

Tabela 1

Rodzaje i częstość badań walczaków kotłów parowych

Badany element	Badania:					Pomiar:		
	rentgenow- skie	ultradźwię- kowe	magnetyczne	wzrokowe (ogłędziny)	metalogra- ficzne	średnic	grubości	twardości
Spoiny główne	nowe spoiny — po re- montach	po 100 tys. h	co 50 tys. h	co 20 tys. h				
Spoiny pomocnicze		CRO — co 50 tys. h	co 50 tys. h	co 20 tys. h				
Płaszcz				co 20 tys. h	po 100 tys. h	jednorazo- wy pomiar owalzacji	jednorazo- wo	po 100 tys. h
Króćce		co 50 tys. h	co 20 tys. h					
Otwory		co 20 tys. h	co 20 tys. h					

Inicjatory pęknięć mogą powstać podczas produkcji blach walczakowych, w procesie wykonywania walczaka oraz w czasie jego eksploatacji. Mogą mieć postać nieciągłości przestrzennych, płaskich lub powierzchniowych oraz niejednorodności strukturalnych; stają się bardzo niebezpieczne, gdy pojawiają się w pobliżu miejsc o dużej koncentracji naprężeń (otwory, spoiny).

Do oceny stanu walczaka można zastosować teorię mechaniki pęknięcia, nawet jeżeli pęknięcia zostały wykryte. W tym celu należy dokładnie znać rzeczywiste: dane materiałowe, wartości naprężeń i wymiary pęknięć.

Ponieważ wystąpienie lawinowego pęknięcia zależy wyraźnie od poziomu naprężeń, w eksploatacji należy unikać takich sytuacji, w których maksymalne naprężenia przekraczają $0,9 R_e$. Ze względu na możliwość wystąpienia w czasie eksploatacji pęknięć zmęczeniowych, obliczenia stopnia wyczerpania materiału walczaka powinny być oparte na rzeczywistych danych (różnice temperatury ścianki), a sam walczak powinien być poddawany badaniom nieniszczącym — ultradźwiękowym, magnetycznym i fluorodefektoskopowym (tab. 1). Szczególnie często należy wykonywać badania nieniszczące w miejscach spodziewanych koncentracji naprężeń, zwłaszcza w przypadku, gdy walczak jest wykonany ze stali 18CuMNT.

Wnioski

1. Stale o podwyższonej wytrzymałości, do których zalicza się stal 18CuMNT, mają skłonność do propagacji kruchych pęknięć i to zarówno w stanie wyjściowym, jak też po pewnym okresie eksploatacji.
2. Prawdopodobieństwo wystąpienia tego rodzaju uszkodzenia można zmniejszyć przez wyeliminowanie czynników warunkujących powstanie pęknięcia kruchego. Należy zatem:
 - ograniczyć liczbę prób wodnych przy ciśnieniu równym 1,25 ciśnienia roboczego,

- przestrzegać, by podczas próby wodnej temperatura ścianki walczaka była wyższa od 50°C ,
- zwiększać stopniowo ciśnienie podczas próby wodnej,
- kontrolować okresowo powierzchnię walczaka za pomocą badań nieniszczących,
- oprzeć obliczenia krytycznej głębokości wady i stopnia wyczerpania trwałości na rzeczywistych danych z eksploatacji,
- uwzględnić rzeczywiste wymiary i dane materiałowe w obliczeniach stanu wyjątkowego walczaka od naprężeń statycznych,
- ocenić stopień wyczerpania materiału walczaka.

LITERATURA

- [1] Dobosiewicz J.: Ocena stanu walczaków kotłów wysokoprężnych. *Energetyka* 1985, nr 4
- [2] Piehl K.H.: Untersuchung über des versagen einer Keselfrommel der Druckprobe. VGB 1970, nr 50
- [3] Kusmaul K.: Formation Significance and Evaluation of Welding Defects in pressure Vessels. International Institute of Welding, 1972
- [4] Wellinger K., Kraegelch E., Kusmaul K., Sturm D.: Die Bruchgefahr bei Reaktordruckbehältern und Rohrleitungen. *Nuclear Engineering and Design* 1972, nr 20
- [5] Kusmaul K.: Resistans of welded Connstruktions in Presure Vessel. Staatliche Materialprufngsanstadt University of Stuttgart Germany, marzec 1971
- [6] Kusmaul K.: Diskussionsgrundlage zur efmittlung von Bruchmechanischen Kennwerten an Kesseltrommeln. Staatliche Materialprufngsanstadt an der Universität Stuttgart, kwiecień 1971
- [7] Raport on the Brittle Frakture of a High-Pressure Boiler Drum at Cockenzie Power Station, styczeń 1967
- [8] Sprawozdanie nr 35/90 pt. „Określenie przyczyn powstania awarii walczaka kotła OP-380k bloku nr 1 w Elektrowni Łaziska. Końcowy raport z badań”. Pro Novum, Katowice grudzień 1990

Mgr inż. Jerzy Dobosiewicz

Pro Novum — Katowice

UKD 621.644.2.005.2

Uszkodzenia kolan rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania

Uszkodzenia kolan rurociągów parowych można podzielić na:

- pęknięcia zmęczeniowo-korozyjne na wewnętrznej powierzchni, w obojętnej strefie gięcia, kolan rurociągów pracujących w temperaturze do 390°C ,

- pęknięcia pełzaniowe na zewnętrznej powierzchni, w strefie rozciąganej, kolan rurociągów pracujących w temperaturze wyższej niż 390°C .

Na trwałość kolan rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania wpływają następujące czynniki:

metalurgiczne — zmiany własności mechanicznych (zwłaszcza plastyczności) wskutek niewłaściwej obróbki cieplnej rur;

technologiczne — zmiany geometrii przekroju poprzecznego (owalizacja oraz mniejsza grubość ścianki w strefie rozciągania) wynikające z nieodpowiedniej technologii gięcia;

eksploatacyjne — zmiany grubości ścianki i pęknięcia zmęczeniuowo-korozyjne.

Największy wpływ na trwałość rurociągów parowych mają oczywiście ścienienie ścianki i owalizacja, gdyż powodują wzrost naprężeń obwodowych. Naprężenia te można obliczyć z następującego wzoru:

$$\sigma_{\varphi} = \frac{2p_r}{m(\beta^{2/m} - 1)} \left(1 + c \frac{a}{100} \right),$$

p_r — ciśnienie robocze, MPa,

β — stosunek średnic (zewewnętrznej do wewnętrznej),

a — owalizacja kolana, %,

m — współczynnik pełzania,

c — współczynnik zależny od β i m .

W tabeli 1 podano wartości naprężeń obliczone dla kolana o znamionowej średnicy zewnętrznej $D_z = 273$ mm i znamionowej grubości ścianki $g_n = 20$ mm oraz odcinka prostego, ze stali 12H1MF. Naprężenia obwodowe zaczynają rosnać, gdy owalizacja staje się większa od 4%.

Tabela 1

Naprężenie obwodowe i dopuszczalny czas pracy kolana 273×20 ze stali 12H1MF w zależności od stopnia owalizacji

Stopień owalizacji $a, \%$	Naprężenie obwodowe $\sigma_{\varphi}, \text{MPa}$	Dopuszczalny czas pracy $t_s, \times 10^5 \text{ h}$
0	60,0	3,2
4	60,3	3,2
6	60,6	3,1
8	62,1	2,7
10	64,0	2,3
18	65,4	2,1

W praktyce, zwłaszcza w przypadku dostaw radzieckich, spotyka się kolana o stopniu owalizacji od 8 do 12%. Z obliczeń wg TRD 508 trwałości takiego kolana (tab. 1) wynika, iż w miarę wzrostu stopnia owalizacji znacznemu skróceniu ulega czas do wystąpienia uszkodzenia.

Uszkodzenia mają zawsze charakter kruchy (odkształcenie nie przekracza 1%) i postać:

- jednego centralnego pęknięcia — gdy rurociąg pracuje okresowo pod pełnym ciśnieniem bez przepływu pary (postój turbiny w elektrowni kolektorowej),
- większej liczby pęknięć — gdy rurociąg pracuje w sposób ciągły.

W pierwszym przypadku, wskutek nadmiernej owalizacji następują w materiale zmiany pełzaniowe, znacznie obniżające jego plastyczność i będące źródłem pęknięć. Gdy głębokość jednego z pęknięć osiąga wartość krytyczną (dla określonych: temperatury metalu i naprężenia) następuje jego krucha propagacja prowadząca do lawinowego uszkodzenia.

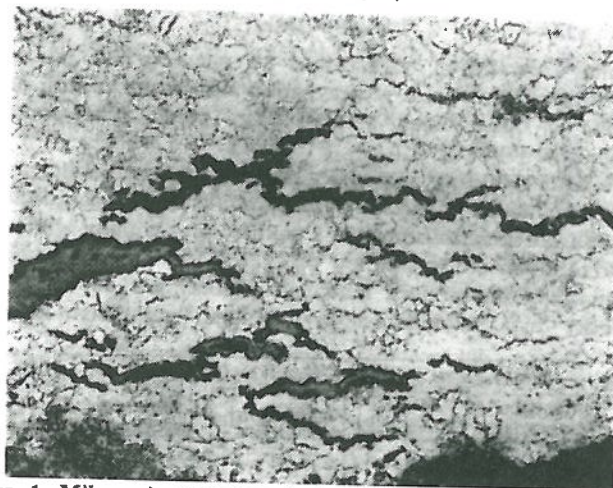
W rurociągach pracujących w sposób ciągły obniżona plastyczność materiału i powstałe pęknięcia (jak w przypadku pierwszym) jeszcze przed osiągnięciem II etapu krzywej pełzania powodują lokalny wzrost naprężeń (osłabienie grubości ścianki) prowadzący do powstania jednej lub większej liczby krótkich nieszczelności.

W obu przypadkach struktura metalu w strefie uszkodzenia zależy od jego struktury początkowej i czasu pracy kolana. Im dłuższy jest czas pracy do uszkodzenia kolana, tym częściej stwierdza się homogenizację struktury, której efektem końcowym jest rozpad bainitu i perlitu.

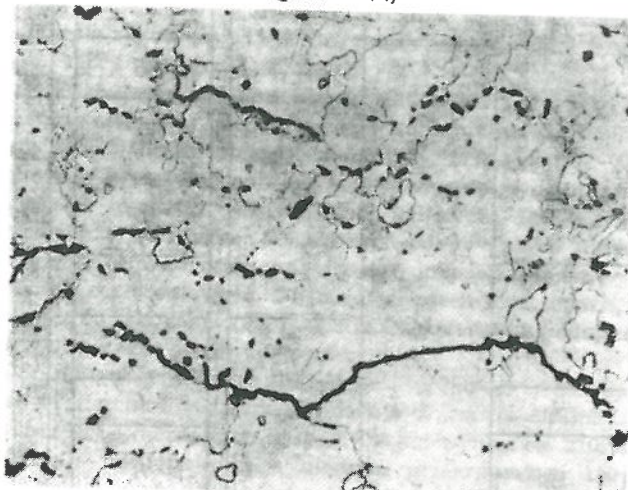
Pęknięcia mają charakter międzykrystaliczny (rys. 1). Przy ich brzegu występują duże ilości mikroporów ułożonych na granicy ziarna (rys. 2) i zorientowanych prostopadle do naprężeń obwodowych. Największą liczbą mikroporów jest objęta zewnętrzna powierzchnia kolana. W miarę oddalania się od osi pęknięcia, po obwodzie i po grubości, liczba mikroporów maleje. Zależnie od znamionowych wymiarów rury szerokość porowatego pasma wynosi od 20 do 60 mm, a długość od 100 do 300 mm.

Na odcinkach prostych przyległych do łuku kolana mikropory nie występują.

W strefie porażonej mikroporami plastyczne własności metalu są znacznie obniżone. Mniejsza jest również udarność, zwłaszcza na przekroju poprzecznym (kilka razy mniejsza od udarności na przekroju podłużnym).



Rys. 1. Mikro- i makropęknięcia w pobliżu pęknięcia kolana (pow. $50 \times$)



Rys. 2. Zorientowane skupisko mikroporów (pow. $320 \times$)

Tabela 2
Częstość i zakres badań kolan rurociągów parowych

Badania magnetyczne	Pomiar owalizacji	Badania struktury (replika)	Pomiar twardości HV	Pomiar grubości ścianki
Pierwsze badania po 100 tys. h pracy	jednorazowy pomiar przed osłabieniem 50 tys. h pracy	jak badania magnetyczne	jak badania magnetyczne	jak pomiar owalizacji
Następne badania co 20–50 tys. h pracy				

Prawdopodobieństwo uszkodzenia zależy od czasu pracy i stopnia owalizacji kolana. Nawet przy dużej owalizacji czas pracy kolana może znacznie przekraczać 100 000 h. Natomiast samo uszkodzenie kolana jest bardzo niebezpieczne dla obsługi elektrowni i trudne do wykrycia, tym bardziej że czas między powstaniem mikropęknięć a zniszczeniem jest stosunkowo krótki (kilka miesięcy).

Zapobieganie uszkodzeniom powinno polegać na okresowej kontroli obejmującej:

- **jednorazowy pomiar grubości ścianki** metodą ultradźwiękową, w kilku punktach w strefie rozciąganej;
- **miar owalizacji** — polegający na zmierzeniu dwóch prostopadłych średnic w przekroju, gdzie grubość ścianki jest najmniejsza — według wzoru:

$$\alpha = 2 \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} 100\%$$

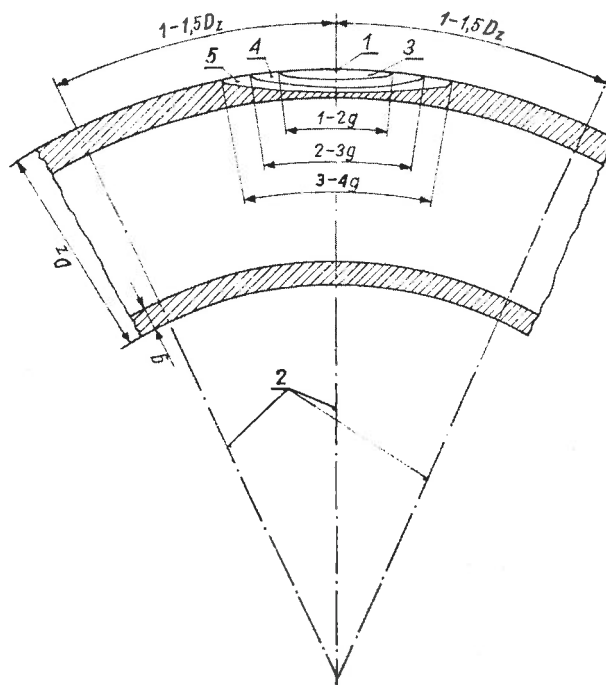
(kolana o owalizacji większej od 8% powinny być jak najszybciej wymienione, a w przypadku stopnia owalizacji od 5 do 8% w obliczeniach rzeczywistego czasu pracy należy uwzględnić jej wpływ);

- **badanie struktury** za pomocą repliki w miejscu maksymalnej owalizacji po stronie rozciąganej, przy zwróceniu uwagi na obecność mikroporów i pęknięć oraz zmiany w strukturze materiału (rys. 2);

(kolana z uszkodzeniem materiału zaliczanym do klasy G. powinny być natychmiast wymienione, natomiast kolana

z uszkodzeniem w klasie F, można eksploatować od 3000 do 5000 h lub nawet dłużej, ale przy obniżonej temperaturze pracy).

Zaleca się, aby kontrolne badania kolan były przeprowadzane przed upływem 60% obliczeniowego czasu pracy ustalonego wg obowiązującej instrukcji [1]. Miejsce badań i pomiarów pokazano na rysunku 4, a ich rodzaj i częstość podano w tabeli 2.



Rys. 4. Miejsce wykonania repliki na kolanie w obszarze maksymalnej owalizacji

1 — minimalna grubość ścianki, 2 — pomiar owalizacji, 3 — mikromakropęknięcie, 4 — zorientowane mikropory, 5 — pojedyncze pory

WSKAŹNIK USZKODZENIA			Klasa uszkodzenia	t t _r
Fizyczna degradacja	Zmiany strukturalne	Wydzielenia		
1 _D	1 _M	1 _P	A	10
	2 _M		B	20
2 _D	3 _M	2 _P	C	30
			D	40
3 _D	3 _P	E	50	
4 _D		F	60	
5 _D		G	70	
			H	80
				90
				100

Rys. 3. Klasyfikacja mikrostruktury badanego kolana i stopień wyczerpania materiału

Fizyczna degradacja: 1_D — bez zmian; jak w materiale rodzimym, 2_D — pojedyncze pory, 3_D — pory zorientowane, 4_D — mikropęknięcia, 5_D — makropęknięcia

Zmiany strukturalne: 1_M — bez zmian; jak w materiale rodzimym, 2_M — wydzielenia węglików w ziarnach białtlu, 3_M — rozkład białtlu, zmiana dyspersji węglików

Wydzielenia: 1_P — bez zmian; jak w materiale rodzimym, 2_P — koagulacja; rozrost węglików w białtlu, węgliki na granicach ziaren, 3_P — rozkład i sferoidyzacja węglików

t_r — maksymalny czas pracy, t — rzeczywisty czas pracy

Wnioski

1. Ze względu na owalizację trwałość kolan rurociągów parowych jest mniejsza od trwałości odcinków prostych.
2. Kolana o owalizacji przekraczającej 8% powinny być eliminowane z eksploatacji, zwłaszcza gdy przepracowały już więcej niż 100 tys. h.
3. W obliczeniach rzeczywistego czasu pracy kolan należy uwzględnić wpływ owalizacji.
4. Po 100 tys. h eksploatacji, a następnie po kolejnych 15 tys. h należy wykonać badania magnetyczne strefy rurociągu w celu wykrycia ewentualnych pęknięć oraz badanie struktury metalu za pomocą replik.

LITERATURA

- [1] Instrukcja oceny stanu oraz kwalifikowanie do wymiany komór kolektorów rurociągów kotłowych i głównych rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. MGIE, 1976
- [2] Dobosiewicz J., Wojczyk K.: Trwałość rurociągów parowych. *Energetyka* 1988, nr 3
- [3] Nachalow B. A.: Raszczotnaja ocenka dlitelnoy procnosti izognutyh trub. *Tiepłoeniergetika* 1980

ponovum