i magnetyczną. Badaniom

podlegały złącza spoin: obwodowych, wzdłużnych, centralnych rur opadowych, tulei włazowych, króćców i mostków rur ekranowych na wewnętrznej powierzchni ścianki walczaka. Wynik badań był pozytywny, pęknięć nie stwierdzono.

Po przeprowadzonym remoncie kotła ustalono termin próby szczelności. W tym celu kocioł napełniono wodą zdemineralizowaną o temperaturze około 16°C . Po 4,5 godzinach uruchomiono pompę wody zasilającej o temperaturze około 25°C . Ciśnienie podnoszono z prędkością około $0,4\text{ MPa}/\text{min}$ do poziomu ciśnienia 10 MPa oraz około $0,2\text{ MPa}/\text{min}$ do ciśnienia $14,5\text{ MPa}$. Po osiągnięciu tego ciśnienia nastąpiło rozzerwanie walczaka. Temperaturę ścianki walczaka zmierzono zaraz po wypadku, na zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni wynosiła ona odpowiednio $20,5$ i 22°C [1].

2.3. Opis uszkodzenia

Pęknięcie zainicjowane zostało na dolnej tworzącej płaszcza walczaka i rozprzestrzeniło się w kierunku obu dennic.



Rys. 2. Ślad pęknięcia walczaka kotła K-2

Fig. 2. Cracking track K-2 of boiler drum

Największe uszkodzenie powstało na środkowym dzwonie walczaka na odcinku pomiędzy króćcami centralnych rur opadowych /c.r.o./ nr 1 i 2. Nastąpiło tu wyrwanie kawałka ścianki płaszcza o wymiarach 250 x 40 x 85 mm. Duże rozwarście szczeliny około 35 mm ominęło króciec c.r.o nr 1 i stopniowo zanikało na dennicy z tabliczką znamionową.

Za wtórne pęknięcia uważa się:

- ślad pęknięcia od dna walczaka z tabliczką znamionową biegnący w kierunku dzwonów 1 i 2 powyżej pęknięcia zasadniczego;
- ślad pęknięcia omijający króciec c.r.o nr 2 i zanikający na kierunku obwodowym dzwonu 3,
- ślad pęknięcia biegnący po części obwodu króćca c.r.o nr 3 w kierunku dna walczaka bez tabliczki znamionowej.

Ślady pęknięcia zasadniczego i wtórnych pokazano na rys. 2 [1] .

2.4. Przeгляд przeprowadzonych badań

Badania makroskopowe

Analizę makroskopową przeprowadzono na wycinku wyrwanego z płaszcza kawałka metalu oraz w szczelinie pęknięcia. Na wyrwanym kawałku metalu widocznych jest szereg ciemnych pęknięć o charakterze zmęczeniowym o długości od 20÷25 mm i głębokości od 5÷12 mm. Pod tymi pęknięciami zauważono strukturę charakterystyczną dla rozwoju przełomu kruchego o drobnoziarnistej budowie, który powstał w chwili osiągnięcia krytycznej wartości naprężenia pod krawędzią karbu. W wyrwie płaszcza walczaka widoczny jest przełom o strukturze podobnej jak na wyrwanym kawałku metalu. Łatwo więc zidentyfikować miejsce lokalnego rozwoju pęknięcia znajdującego się w obrębie spiny pachfinaowej wspornika teowego podtrzymującego urządzenia wewnątrzwalczakowe. Ślad ciemno zabarwionego pęknięcia świadczył o tym, iż pęknięcie istniało o wiele wcześniej. W tym świetle postanowiono przebadać endoskopem pozostałą część szczeliny walczaka na okoliczność podobnych źródeł uszkodzeń.

W ten sposób ujawniono jeszcze dwa ślady pęknięć o podobnym charakterze między króćcami c.r.o nr 1 i 2 w odległości około 40 mm od króćca c.r.o nr 1, tj., także w obszarze innego wspornika teowego [1] .

Badania mikroskopowe

W toku badań nie zaobserwowano żadnych istotnych wad w strukturze spoin. Natomiast w materiale podstawowym płaszcza walczaka widoczna była niejednorodna struktura zawierająca ślady po pierwotnej budowie dendrytycznej stali [1] .

Badania materiału

Według poświadczenia z badań materiałowych oceniono, iż stan materiału znajduje się poza zakresem stosowania metody WIT, czyli jego stan jest nieokreślony. W materiale mogą występować wady struktury powodujące skłonność do kruchych pęknięć [2] .

Analiza chemiczna

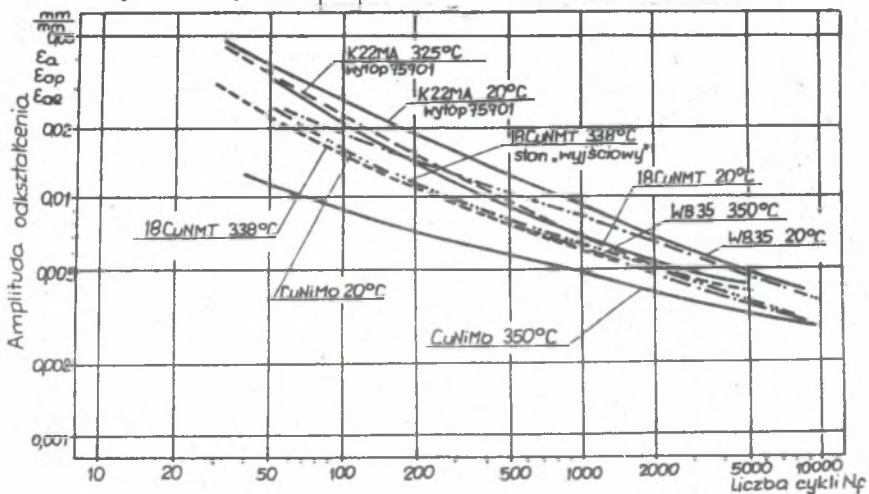
Analizę chemiczną sporządzono z metalu walczaka. Odpowiada ona normie BN-66/6642-12.

Badania współczynnika intensywności naprężeń

Badania wykonano na próbkach pobranych z materiału walczaka, wykazują, że krytyczny współczynnik intensywności naprężeń K_{10} w zakresie temperatur od $20+350^{\circ}\text{C}$ można oszacować na $52+58 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, co dla ciśnienia wewnętrznego $14,1 \text{ MPa}$ pozwala określić wielkość wady krytycznej na około 20 mm . Wartość tą można uznać za poprawną [3] .

Badania charakterystyk zmęczeniowych stali

Badania materiału podstawowego płaszcza walczaka zrealizowano w założonym zakresie i określono wszystkie wymagane parametry w temperaturach 20°C i 338°C . Wartość parametrów zmęczeniowych i przebieg charakterystyk trwałości w zakresie niskocyklicznym umożliwiając stwierdzić, że przyczyną awarii walczaka nie było wyczerpanie zmęczeniowe materiału. Charakterystyki trwałości zmęczeniowych przeprowadzonych badań i danych literaturowych pokazano na wykresie rys. 3 [4] .

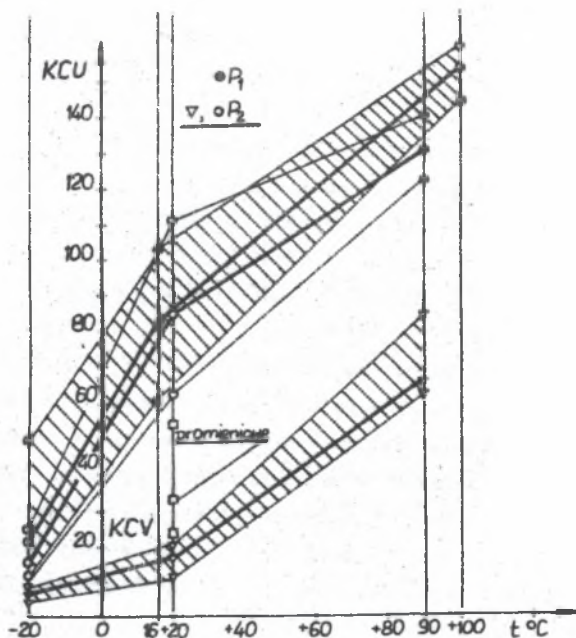


Rys. 3. Charakterystyki trwałości zmęczeniowych stali kotłowych

Fig. 3. Fatigue strenght characteristics of boiler steels

Badania uderności

Badania te przeprowadzono na próbkach zgodnie z PN-79/H-04370 z karami U i V w zakresie temperatur od -20°C ; $+20^{\circ}\text{C}$; $+100^{\circ}\text{C}$ i $+350^{\circ}\text{C}$. Wyniki tych badań zestawiono na wykresie rys. 4.



Rys. 4. Zależności uderności KCU i KCV od temperatury

Fig. 4. Impact resistance KCU and KCV against temperature

- ▽ - próbki z karem V,
- - próbki z karem U z wycinka P₂,
- - próbki z karem U z wycinka P₁,
- - próbki z karem U z kierunku promieniowego.

Pomiary twardości

Wykonano twardościomierzem typu EQUOTIP na zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni płaszczka walczaka i przeliczono na twardość w jednostce HB, które wynosiły odpowiednio od 194 ± 220 HB i 174 ± 177 HB.

Badanie naprężeń własnych

Badania przeprowadzono metodą nieniszczącą opracowaną przez Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN. Rozrzut tych naprężeń zawierał się w przedziale:

- dla kierunku wzdłużnego płaszcza walczaka od $-38 < \sigma_x < +28$ MPa,
- dla kierunku obwodowego od $-50 < \sigma_\theta < +51$ MPa.

Pomiary obwodu walczaka

Wykorzystano je do oceny odkształceń i naprężenia maksymalnego w momencie pęknięcia walczaka. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że pęknięcie walczaka kotła K-2 spowodowane zostało na skutek przekroczenia wytrzymałości rozdzielczej materiału podczas próby wodnej. Miejsce inicjujące pęknięcie znajdowało się pod spoiną łączącą płaszczyznę walczaka ze wspornikiem teowym podtrzymującym urządzenia separacji pary i miało charakter pęknięcia zmęczeniowego.

3. BADANIA UMOŻLIWIĄJĄCE DOPUSZCZENIE WALCZAKA KOTŁA K-1 DO RUCHU

3.1. Stan i jakość materiału podstawowego gatunku 18CuMnT

Według poświadczenia materiałowego [2] oceniono, że materiał walczaka nie budzi istotnych zastrzeżeń jakościowych, struktura materiału jest drobnoziarnista, bez skłonności do tworzenia kruchych przejść, oznacza to, że nadaje się do naprawy w przypadku pojawienia się pęknięcia i do dalszej eksploatacji.

Podstawowe własności materiałowe po przeprowadzonych badaniach wynoszą:

- | | | |
|----------------------------------|---|-------------------------------------|
| - dla obu den | | - dla trzech dzwonów |
| $R_m = 748, 794$ MPa | ; | $R_m = 794, 779, 799$ MPa |
| $R_e = 524, 564$ MPa | ; | $R_e = 564, 548, 569$ MPa |
| $KCU = 7, 7$ daJ/cm ² | ; | $KCU = 7, 7, 7$ daJ/cm ² |

a wg BN-66/0642-12,

$$R_m = 55+68 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} ; \quad R_{e \text{ min}} = 40 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} ; \quad KCU = 7 \frac{\text{kgm}}{\text{mm}^2}$$

3.2. Badania nieniszczące

Walczak kotła K-1 poddano od wewnątrz i zewnątrz badaniom metodą ultradźwiękową i magnetyczną.

Badaniami objęto 100 % spoin i miejsc nieciągłości. Wykryte pęknięcia usunięto przez szlifowanie, zaś dna wnęk po szlifowaniu kontrolowano metodą penetracyjną aż do zaniku śladów pęknięć. Jakość spoin głównych walczaka sprawdzono dodatkowo metodą radiograficzną. Stan spoin był dobry i nie stwierdzono żadnych wad mogących powstać w okresie jego eksploatacji, jak również nie stwierdzono rozwoju wad, dopuszczonych po wykonaniu walczaka w fabryce [5]. Dla potwierdzenia braku mikropęknięć w głębi ścianki walczaka poddano go próbie szczelności metodą atomów znaczonych. Wynik badań był pozytywny. Nie stwierdzono nieszczelności.

3.3. Zmiany konstrukcyjne

Dla wyeliminowania połączeń spawanych łączących elementy nośne separacji pary z płaszczem walczaka zastosowano rozwiązanie samonośne wg projektu CBKK [6]. Zmieniono również konstrukcję i sposób połączenia króćców wodowskazowych z płaszczem walczaka, które w pierwotnym wykonaniu okazały się nieszczelne [7].

3.4. Analiza naprężeń i ocena ubytku trwałości walczaka

Na podstawie pomiarów kołowości poprzecznych przekrojów płaszcza walczaka stwierdzono, że walczak ma stosunkowo niewielkie odchylenia od zarysu kołowego. Maksymalna wartość owalizacji wynosi 0,71 % i nie przekracza wartości dopuszczalnej [8]. Maksymalna wartość naprężenia od ciśnienia, zginania i koncentracji naprężenia w obszarach nieciągłości wynosi $\sigma_{pqr} = 347$ MPa. Po przeprowadzonej ocenie ubytku trwałości, po 105448 godzinach pracy i łącznej liczbie cykli rozruchowych ze stanu zimnego i ciepłego równej 734 oraz 22 próbach ciśnieniowych, oszacowano ubytek trwałości na 45,9 % [9]. Powyższe zabiegi i opinie techniczne dały podstawę do przeprowadzenia próby ciśnieniowej bez obawy o zaistnienie awarii jak na kotle K-2.

4. SKUTKI PRÓBY CIŚNIENIOWEJ PRZY $p_p = 18,1$ MPa

Przeprowadzona próba ujawniła nieznaczne przecieki na spoinach króćców wodowskazowych. Po zmianie ich konstrukcji i wymianie na nowe wykonano kolejną próbę ciśnieniową przy $p_p = 14,5$ MPa.

Po próbie poddano badaniom magnetycznym i penetracyjnym wszystkie spoiny walczaka. Pęknięć nie stwierdzono. Postawiono dopuścić kocioł K-1 z naprawionym walczakiem do ruchu na ciśnienie $p_r = 11,6$ MPa. Jednak przed oficjalnym dopuszczeniem kotła do ruchu zalecono poddać wnętrze walczaka kontrolnym badaniom penetracyjnym, w wyniku czego ujawniono w obszarze króćca c.r.o nr 1, 12 mikropęknięć o długości od 2 - 4 mm oraz w obszarze króćca c.r.o nr 3 dwa analogiczne mikropęknięcia. Dla upewnienia się, że skutki wspomnianych prób szczelności nie stanowią zagrożenia, zalecono:

- po wyszlifowaniu mikropęknięć powtórzyć badania penetracyjne wszystkich spoin, wynik badania był pozytywny, mikropęknięć nie stwierdzono;
- przeprowadzić kolejną próbę ciśnieniową na ciśnienie $p_p = 14,5$ MPa;
- po próbie wykonać kontrolne badania defektoskopem ultradźwiękowym spoin króćców c.r.o, wynik badania był pozytywny;
- oraz powtórzyć badania penetracyjne mające na celu wykrycie ewentualnych mikropęknięć po powyższych zabiegach, żadnych uszkodzeń powierzchniowych nie stwierdzono.

Zasięgnięto jeszcze dodatkowych opinii z miarodajnych instytucji co do stanu technicznego walczaka kotła K-1. W wyniku prześledzenia jakości materiału, zakresu przeprowadzonych napraw i badań, wprowadzonych zmian konstrukcyjnych, analizy naprężeń i ubytku trwałości walczaka oraz skutków prób ciśnieniowych można stwierdzić, iż stan techniczny walczaka jest zadowalający i nadaje się do dalszej eksploatacji przy zaostrzonych warunkach nadzoru.

5. ZALECENIA

Nawiązując do zaistniałej awarii walczaka kotła K-2 oraz do zakresu wykonanych napraw i badań, pragniemy stwierdzić, że konieczna jest zmiana przepisu DT/KP-1/63 p. 7.13.5 odnosząca się do temperatury wody w czasie próby ciśnieniowej. Proponuje się, aby temperatura ścianki elementów wykonanych ze stali 18CuNMT lub jej odpowiedników nie była niższa niż 50°C .

Natomiast zaleca się przestrzeganie przyrostu prędkości ciśnienia wg następującej zasady:

- w zakresie od 0 do 1 MPa ; $\Delta p = 0,02 \frac{\text{MPa}}{\text{min}}$
- od 1 do 4 MPa ; $\Delta p = 0,2 \frac{\text{MPa}}{\text{min}}$

$$\begin{aligned} &\text{od } 4 \text{ do } (P_{\max-1}) \text{ MPa} && ; \quad \Delta p = 0,3 \frac{\text{MPa}}{\text{min}} \\ &\text{od } (P_{\max-1}) \text{ do } P_{\max} && ; \quad \Delta p = 0,1 \frac{\text{MPa}}{\text{min}} \end{aligned}$$

Pod maksymalnym ciśnieniem próbnym kocioł należy utrzymać w czasie jak w przepisach, potem obniżyć i kolejno podnieść ciśnienie zgodnie z DT/KP-1/63 p. 7.13.6. W świetle powyższego zaleca się również wzmoczyć nadzór diagnostyczny nad walczakami ze stali gatunku 18CuNiMT. Walczaki tego typu należy poddać nadzwyczajnej rewizji wewnętrznej, wzmoczyć badania profilaktyczne i ocenić ich ubytek trwałości pod kątem zmęczenia niskocyklicznego i czasu pracy. Zbadanie odporności na kruche pękanie K_{1C} umożliwi wyznaczenie wartości naprężenia niszczącego oraz głębokości dopuszczalnego pęknięcia krytycznego, co jest bardzo ważne dla próby ciśnieniowej.

Niniejsze propozycje mogą przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa eksploatacyjnego i niezawodności pracy omawianych urządzeń.

LITERATURA

- [1] Bukowski P. + zespół: Protokół w sprawie awarii kotła OP-130 nr 2 w EC-3 Łódź. ZRE Warszawa, styczeń 1989.
- [2] Stefanowicz J., Ratajczak A.: Poświadczenia badań materiałowych Nr 888-012, Nr 888-011. KEJ-TECHNIKA, Poznań, grudzień 1988.
- [3] Trzeszczyński J., Zwoliński J.: Analiza odporności na pękanie stali 18CuNiMT oraz ocena możliwości dalszej eksploatacji walczaka, sprawozdanie Nr 52/89, PRONOVUM, Katowice, listopad 1989.
- [4] Kleszczyński A.: Badania zmęczeniowe niskocykliczne materiału walczaka kotła nr 2 typ OP-130 w EC III Łódź. ENERGOITECE, Łódź, luty 1989.
- [5] Wociał A.: Ocena stanu spoin głównych walczaka kotła nr 1, CP-130 w EC-3 na podstawie badań radiograficznych, Warszawa, 1989.
- [6] Jędrusyna Cz., Siberna T.: Mocowanie podpór dolnych części osprzętu walczaka bez spawania do korpusu OP-130 K-1, CBKK nr ew.015570, Tarnowskie Góry, maj 1989.
- [7] Siberna T.: Modernizacja króćców wodowskazów refleksyjnych walczaka K-1, CBKK, rys. 2-1384110, Tarnowskie Góry, listopad 1989.
- [8] Szopa M., Jędrusyna Cz., Siberna T.: Pomiar owalizacji i analiza naprężeń walczaka kotła typu OP-130 K-1 w EC-3 Łódź, CBKK nr 8.2065, Tarnowskie Góry, październik 1989.
- [9] Szopa M., Jędrusyna Cz., Siberna T.: Ocena trwałości walczaka kotła OP-130, K-1 pracujący w EC 3 Łódź, CBKK nr 8.2064, Tarnowskie Góry, listopad, 1989.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Ludwik Cwynar

ИССЛЕДОВАНИЯ ДАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТЬ КОТЛА К-1 ДО ЭКСПЛУАТАЦИИ
ПО АВАРИИ БАРАБАНА БЛИЗНЕЦЕГО КОТЛА К-2

Р е з ю м е

В докладе описано разрыв котельного барабана во время гидравлической пробы котла № 2 в ТЭС Лодзь. Представлено связаны с этим исследования имеющие целью установление причины аварий. Освещено также объем проведенных исследований на барабанах котла К-1, имеющих целью доказать техническую и эксплуатационную пригодность в/у барабана и допуск его до эксплуатации. Представлено рекомендации могущие хранить барабаны котлов перед такими авариями.

INVESTIGATIONS ENABLING ADMISSION OF BOILER K-1 TO OPERATION
AFTER DRUM FAILURE ON SIMILAR BOILER K-2

S u m m a r y

In this paper a rupture of boiler drum is described. It happened during pressure test of boiler n^o K-2 in thermal - electric power station in Lodz. There are performed investigations in order to explain the cause of the failure. The range of investigations carried out on the drum of boiler n^o K-1 due to motivation of technical and operational usability of this drum and operational permission is presented. Recommendations, how to protect drums against such kind of failure are given.