



Zespół redakcyjny: mgr inż. Jerzy Dobosiewicz, dr inż. Jerzy Trzeszczyński

Mgr inż. Ewa Zbroińska-Szczuchura

UKD 621.31:621.181.021.004.5

Pro Novum

## Trwałość elementów rurociągów parowych

Grubość ścianek elementów urządzeń pracujących w warunkach pełzania oblicza się na podstawie wytrzymałości czasowej, toteż ich trwałość jest ograniczona. Z doświadczeń eksploatacyjnych wynika jednak, że wycofywanie tego rodzaju urządzeń z eksploatacji, po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy, jest technicznym nieporozumieniem.

Z obowiązujących przepisów — dotyczących obliczania wytrzymałości elementów rurociągów pracujących w temperaturze nadgranicznej — wynika, że za dopuszczalne naprężenie należy przyjmować jedną z dwóch wartości:

$$K_{III} = \frac{R_{z(\tau)t_0}}{1,65} \quad (1)$$

$$K_{IV} = R_{1(\tau)t_0} \quad (2)$$

- $R_{z(\tau)t_0}$  — średnia gwarantowana wytrzymałość materiału na pełzanie w czasie  $\tau$  przy temperaturze  $t_0$ ,
- $R_{1(\tau)t_0}$  — średnia gwarantowana czasowa granica pełzania materiału przy 1-procentowym trwałym odkształceniu w czasie  $\tau$  przy temperaturze  $t_0$ .

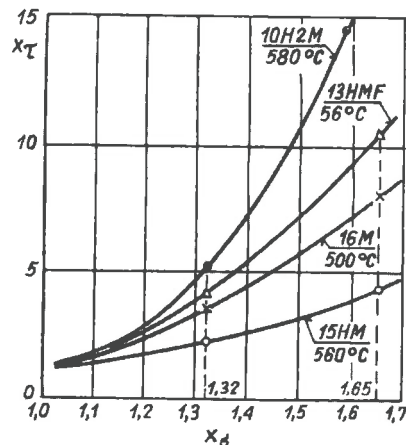
Najczęściej dopuszczalne naprężenie jest ograniczone wartością  $K_{III}$ . Wtedy wytrzymałościowy współczynnik bezpieczeństwa  $x_\sigma$  po przekroczeniu 100 000 godzin pracy elementu wyniesie 1,65 i podczas dalszej eksploatacji będzie stopniowo malał do jedności. Całkowite odkształcenie elementu w tym czasie może nadal być mniejsze niż 1%.

Rozpatrując znaczenie wytrzymałościowego współczynnika bezpieczeństwa można stwierdzić, że w dotychczasowej metodzie obliczeniowej zakładano uszkodzenie elementu po 100 000 godzin 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 rurociągu. Należy również zaznaczyć, że przed upływem 100 000 godzin pracy wytrzymałościowy współczynnik bezpieczeństwa jest większy od 1,65 — zatem pojęcie wytrzymałościowego współczynnika bezpieczeństwa

przy obliczeniach opartych na wytrzymałości czasowej istotnie różni się od pojęcia tego współczynnika określonego dla granicy plastyczności.

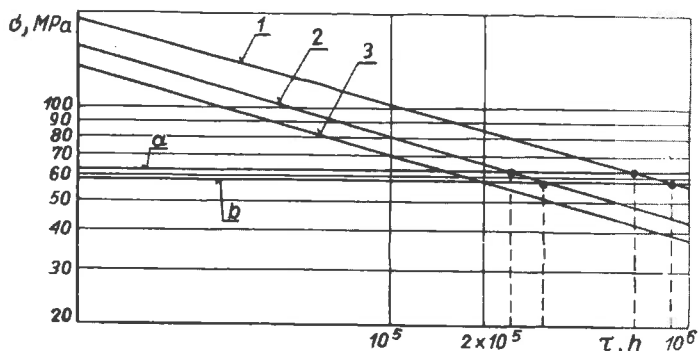
Dla dopuszczalnych temperatur pracy stali stosowanych w kraju do budowy rurociągów, przy wytrzymałościowym współczynniku bezpieczeństwa  $x_\sigma = 1,65$  — czasowy współczynnik bezpieczeństwa  $x_\tau$  jest większy od 4 (rys. 1). Gdy do obliczeń wykorzystana jest nie średnią gwarantowaną wytrzymałość czasową (rozrzut 20%), lecz jej minimalną wartość ( $0,8 R_{z(10^5)t_0}$ ), to wtedy wytrzymałościowy współczynnik bezpieczeństwa tych stali  $x_\sigma = 1,65 \times 0,8 = 1,32$ , a czasowy współczynnik bezpieczeństwa  $x_\tau$  jest ciągle jeszcze większy od 2. Oznacza to, że odcinki proste rurociągów liczone wg uprzednio obowiązujących przepisów mogą niezawodnie pracować co najmniej 200 000 godzin. Znajduje to potwierdzenie w obliczeniach wykonanych wg PN-79/M-34033, tj. gdy przyjmie się:

$$K_{III} = \frac{R_{z \text{ min } (2 \times 10^5)t_0}}{1,15} \quad (3)$$



Rys. 1. Zależność czasowego współczynnika bezpieczeństwa  $x_\tau$  od wytrzymałościowego współczynnika bezpieczeństwa  $x_\sigma$  dla różnych gatunków stali

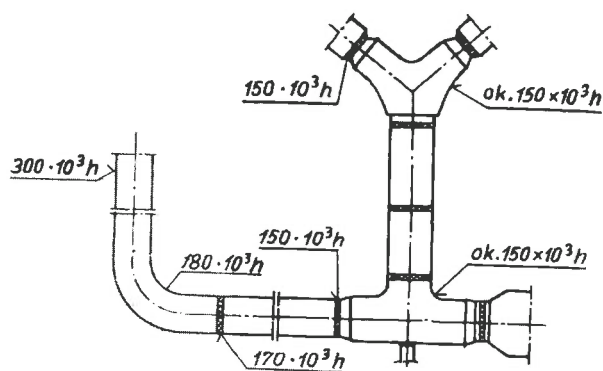
Stare rurociągi przeliczone wg (3) uzyskują teoretyczne czasy pracy większe od 200 000 godzin. Różnice naprężeń wynikające z dotychczasowego sposobu obliczania i zalecanego przez wymienioną normę są niewielkie, toteż można je pominąć (rys. 2), a w obu przypadkach trwałość przeliczono na 200 000 godzin. Dotyczy to oczywiście prostych odcinków rurociągów — natomiast pozostałe elementy, takie jak: kolana, trójniki, czwórniki, spoiny przy kolanach i kształtkach charakteryzują się czasem pracy (trwałością) znacznie krótszym (rys. 3), gdyż zależy on od rzeczywistych naprężeń działających w tych elementach. Naprężenia te są znacznie wyższe od panujących w odcinkach prostych, co może być powodowane działaniem naprężeń dodatkowych (niewłaściwe reakcje zamocowań, niewłaściwe spady, histereza zamocowań) oraz ich koncentracją.



Rys. 2. Wykres różnorodnych metod obliczeń (skala podwójna logarytmiczna)

$$1 - R_{z(\tau)t}; 2 - 0,8 R_{z(\tau)t}; 3 - \frac{0,8 R_{z(\tau)t}}{1,15}; a) \sigma = \frac{R_{z(10^5)540^\circ C}}{1,65};$$

$$b) \sigma = \frac{0,8 R_{z(2 \times 10^5)540^\circ C}}{1,15}$$



Rys. 3. Trwałość niektórych elementów rurociągów

Najczęściej obniżenie trwałości wynika z — nie uwzględnianej w obliczeniach projektowych — koncentracji naprężeń. Tymczasem powinna być ona uwzględniana, zważywszy na osiągnięcia inżynierii materiałowej, dzięki którym w obliczeniach wytrzymałościowych można brać pod uwagę wpływ wymienionych czynników.

Na obniżenie trwałości kolan wpływają następujące czynniki:

- metalurgiczne — zmiany własności mechanicznych (zwłaszcza plastyczności) wskutek niewłaściwej obróbki cieplnej,

- technologiczne — zmiany geometrii przekroju poprzecznego (owalizacja średnicy oraz zmniejszenie grubości ścianki w strefie rozciągania),
- eksploatacyjne — zmiany grubości ścianki oraz pęknięcia zmęczeniowo-korozyjne.

Najbardziej na trwałość kolan wpływają ścienienie ścianki i owalizacja, dlatego kolana powinny być wykonane z owalizacją nie większą niż 4%, a grubość ścianki nie powinna być mniejsza od grubości obliczeniowej odcinka prostego. Wynika z tego konieczność stosowania na kolana rur o większej grubości, np. przez dobieranie odcinków z tolerancją plusową.

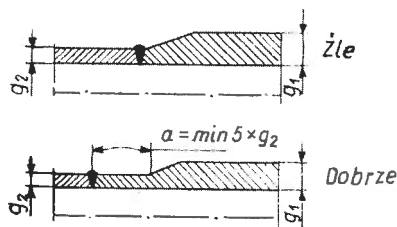
Z analizy danych dotyczących obliczania trwałości spoin wynika, że ich uszkodzenia występują najczęściej przy kształtkach (trójniki, zasuwy, odcinek przejściowy), natomiast rzadziej — przy połączeniach kolano — prostka (bez uwzględnienia rurociągów o grubości ścianki powyżej 40 mm, gdzie miejsca występowania pęknięć są zupełnie inne).

W rurociągach o grubości ścianki mniejszej od 40 mm występuje kilka rodzajów pęknięć spoin, m.in.:

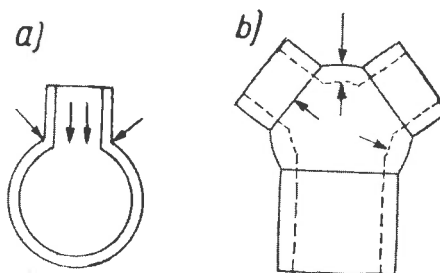
- pęknięcia technologiczne podłużne i poprzeczne w samej spoinie,
- pęknięcia pochodzenia eksploatacyjnego w strefie wpływu ciepła.

Najsilniej na trwałość rurociągów wpływają pęknięcia eksploatacyjne, których jest najwięcej. Przyczyną ich powstawania są koncentracje naprężeń oraz — rzadziej — naprężenia dodatkowe (przy kształtkach). Liczbę tych uszkodzeń można zmniejszyć np. przez zmianę przejścia spoiny w kształtkę (rys. 4) oraz uwzględnienie w obliczeniach grubości ścianki współczynnika koncentracji naprężeń podłużnych, który zależy od rodzaju zastosowanego materiału i temperatury pracy.

Jeżeli chodzi o trójniki, to najczęściej uszkodzają się w okolicy przejścia rury bocznej w główną — trójniki typu T (rys. 5a), rzadziej — trójniki typu Y (rys. 5b). Jak dotychczas nie stwierdzono uszkodzeń czwórników zabudowanych na niektórych rurociągach bloków o mocy 200 MW. Z reguły przyczyną uszkodzeń trójników są, nie uwzględniane w obliczeniach, spiętrzenia naprężeń wywołane zmianą przekroju.



Rys. 4. Przejście spoiny w kształtkę



Rys. 5. Umiejscowienie uszkodzeń w trójniku typu T (a) i w trójniku typu Y (b)

Trwałość poszczególnych elementów rurociągu nie jest jednakowa i wynosi od 150 000 do 300 000 godzin. Wynika to ze stosowania niewłaściwych obliczeń grubości ścianek, tj. odnoszących się jedynie do odcinków prostych, bez uwzględnienia współczynników koncentracji naprężeń w elementach typu trójniki, czwórniki, zwężki, kolana oraz przyległych do nich spoinach.

Taki stan rzeczy stwarza trudny problem użytkownikowi rurociągu. Jest on zmuszony zdecydować się na częściową, bardzo skomplikowaną technologicznie, wymianę rurociągu bądź na jego całkowitą wymianę. W tym drugim przypadku wyrzuca na złom zupełnie jeszcze przydatne elementy rurociągu.

Projektanci powinni zatem tak konstruować poszczególne elementy rurociągów, aby ich rzeczywisty czas pracy był do siebie zbliżony.

## LITERATURA

- [1] Dobosiewicz J., Prohaska N.: Niezawodność połączeń spawanych rurociągów parowych. *Energetyka* 1976, nr 3
- [2] Dobosiewicz J.: Obwodowe pęknięcia połączeń spawanych rurociągów energetycznych. *Energetyka* 1971, nr 12
- [3] Dobosiewicz J.: Pęknięcia spoin obwodowych wysokopiętnych rurociągów parowych. *Energetyka* 1988, nr 12
- [4] Dobosiewicz J., Wojczyk K.: Trwałość kolan rurociągów parowych. *Energetyka* 1988, nr 3
- [5] Dobosiewicz J.: Uszkodzenia kolan rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. *Energetyka* 1991, nr 4
- [6] Instrukcja oceny oraz kwalifikowania do wymiany komór, kolektorów, rurociągów kotłowych i głównych rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. Warszawa 1986
- [7] Instrukcja badań i pomiarów oraz oceny stanu technicznego głównych rurociągów parowych w elektrowniach i elektrociepłowniach. PRO NOVUM, Katowice 1993 (nie publ.)



Mgr inż. Jerzy Dobosiewicz

Pro Novum

UKD 621.31:621.165.004.87

## Eksplatacyjna przydatność turbin małej mocy po przekroczeniu 200 000 godzin pracy

Czas eksploatacji wielu turbin małej mocy przekroczył już 200 000 godzin. Są to maszyny o mocy do 60 MW, których temperatura pracy jest nie większa niż 500°C. O stopniu wyczerpania ich trwałości decydują zmęczenie mały-cykliczne i zmęczenie cieplne, w odróżnieniu od turbin o wyższych parametrach, których dalsza przydatność eksploatacyjna zależy przede wszystkim od zjawiska pełzania.

Turbiny małej mocy mogą być eksploatowane dłużej, wymagają jednak nieco odmiennego podejścia do oceny ich stanu, polegającego na bezpośrednich przeglądach i badaniach, a nie tylko na obliczeniach opartych na katalogowych własnościach materiału.

Krytycznymi elementami tych turbin są — podobnie jak w maszynach większych — łopatki, wirniki, kadłuby oraz zawory.

### Łopatki

Łopatki — wykonane zwykle ze stali nierdzewnej H13 — nie pracują w warunkach pełzania, toteż ocena stopnia ich wyczerpania powinna być oparta jedynie na określeniu mechanicznego (erozja) i korozyjnego zużycia materiału.

Uszkodzenia erozyjne są z reguły znikome, choć z czasem erozyjne ubytki materiału mogą stać się na tyle znaczne, że powodują wzrost naprężeń mogący doprowadzić do poważnych uszkodzeń. Główną przyczyną korozji jest niewłaściwa jakość pary, zwłaszcza zawartość w niej tlenu oraz innych agresywnych czynników, takich jak jony:  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $SiO_4^{4-}$ .

Stan łopatek może być oceniony przez dokonanie przeglądu i rejestrowanie ubytków oraz dzięki badaniom nieniszczącym wykonywanym w celu wykrycia pęknięć na ich krawędziach, zwłaszcza w okolicy drutów usztywniających oraz bandaży w pobliżu nitów łopatek. Gdy ubytki materiału lub pęknięcia łopatek są większe od 20% ich szerokości — należy je wymienić. Stan łopatek, drutów i bandaży można poprawić przez spawanie.

Innym problemem są osady odkładające się na łopatkach, które powodują nie tylko spadek sprawności, ale również wzrost naprężeń (od siły odśrodkowej). Osady grubsze niż 1 mm powinny być usuwane, najlepiej za pomocą silnego strumienia wody lub przez piaskowanie.

Ostatnie stopnie łopatek ulegają często korozji naprężeniowej, zwłaszcza pracujące w strefie Wilsona lub w jej pobliżu. Tego rodzaju pęknięcia pojawiają się nagle — zwłaszcza wtedy, gdy para jest zanieczyszczona — toteż są trudne do wykrycia badaniami nieniszczącymi podczas okresowych przeglądów. W przypadku ich wystąpienia należy możliwie jak najszybciej wymienić cały rząd łopatek.

### Wirniki

Stopień wyczerpania materiału wirnika zależy ściśle od jego własności wyjściowych, miejscowych temperatur i naprężeń. Na trwałość wirnika wpływają:

- uszkodzenia kruche,
- zmęczenie,
- korozja.