

Obliczenie trwałości elementów rurociągów parowych eksploatowanych powyżej 150 000 h

Rurociągi i ich elementy (kształtki) budowane i projektowane w latach 1960—1980, a pracujące w warunkach pełzania, tj. powyżej temperatury granicznej dla danego typu stali miały grubości ścianek liczone na podstawie wytrzymałości czasowej odcinków prostych, co oznacza, że ich trwałość jest ograniczona. Z doświadczeń eksploatacyjnych wynika jednak, że wycofanie ich z eksploatacji, po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy, jest technicznym nieporozumieniem. Do obliczeń z reguły wykorzystywane były wartości wytrzymałości czasowej na 100 000 godzin dla temperatur obliczeniowych o 5°C wyższych od temperatury czynnika. Naprężenie dopuszczalne K [MPa] liczone ze współczynnikiem bezpieczeństwa $x = 1,65$. Z obowiązujących przepisów wynika, że za dopuszczalne naprężenie należy przyjmować jedną z dwóch wartości (wg przepisów UDT).

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

$$K^{IV} = R_{I(\tau)t_0} \quad (2)$$

$R_{z(\tau)t_0}$ – średnia gwarantowana wytrzymałość materiału na pełzanie w czasie τ przy temperaturze t_0 ,

$R_{I(\tau)t_0}$ – średnia gwarantowana czasowa granica pełzania materiału przy 1-procentowym trwałym odkształceniu.

Dopuszczalne naprężenie najczęściej jest określone dla wartości K^{III} . Wtedy wytrzymałościowy współczynnik bezpieczeństwa x_0 po przekroczeniu 100 000 h pracy elementu wyniesie 1,65 i podczas całej eksploatacji będzie stopniowo malał do jedności. Całkowite odkształcenie elementu w tym czasie może nadal być mniejsze niż 1%.

Stare rurociągi przeliczane są wg wzoru obowiązującego w PN-79/M-34033, tj.:

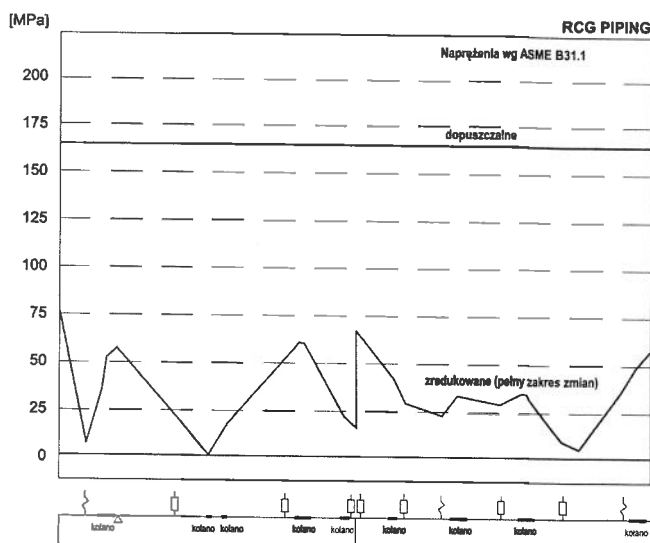
$$K^{III} = \frac{R_{z \min}(2 \times 10^5)t_0}{1,15} \quad (3)$$

$R_{z \min}(2 \times 10^5)t_0$ – minimalna (rozrzut 20%) wartość wytrzymałości materiału na pełzanie w czasie τ przy temperaturze t_0 .

Uzyskują one teoretyczne czasy pracy większe od 200 000 h. Dotyczy to oczywiście prostych odcinków

rurociągów – natomiast pozostałe elementy, takie jak: kolana, trójniki, czwórniki, spoiny przy kolanach i kształtkach charakteryzują się czasem pracy znacznie krótszym, ponieważ zależy on od rzeczywistych naprężeń działających w tych elementach.

Naprężenia te są znacznie wyższe od panujących w odcinkach prostych, co może być spowodowane działaniem naprężeń dodatkowych (niewłaściwe reakcje zamocowań, niewłaściwe spady, histereza zamocowań) oraz ich koncentracją. W wielu przypadkach naprężenia zredukowane w pracującym układzie rurociągu nie przekraczają naprężeń dopuszczalnych (rys. 1).



Rys. 1. Poziomy naprężenia zredukowanych i dopuszczalnych wg ANSI/ASME B31.1 dla rurociągu pary świeżej bloku 200 MW (wg Sprawozdania *Pro Novum* — nie publ.)

Trwałość obliczeniowa (obliczeniowy czas pracy) poszczególnych elementów rurociągu nie jest jednakowa, co wynika ze stosowania niewłaściwych obliczeń grubości ścianek, tj. odnoszących się jedynie do odcinków prostych, bez uwzględnienia współczynników koncentracji naprężeń w kształtkach oraz w przyległych do nich spoinach (tabela 1).

Taki stan rzeczy stwarza trudny problem dla użytkownika rurociągu. Jest on często zmuszony zdecydować się na częściową, bardzo skomplikowaną technologicznie wymianę rurociągu bądź na wymianę całkowitą.

W tym drugim przypadku wyrzuca się na złom zupełnie jeszcze przydatne elementy rurociągu. Projektanci powinni zatem tak konstruować poszczególne elementy rurociągów, aby ich rzeczywisty czas pracy był do siebie zbliżony.

Tabela 1

Obliczeniowy czas pracy dla kolan i odcinków prostych głównych rurociągów parowych kotłów 120 i 200 MW

Przepracowana liczba godzin, h	Kolano	Odcinek prosty
◆ 170 000	210 000	300 000
◇ 170 000	185 000	250 000
◆ 151 000	180 000	245 000
◇ 151 000	158 000	245 000
◆ 147 000	190 000	≥300 000
◇ 147 000	211 000	≥300 000

- ◆ rurociągi pary świeżej (pierwotnie przegrzanej)
- ◇ rurociągi pary wtórnej

W celu jednoznacznego określenia stanu, w którym znajdują się rurociągi proponuje się wprowadzenie następującego nazewnictwa czasowego:

- czas normatywny t_n gdzie grubość ścianki została obliczona wg starych norm:
 - $R_z/100000$ – wartość średnia
 - współczynnik bezpieczeństwa $x = 1,65$
 - temperatura obliczeniowa t_o – równa temperaturze czynnika + 5°C
 - ciśnienie obliczeniowe p_o
- czas przeliczeniowy gdzie grubość ścianki obliczono wg:
 - $R_z/200000$ – wartość minimalna
 - współczynnik bezpieczeństwa (rozrzut 20%) wg TRD $x = 1,5$
 - temperatura obliczeniowa t_o – równa temperaturze czynnika + 5°C
 - ciśnienie rzeczywiste p_{rz}
- czas indywidualny dla rzeczywistych wymiarów:
 - elementu g_{rz} wg wykonanych pomiarów (np. ultradźwięk)
 - temperatury obliczeniowe równe rzeczywistej temperaturze czynnika (wg zapisów rejestratorów) + 5°C
 - $R_z/200000-300000/tr$ – wartość minimalna
 - współczynnik bezpieczeństwa $x = 1,15$

W tabeli 2 zestawiono rzeczywisty czas pracy z przeliczeniem wg powyższych zasad.

Tabela 2

Zestawienie rzeczywistego czasu pracy kolana rurociągu i czasów przeliczeniowych

Rzeczywisty czas pracy rurociągu, h	Przeliczeniowy czas pracy rurociągu, h	Indywidualny czas pracy rurociągu, h	Specjalnego nadzoru diagnost. ²⁾
~ 150 000	180 000	327 000	196 000
~ 150 000	158 000	200 000	156 000
~ 160 000	137 000 ¹⁾	210 000	125 000
~ 160 000	230 000	310 000	230 000

- 1) niższa wartość czasu przeliczeniowego w stosunku do rzeczywistego czasu pracy świadczy o zbyt konserwatywnym podejściu w obliczeniach grubości ścianek elementu.
- 2) czas specjalnego nadzoru wprowadzony przy prowadzonych nadzorach nad głównymi rurociągami parowymi jako 60% czasu obliczeniowego.

Podsumowanie

- Nie wszystkie elementy rurociągów mają jednakową trwałość, najczęściej różnice w obliczeniach trwałości wynikają z nie uwzględnionej w obliczeniach projektowych koncentracji naprężeń. Tymczasem powinna ona być uwzględniona zważywszy na osiągnięcia inżynierii materiałowej, dzięki którym w obliczeniach wytrzymałościowych można brać pod uwagę m.in. zmiany własności mechanicznych wskutek niewłaściwej obróbki cieplnej, zmiany geometrii przekroju poprzecznego oraz zmiany grubości ścianki (pęknięcia zmęczeniowo-korozyjne).
- Obliczenie trwałości powinno polegać na uwzględnieniu rzeczywistej geometrii i rzeczywistych parametrów pracy, szczególnie temperatury, która może być mierzona i rejestrowana w taki sposób, aby czas pracy w poszczególnych temperaturach był sumowany oddzielnie, np. 530—550°C co 5°C lub ustalana na podstawie grubości warstwy tlenków.
- Dla kolan po przekroczeniu 60% indywidualnego czasu pracy należy wykonać badania niszczące w następującym zakresie:
 - pomiar grubości ścianki, owalizacji,
 - badania za pomocą replik w miejscach maksymalnej owalizacji na łuku zewnętrznym oraz dla porównania na odcinku prostym kolana,
 - badania magnetyczne na powierzchni zewnętrznej w strefie rozciąganej, przy spoinie kolana, zmian geometrii kształtek,
 - pomiar grubości warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej (pobór korka).

LITERATURA

- [1] Zbrońska-Szczuchura E.: Trwałość elementów rurociągów parowych. *Energetyka* 1993, nr 7
- [2] TRD 301 i 508. Niemcy
- [3] Instrukcja badań i pomiarów oraz oceny stanu technicznego głównych rurociągów parowych w elektrowniach i elektrociepłowniach. *Pro Novum* PN/19.245/93 (Uzgodniona przy piśmie UDT sygn. DC-29/93), Katowice 1993
- [4] RD 34.17,421-92. Rosja
- [5] Warunki techniczne Dozoru Technicznego. Obliczenia wytrzymałościowe. Urządzenia ciśnieniowe DT-UC-90/WO-O-1991

pronovum[®]
RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES

www.pronovum.com.pl
40-534 Katowice, ul. Czajek 41