

## Literatura

- [1] Trzeczcyński J.: Creep and creep-fatigue failures of the power units elements after long time operation. ECC Conference Proceedings. Creep and Fracture in High Temperature Components – Design and Life Assessment Issues. London. September 2005
- [2] Dobosiewicz J.: Badania diagnostyczne urządzeń ciepłomechanicznych w energetyce. Część 1 i 2. Biuro Gamma. Warszawa 2004
- [3] Sturm F.A.: Efficient Operations. Intelligent Diagnosis and Maintenance. VGB PowerTech Service GmbH. Essen 2003
- [4] Trzeczcyński J.: Nowe – stare problemy diagnostyczne długo eksploatowanych urządzeń energetycznych. Materiały Konferencyjne VII Sympozjum „Diagnostyka i remonty długo eksploatowanych urządzeń energetycznych”. Ustroń 2005
- [5] Instruction sheet: Recommendation for the introduction of Risk based maintenance. VGB – M130e. First Edition 2004
- [6] Wojtkiewicz R.: Pierwszy krok w kierunku strategii remontowej opartej na analizie ryzyka (RBM) na przykładzie praktycznej aplikacji modułu do dokumentowania awaryjności urządzeń w systemie diagnostycznym *EC Kraków*. Materiały Konferencyjne IX Sympozjum „Diagnostyka i remonty długo eksploatowanych urządzeń energetycznych”. Ustroń 2007
- [7] Bojek L., Mieszczenko R.: Wdrożenie Systemu LM SYSTEM PRO w *Vattenfall Heat Poland SA* krokiem w kierunku zintegrowania wiedzy o stanie technicznym urządzeń. Materiały Konferencyjne IX Sympozjum „Diagnostyka i remonty długo eksploatowanych urządzeń energetycznych”. Ustroń 2007
- [8] Trzeczcyński J., Białek S.: Monitorowanie trwałości urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni. Materiały konferencyjne VI Sympozjum „Diagnostyka i remonty długo eksploatowanych urządzeń energetycznych”. Ustroń 2004
- [9] Aydt J., Krat H-R.: Das PowerPortal für die EnBW Kraftwerke AG – Realisierung und erste Erfahrungen. VGB PowerTech 9/2006

Jerzy Dobosiewicz, Ewa Zbroińska-Szczuchura

# Ocena stopnia zużycia ciśnieniowych elementów kotłów pracujących w warunkach pełzania

## Typowe uszkodzenia

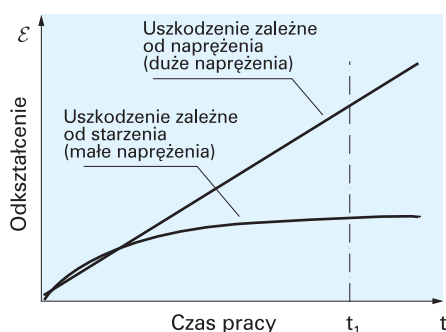
Większość uszkodzeń elementów pracujących w warunkach pełzania, a w tym szczególnie powierzchni ogrzewalnych kotła (węzownice przegrzewaczy), spowodowana jest przegrzaniem materiału (praca w temperaturze przekraczającej projektową  $t_0$ ). Przegrzanie może nastąpić wskutek długotrwałego, nieznacznego lub krótkotrwałego, lecz znacznego, przekroczenia temperatury dopuszczalnej dla danego gatunku materiału. Uszkodzeniom od przegrzania często towarzyszą ubytki grubości ścianki (korozja i/lub erozja), a tym samym wzrost naprężeń. Długo eksploatowane rurociągi i elementy grubościennne (komory, korpusy, kształtki) poddane działaniu naprężeń i temperatury, wyższej niż temperatura graniczna,

ulegają uszkodzeniom pełzaniowym, zmianom struktury i fizycznym uszkodzeniom aż do pęknięć, eliminujących te elementy z dalszej eksploatacji.

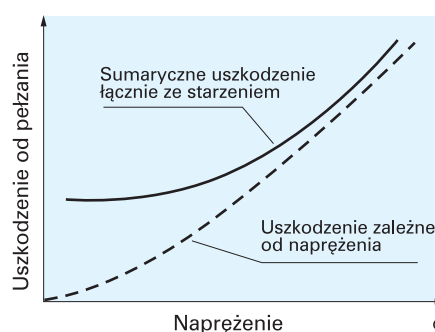
Wpływ naprężenia i czasu pracy na niszczenie przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

## Zasady obliczeń projektowych

Grubości ścianek elementów ciśnieniowych, w przypadku gdy pracują poniżej temperatury granicznej, są liczone wg granicy plastyczności ( $R_{eT}$ ). Dopuszczalne naprężenie przyjmuje wartość  $k = \frac{R_{eT}}{1,65}$  i teoretycznie trwałość tych elementów jest nieograniczona. Wyraźne wyczerpanie pełzaniowe



Rys. 1. Odkształcenie metalu w zależności od czasu pracy i naprężenia [2]



Rys. 2. Stopień uszkodzenia metalu w zależności od naprężenia [2]

zachodzi w elementach liczonych wg wytrzymałości czasowej ( $R_z$ ) pracujących w temperaturze powyżej granicznej dla danego gatunku stali.

Z obowiązujących przepisów UDT, dotyczących obliczania wytrzymałości elementów ciśnieniowych pracujących w temperaturze powyżej granicznej wynika, że za dopuszczalne naprężenie należy przyjmować jedną z dwóch wartości:

$$k = \frac{R_z(\tau)t_o}{1,65} \quad (1)$$

$$k = R_l(\tau)t_o \quad (2)$$

$R_z(\tau)t_o$  - średnia gwarantowana wytrzymałość materiału na pełzanie w czasie ( $\tau$ ) przy temperaturze ( $t_o$ ),

$R_l(\tau)t_o$  - średnia gwarantowana czasowa granica pełzania materiału przy 1-procentowym odkształceniu w czasie ( $\tau$ ) przy temperaturze ( $t_o$ ).

Dopuszczalne naprężenie najczęściej jest określone wartością (1); wtedy wytrzymałościowy współczynnik bezpieczeństwa  $x_\sigma$ , po przekroczeniu 100 000 h pracy elementu, wyniesie 1,65 i podczas dalszej eksploatacji będzie stopniowo malał do jedności. Całkowite odkształcenie ( $\epsilon$ ) elementu w tym czasie może nadal być mniejsze niż 1%.

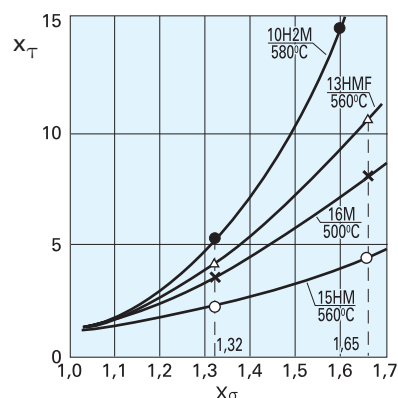
Rozpatrując znaczenie wytrzymałościowego współczynnika bezpieczeństwa  $x_\sigma$  można stwierdzić, że w dotychczasowej metodzie obliczeniowej zakładano uszkodzenie elementu po 100 000 h pracy w przypadku, kiedy naprężenie w ścianie nie będzie równe obliczeniowemu, lecz podczas całego okresu eksploatacji będzie od niego większe 1,65 razy. Jest to możliwe jedynie przy występowaniu defektów w ścianie elementu.

Należy również zaznaczyć, że przed upływem 100 000 h eksploatacji wytrzymałościowy współczynnik bezpieczeństwa jest większy od 1,65 – zatem pojęcie wytrzymałościowego współczynnika bezpieczeństwa przy obliczeniach opartych na wytrzymałości czasowej ( $R_z$ ) istotnie różni się od pojęcia tego współczynnika określonego dla granicy plastyczności ( $R_{et}$ ).

Dla dopuszczalnych temperatur pracy stali, stosowanych w kraju do budowy elementów ciśnieniowych, pracujących w warunkach pełzania przy wytrzymałościowym współczynniku bezpieczeństwa  $x_\sigma = 1,65$  – czasowy współczynnik bezpieczeństwa  $x_\tau > 4$  (rys. 3).

Gdy do obliczeń wykorzysta się nie średnią gwarantowaną wytrzymałości czasowej (rozrzut 20%), lecz jej minimalną

wartość ( $0,8 R_z(10^5)t_o$ ), to wtedy wytrzymałościowy współczynnik bezpieczeństwa tych stali wyniesie  $x_\sigma = 1,32$ , a czasowy współczynnik bezpieczeństwa  $x_\tau$  ciągle jeszcze będzie większy od 2 (rys. 3).



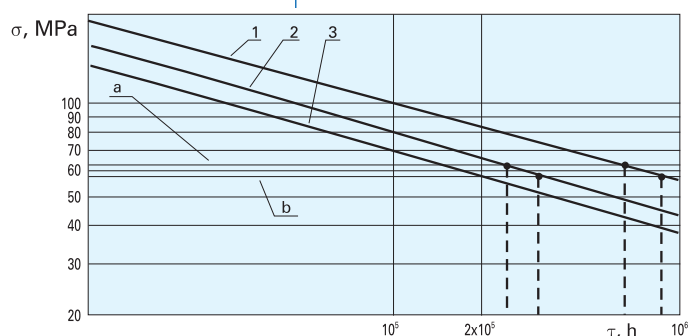
Rys. 3. Zależność czasowego współczynnika bezpieczeństwa  $x_\tau$  od wytrzymałościowego współczynnika bezpieczeństwa  $x_\sigma$  dla różnych gatunków stali [4]

Oznacza to, że odcinki proste rur, liczone wg uprzednio obowiązujących przepisów, mogą niezawodnie pracować ponad 200 000 h. Znajduje to również potwierdzenie w obliczeniach wykonanych wg PN- 79/M-34033, tj. gdy przyjmuje się dopuszczalną wartość naprężenia:

$$k = \frac{R_{z\min}(2 \cdot 10^5)t_o}{1,15} \quad (3)$$

*Uwaga:* Dotyczy to oczywiście prostych odcinków rurociągów – natomiast pozostałe elementy, takie jak: kolana, kształtki, spoiny przy kolanach i kształtkach charakteryzują się czasem pracy (trwałością) krótszym, gdyż zależy on od rzeczywistych naprężeń działających w tych elementach; są one znacznie wyższe od panujących w odcinkach prostych, co może być powodowane działaniem naprężeń dodatkowych (niewłaściwe reakcje zamocowań, niewłaściwe spady, histereza zamocowań, owalizacja) oraz ich koncentracją.

Elementy grubościennie przeliczone wg (3) uzyskują teoretyczne czasy pracy większe od 200 000 h. Różnice naprężeń wynikające z dotychczasowego sposobu obliczania (przepisy UDT) i zalecanego przez wymienioną normę (PN) są niewielkie, toteż można je pominąć. W obu przypadkach trwałość przeliczono na 250 000 h (rys. 4).



Rys. 4. Trwałość rurociągów obliczona różnymi metodami (skala podwójnie logarytmiczna) [2]

gdzie:

- 1 –  $R_{z(\tau\tau)}$
- 2 –  $0,8R_{z(\tau\tau)}$
- 3 –  $\frac{0,8R_{z(\tau\tau)}}{1,15}$

$$a) \sigma = \frac{R_{z(10^5)540^\circ\text{C}}}{1,65}$$

$$b) \sigma = \frac{R_{z(2 \times 10^5)540^\circ\text{C}}}{1,15}$$

## Czas pracy elementów (trwałość)

Pojęcie trwałości ściśle wiąże się z dopuszczalnym czasem pracy, i w zasadzie, odnosi się wyłącznie do elementów pracujących w warunkach pełzania. Teoretycznie elementy liczone wg  $R_{et}$  mają nieograniczony czas pracy, praktycznie ich trwałość zależy od rodzaju procesów powodujących ubytek grubości ścianki (erozja, korozja, termoszok) oraz prędkości jej zmniejszania się, a tym samym przekraczania naprężeń dopuszczalnych. Praktycznie wartości te są w rzeczywistości niepoliczalne i stąd konieczność prowadzenia okresowych badań i pomiarów diagnostycznych.

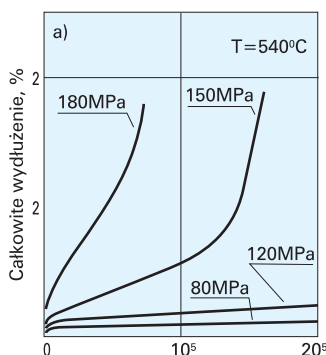
Istnieje kilka pojęć **dopuszczalnego czasu pracy** elementów pracujących powyżej temperatury granicznej, tj.:

- **projektowy** – czas pracy elementu na 100 000 h związany z naprężeniowym współczynnikiem bezpieczeństwa  $x_{\sigma} = 1,65$  co, jak wiadomo, w przeliczeniu na czasowy współczynnik bezpieczeństwa  $x_{\tau}$  daje znacznie wielokrotnie dłuższe wartości ( $\tau_0$ ),
- **konstrukcyjny** – dla parametrów pracy i geometrii nominalnych charakterystycznych dla wszystkich urządzeń jednego typu ( $\tau_1$ ),
- **indywidualny** – dla parametrów pracy i geometrii rzeczywistych dla poszczególnych urządzeń ( $\tau_i$ ),
- **czas specjalnego nadzoru** ( $\tau_s$ ) stanowiący 60% obliczeniowego czasu pracy.

Z punktu widzenia trwałości i dalszej eksploatacji elementów równie ważne jest określenie poziomu **dopuszczalnego naprężenia** dla rzeczywistej temperatury i wymaganego (projektowego) czasu; powinno ono spełniać warunek  $\sigma_{dop}/\sigma_{rz} > 1,2$ .

## Odształcenia średnicy

Z upływem lat element pracujący w warunkach pełzania ulega odkształceniu. Kształt krzywej odkształcenia zależy od temperatury i naprężenia.



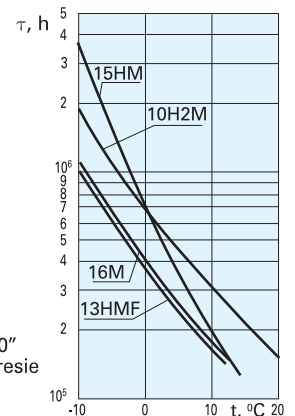
Rys. 5. Zależność odkształcenia stali od naprężenia [5]

Z doświadczenia wynika, że elementy pracujące w warunkach zgodnych z obliczeniami koncesyjnymi nawet po

wieloletniej eksploatacji ulegają nieznacznym odkształceniom. Kryteriami oceny przydatności do dalszej eksploatacji są:

- prędkość odkształcenia –  $v < 0,10\%/10\ 000\ h$
- maksymalne dopuszczalne odkształcenie –  $\epsilon_{max} < 2\%$

Istotny wpływ na trwałość wywiera stała temperatura pracy metalu. Przykładowo, jeżeli element wykonany ze stali 15HM jest przeznaczony do pracy w temperaturze  $t = 510^{\circ}C$ , to jeżeli ta temperatura w sposób ciągły będzie przekraczana o  $5^{\circ}C$ , trwałość elementu zostanie skrócona o 30%. Dobre wyniki dają pomiary odkształcenia otworów w dwóch osiach, tak aby jeden pomiar był prostopadły do osi wzdłużnej elementu, a drugi równoległy.

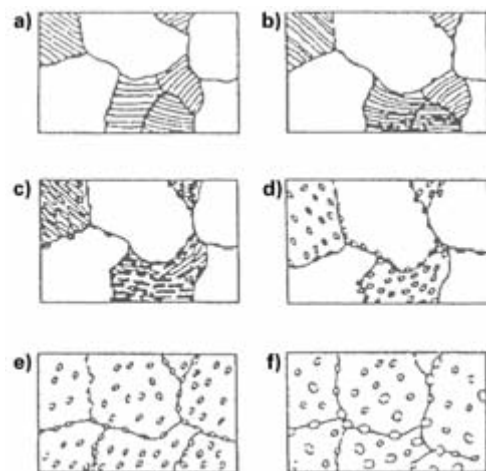


Rys. 6. Wpływ zmian temperatury pracy na trwałość elementu z różnych gatunków stali [5]

|       |                                 |                            |
|-------|---------------------------------|----------------------------|
| 16M   | temp.oblicz. $t = 500^{\circ}C$ | } punkt „0”<br>na wykresie |
| 15HM  | temp.oblicz. $t = 520^{\circ}C$ |                            |
| 13HMF | temp.oblicz. $t = 540^{\circ}C$ |                            |
| 10H2M | temp.oblicz. $t = 560^{\circ}C$ |                            |

## Badania struktury

Wykonuje się najczęściej metodą replik na powierzchni zewnętrznej elementu, gdzie w czasie pracy metalu w podwyższonej temperaturze zachodzą procesy obniżające wytrzymałość czasową. Zmiany te polegają na rozkładzie perlitu lub bainitu wskutek sferoidyzacji cementytu i wydzielania węglików pierwiastków stopowych



Rys. 7. Zmiany w strukturze ferrytu lub bainitu [5]:

- stan wyjściowy,
- wydzielenia węglików na granicach ziarna
- sferoidyzacja węglików,
- rozrost węglików
- koniec sferoidyzacji,
- rozproszenie węglików

Istnieją metody klasyfikacji stopnia wyczerpania powiązane ze zmianami struktury oraz destrukcją fizyczną metalu [7] i [8]. Fizyczna destrukcja metalu w postaci pustek pełzaniowych zapoczątkowuje na granicach ziaren zorientowanych względem osi naprężenia rozciągającego pod kątem 90°. Kolejny etap pęknięcia polega na wzroście pustek w wyniku działania mechanizmu odkształceniowego, które łącząc się ulegają wydłużeniom doprowadzając do powstawania pęknięć na granicach ziarna.

W miejscu wykonania replik wskazane jest pomierzyć twardość metalu, której wartość powinna zmieścić się w granicach zalecanych przez normę dla danego gatunku materiału. Wyniki badań struktury należy ocenić posługując się katalogiem VGB [9].

### Teoretyczne obliczenia indywidualnego czasu pracy (przykład) [2]

Przy przeliczeniu czasów projektowego ( $\tau_p$ ) i konstrukcyjnego ( $\tau_c$ ) stosuje się zasady postępowania oparte na normie EN [17]. Podobnie wykonuje się obliczenia indywidualnego czasu ( $\tau_i$ ) stosując te same zasady oraz wykorzystując wytyczne VGB [2].

#### a) Obliczanie rzeczywistych naprężeń w elemencie [2]

Na podstawie rzeczywistej grubości ścianki elementu i rzeczywistego ciśnienia należy obliczyć rzeczywiste naprężenie ścianki elementu ( $\sigma_{rz}$ ).

#### b) Obliczanie czasu pracy $\tau_i$ i $\tau_s$ na podstawie parametrów rzeczywistych (zamiast wyznaczania z krzywej $R_z = f\tau_i$ [17])

– wyznaczanie wartości  $R_{z \min/\tau/t_z}$ ; należy odczytać z norm, w zależności od pochodzenia materiału, średnie wartości wytrzymałości czasowej na 200 000 h, 250 000 h lub 300 000 h w funkcji temperatury rzeczywistej i obliczyć wartości  $R_{z \min/\tau/t_z}$

– wyznaczenie czasu pracy na podstawie obliczeń algebraicznych; należy obliczyć czas  $\tau_i$  i  $\tau_s$ .

### Ocena stanu elementu i częstotliwość badań nieniszczących

W zależności od otrzymanych wyników obliczeń czasu pracy  $\tau_s$  i grubości ścianki  $g_{r2}$  obliczonej przy pracy elementu do 200 000 lub 250 000 h mogą wystąpić trzy przypadki:

– **przypadek 1** – gdy rzeczywisty czas pracy elementu  $\tau_p$  jest mniejszy od czasu  $\tau_s$ , czyli czasu pracy obliczonego wg parametrów rzeczywistych, po przekroczeniu którego należy rozpocząć specjalny nadzór ocenianego elementu, tj.

$$\tau_p < \tau_s \quad \text{i} \quad g_{r2} \leq g_r$$

⇒ badania profilaktyczne np. co 60 tys. h;

– **przypadek 2** – gdy czas pracy  $\tau_p$  zostanie przekroczony w stosunku do czasu  $\tau_s$ , tj.

$$\tau_p > \tau_s \quad \text{i} \quad g_{r2} > g_r \quad \text{lub} \quad g_{r2} \leq g_r$$

⇒ częstotliwość badań należy zwiększyć i wykonywać je np. co 30 tys. h;

– **przypadek 3** – gdy rzeczywisty czas  $\tau_p$  osiąga czas  $\tau_s$

$$\tau_p = \tau_s \quad \text{i} \quad g_{r2} > g_r$$

⇒ należy natychmiast przeprowadzić badania diagnostyczne określające stan techniczny elementu,

Terminy badań profilaktycznych wyznacza się od daty przeprowadzenia pierwszego badania zależnie od rzeczywistego czasu pracy danego elementu.

### Badania diagnostyczne

*Nieniszczące:*

- badania struktury (repliki),
- pomiary grubości ścianki,
- pomiary odkształcenia średnicy,
- pomiar grubości warstwy tlenków (na powierzchni wewnętrznej – ocena średniej temperatury metalu),
- pomiar twardości,
- badania magnetyczne, penetracyjne, ultradźwiękowe.

*Niszczące:*

- pobór wycinków do badań metalograficznych,
- pobór wycinków do badań wytrzymałościowych.

*Uwaga:* Badania niszczące wykonywane w kraju i za granicą dały wyniki trwałości, w wielu przypadkach, zbyt optymistyczne i przekraczające dane uzyskane z obliczeń.

### Podsumowanie

Obecnie znaczna część elementów grubościennych kotłów i rurociągów przekroczyła projektowy czas pracy (100 000 h), a niektóre z nich przekroczyły nawet 200 000 h i dalekie są jeszcze od wyczerpania trwałości (trwałość indywidualna). Dobrym przykładem są tu eksploatowane do tej pory rurociągi krajowe budowane w latach 1960 – 1980. Rurociągi te, pracujące w temperaturze nadgranicznej liczone były (grubość ścianki odcinków prostych), na podstawie wytrzymałości czasowej na 100 000 h i dla temperatur obliczeniowych o 5°C wyższych od temperatury czynnika. Naprężenie dopuszczalne  $\sigma_{op}$  liczono ze współczynnikiem bezpieczeństwa  $\sigma_x = 1,65$ . Dane obliczeniowe i eksploatacyjne wskazują, że tak dobrane grubości ścianek są znacznie zawyżone. Umożliwia to dalszą, bezpieczną eksploatację elementów po przekroczeniu projektowanego czasu pracy ( $\tau_o$ ). Potwierdzają to również dane i doświadczenia światowe, wg których elementy projektowane na 100 000 h przepracowały do tej pory bezawaryjnie 200 000 h, a ich indywidualny czas eksploatacji przewiduje się do 2020 r., co oznacza, że ich sumaryczny czas pracy może być prognozowany na 300 000 h [18].

Trwałość elementów urządzeń energetycznych w dużym stopniu zależy od warunków eksploatacji, rozwiązań konstrukcyjnych, technologii i użytkowania oraz jest umownym kompleksowym wskaźnikiem stanowiącym połączenie wielu cech struktury i własności metalu.

Techniczna ocena elementu zmierzająca do określenia jego indywidualnej trwałości polega więc na skójarzonej działalności diagnostycznej, w której wyróżnia się trzy zasadnicze etapy.

#### TECHNICZNY STAN DOTYCHCZASOWY (**Retrospekcja**):

- analiza projektu technicznego (porównanie stanu istniejącego z dokumentacją),
- analiza dotychczasowych warunków pracy (informacje nt. nieprawidłowości eksploatacyjnych – gromadzenie danych ruchowych)
- analiza zaistniałych uszkodzeń wraz z określeniem warunków i przyczyn ich powstawania,
- analiza wyników dotychczas wykonanych badań i pomiarów diagnostycznych.

TECHNICZNY STAN OBECNY (**Diagnoza**) – wskazane jest wykonanie działań diagnostycznych oceniających aktualny stan elementu takich jak:

- przeglądy,
- badania nieniszczące,
- badania niszczące,
- obliczenia wytrzymałościowe oparte na rzeczywistych danych (pomiar i badania) elementu w rzeczywistych warunkach pracy).

TECHNICZNY STAN PRZEWIDYWANY (**Prognoza**) - określenie przydatności elementu przez:

- wyznaczenie jego dalszego indywidualnego czasu pracy ( $\tau_i$ )
- wyznaczenie czasu nadzoru diagnostycznego ( $\tau_s$ ) – częstotliwość i zakres kolejnych badań diagnostycznych,
- określenie warunków dalszej eksploatacji,
- podanie wniosku odnośnie do ewentualnej wymiany.

Analizując opisane metody oceny stopnia wyczerpania trwałości na podstawie danych doświadczalnych można stwierdzić, że:

- przy działaniu wysokich naprężeń ocenę należy prowadzić wg wartości stosunku naprężenia dopuszczalnego do naprężenia rzeczywistego,
- przy długotrwałej eksploatacji ocenę należy wykonywać metodą obliczeniową,
- w celu uzyskania dokładnych informacji metodę obliczeniową należy uzupełniać badaniami struktury i oceną jej stanu przy wykorzystaniu metod klasyfikacji stopnia wyczerpania powiązanego ze zmianami struktury oraz destrukcją fizyczną metalu,
- badania diagnostyczne nieniszczące (w tym repliki) powinny być wykonywane okresowo w celu uzyskania informacji o obecnym stanie elementów,
- badania niszczące, związane z naruszeniem całego elementu, mogą być wykonywane jedynie na odcinkach prostych rurociągów, a ich wynik nie wnosi istotnych informacji o zmianach własności podczas eksploatacji, dotyczy to szczególnie własności doraźnych,
- badania wytrzymałości czasowej – pełzanie,
- wykonanie badań diagnostycznych polegających na:
  - przeglądach,

- badaniach nieniszczących i niszczących,
- obliczeniu dopuszczalnego (indywidualnego) czasu pracy,
- analizie obecnych warunków eksploatacji,
- określenie dalszej przydatności elementów:
  - wyznaczenie pozostałego czasu pracy (trwałość resztkowa),
  - zalecenia odnośnie do prowadzenia sposobu dalszej eksploatacji, zakresów i terminów remontów, wymian i modernizacji.

Wszystkie działania diagnostyczne, mające na celu ocenę aktualnego stanu technicznego elementu oraz ich dalszej przydatności, są z punktu widzenia użytkownika konieczne i nieodzowne.

Wynika to między innymi z postępującej dekapitalizacji urządzeń w energetyce, zmuszającej służby diagnostyczne do oceny stopnia wyeksploatowania elementów ciśnieniowych (w tym elementów pracujących w warunkach pełzania) oraz do podejmowania decyzji co do dalszych ich losów.

Pamiętać również należy, że trwałość poszczególnych elementów nie jest jednakowa, co jest dla użytkowników trudnym problemem. Użytkownik ma bowiem do wyboru częściową (nierzadko bardzo skomplikowaną technologicznie) wymianę elementów konstrukcji bądź wymianę całkowitą. Ocena stanu polega więc na kompleksowych czynnościach diagnostycznych popartych obliczeniami wytrzymałościowymi. Tylko takie postępowanie może zapewnić wiarygodność oceny.

## Wnioski

- Dane eksploatacyjne i laboratoryjne wskazują, że obliczane elementy wg  $R_{z/1,65}$  mogą pracować znacznie dłużej niż projektowy czas pracy.
- Rzeczywista trwałość (indywidualny dalszy czas pracy) elementów zależna jest od warunków pracy, a szczególnie temperatury ścianki elementu.
- Najbardziej wiarygodne są metody obliczeniowe oparte na rzeczywistych parametrach pracy oraz wymiarach – sposób zalecany przez normy europejskie (metoda wykreślna lub analityczna).
- W celu podniesienia wiarygodności metod obliczeniowych wskazane jest uzupełniać je badaniami metalograficznymi oraz pomiarami odkształcenia.
- Żadna ze stosowanych metod [3], [7], [17] oceny stopnia wyczerpania trwałości elementów ciśnieniowych nie dają 100% pewności.
- Ostateczną ocenę należy poprzeć badaniami diagnostycznymi, których wyniki mają na celu dokonanie oceny rzeczywistego stanu elementu zależnego nie tylko od degradacji pełzaniowej metalu.

## Literatura

- [1] Dobosiewicz J.: Przydatność elementów kotłów po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy. *Energetyka* 1984, nr 8
- [2] VGB Merkblatt Lebensdauer Verlängerung von Konventionalen Kraftwerksblöcken, VGB-M13

- [3] Instrukcja oceny stanu oraz kwalifikowania do wymiany komór, kolektorów, rurociągów kotłowych i głównych parowych pracujących w warunkach pełzania. MGIe, Warszawa 1986
- [4] Zbroińska-Szczuchura E., Dobosiewicz J., Rauszer A.: Warunki pracy niektórych elementów kotłów parowych. *Energetyka* 1992, nr 9
- [5] Zbroińska-Szczuchura E.: Niektóre kryteria oceny trwałości elementów ciśnieniowych bloków energetycznych pracujących w warunkach pełzania. *Energetyka* 1997, nr 1
- [6] Zbroińska-Szczuchura E.: Trwałość elementów rurociągów parowych. *Energetyka* 1993, nr 7
- [7] Yoshitsu Sud, Matoyuschi Tuaka: Development of non-destructive damage detection and life evaluation technology for Lang term used Boiler Pressure Pats. International Konferense LIVE ASSESSMENT, 1998
- [8] Dobrzański J., Hernas A., Klimas H.: Materiałoznawcze podstawy przedłużania czasu bezpiecznej eksploatacji elementów krytycznych kotła. *Energetyka* 1997, nr 10
- [9] VGB Technisch-wissenschaftliche Berichte. VGB-TW-507, Ausgabe 1992
- [10] Trzeszczyński J., Stachura S.: Przydatność badań niszczących dla oceny stanu technicznego rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. *Energetyka* 1997, nr 3
- [11] Dobosiewicz J.: Uszkodzenia kolan rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. *Energetyka* 1991, nr 4
- [12] Szczygielski M., Pizon E.: Diagnostyka kolan rurociągów parowych. *Energetyka* 2002, nr 5
- [13] PD 10-262-98 Tipowaje a instukcyja po kontroluj mietała i prodleniju sroka służby osnownych elementow kotłow turbin i turboprowodow ciepłowych elektrostancyi
- [14] ASME Code for Pressure piping B.31, An American national Standard
- [15] Design of Piping Systems the MW KE1LOGG Company
- [16] Praca zbiorowa IE - Zakład Materiałoznawstwa - Uzgodniona z UDT, System diagnostyki materiałowej podstawowych elementów urządzeń energetycznych
- [17] EN norma obliczania stopnia wyczerpania
- [18] Rentala J. i inni: „Żywotność rurociągów parowych powyżej 200 000 h eksploatacji” – BALTICA VII „Life Management an Maintenance for Plants” vol. 1 – 2007



Alfred Śliwa, Paweł Gawron

## Pasywacja rur mosiężnych jako sposób przeciwdziałania procesom korozyjnym na początku ich eksploatacji

Jednym z najczęściej używanych metali do wyrobu kondensatorów turbinowych, podgrzewaczy regeneracyjnych oraz innych wymienników ciepła jest miedź i jej stopy. Najczęściej orurowanie skraplaczy i ww. wymienników ciepła wykonywane jest z mosiądzu typu MC-70 i MA-77. Ostatnio coraz częściej ze względów większej odporności korozyjnej na orurowanie stosuje się stopy miedzioniklowe, stale nierdzewne, kwasoodporne oraz tytan.

Odporność korozyjna miedzi i jej stopów w warunkach ruchowych zależy od stanu i szczelności tlenkowej warstewki ochronnej. Zwiększenie trwałości rur skraplaczy i innych wymienników ciepła wykonanych ze stopów miedzi osiąga się poprzez:

- zmniejszenie agresywności wody chłodzącej,
- stosowanie odpowiednich dodatków stopowych przy produkcji rur,
- stosowanie dodatków do wód inhibitujących procesy korozyjne,
- pokrywanie rur warstewkami ochronnymi. Trwałość rurek zależy również od:
- procesu technologicznego produkcji rur,
- stanu powierzchni rur po procesie produkcji,
- warunków cieplno-chemicznych w początkowym okresie eksploatacji,
- warunków cieplno-chemicznych w czasie dalszej eksploatacji.

Warunki te mają wpływ na procesy niszczenia korozyjnego materiału rur, które mogą mieć charakter niszczenia równomiernego lub lokalnego.

Jednym z najbardziej rozpowszechnionych rodzajów niszczenia rur jest korozja selektywna (odcynkowanie, odniklowanie). O jej występowaniu świadczy obecność na powierzchni mosiądzu gąbczastej miedzi w postaci korków. Procesom odcynkowania sprzyja zawartość tlenu w wodzie, brak lub uszkodzenie warstewek ochronnych lub miejscowe zanieczyszczenia mechaniczne i chemiczne (chlorki, siarczany, azotany). Wpływ na procesy korozyjne ma również niewłaściwa prędkość przepływu wody (nadmierna uniemożliwia utworzenie się warstewki ochronnej) oraz obecność substancji organicznych. Hamujący wpływ na przebieg procesów korozyjnych ma obecność szczelnych warstewek ochronnych, naturalnych lub celowo wytworzonych.

### Odporność korozyjna rurek mosiężnych

Jak już wspomniano odporność korozyjna rur skraplaczy i wymienników ciepła wykonanych ze stopów miedzi zależna jest w istotnym stopniu od trwałości tlenkowych warstewek ochronnych.

Nowe rurki, spełniające wymogi norm, wykonane ze stopów miedzi mogą przetrwać około 20 lat w dobrym stanie. Doświadczenia eksploatacyjne wykazują jednak, że nie musi to być regułą.