

- [3] Goczoł J.: Skłonność do starzenia stali 15NiCuMnB. Konferencja „Stale dla energetyki”. Opole 1979
- [4] Wellinger K., Krageloh E., Kussmaul K.: Die Bruchgefahr bei Reaktordruckbehältern und Rohrleitungen. *Nuclear Engineering and design* 1972, nr 10. North Holland Publishing Company
- [5] Kussmaul K., Wellinger K.: Stähle im Kesselbau. *Brennstoff-Wärme* 1967, nr 2
- [6] Kussmaul K.: Beobachtungen an Hochleistungs-Kesseltrommeln, *VGB* 1969, nr 2
- [7] Piehl K. H.: Untersuchungen über Versagen einer Kesseltrommel bei der Druckprobe. *VGB* 1970 nr 4
- [8] Salzmann F.: Berstversuche an einem geschweißten. *VGB* 1989, nr 4
- [9] Szabols G.: Erfahrungen beim Berstversuch mit einer Kesseltrommel. *VGB* 1970, nr 5
- [10] Schoch W.: Bericht über die aufgetretenen Schäden an Kesseltrommeln. *VGB* 1966, nr 4
- [11] Stefanowicz J., Wachowiak A.: Wady struktury stali z dodatkiem miedzi. *Przegląd Mechaniczny* 1990, nr 1-2
- [12] Osamura K., Okuda H., Ochiai S., Takashima M., Asano K., Furusaka M., Koshida K., Kurosawa F.: Precipitation

- Hardening in Fe-Cu Binary and Quaternary Alloys. *ISIJ International*, 1994, vol. 34, No. 4, pp 359-365
- [13] Morita M., Sato K., Hosoya Y.: Factors Affecting Texture Formation of Cu-precipitation Hardening Cold-rolled Ate-el Sheet. *ISIJ International*, 1994, vol. 34, No. 1, pp 92-98
- [14] Osamura K., Okuda H., Asanom K., Furusaka M., Koshida K., Kurosawa F., Uemori R.: SANS Study of Phase Decomposition in Fe-Cu Alloy with Ni and Mn Addition. *ISIJ International*, 1994, vol. 34, No. 4, pp 346-354
- [15] Miller M. K., Russell K. F., Pareige P., Starink M. J., Thomson R. C.: Low temperature copper solubilities in Fe-Cu-Ni. *Materials Science and Engineering A250* (1998), pp 49-54
- [16] Druce S. G., Gage G., Jordan G.: Effect of ageing on properties of pressure vessel steels. *Acta Metall*, 1986, vol. 34, No. 4, pp. 641-652
- [17] Technische Vereinigung der Grosskraftwerksbetreiber Rundschreiben Nr 219. Essen den 9.10.1974. Behandlung von älteren Kesseltrommeln mit niedriger Kersbschlagzähigkeit

□

Marian Szczygielski,
Emil Pizon

Diagnostyka kolan rurociągów parowych

Kolana rurociągów parowych zaliczane są do kategorii względnie słabych elementów rurociągów parowych, szczególnie pary świeżej. Dokonując analizy trwałości kolan na podstawie istniejących norm i wytycznych [1-5] wyłaniają się pewne trudności.

Wymienione wytyczne nie uwzględniają bowiem:

- oddziaływania naprężeń dodatkowych wynikających z ekstremalnych obciążeń i momentów oraz efektów geometrycznych (niekołowość rur),
- wartości rzeczywistych zmieniających się w czasie naprężeń,
- rozrzutu wyjściowych wartości wytrzymałościowych,
- różnic między nominalnymi a rzeczywistymi warunkami pracy,
- miejscowych wpływów technologii (struktura, twardość itp.).

Krajowe i zagraniczne wytyczne zalecają wykorzystywać do obliczeń dolnej granicy wytrzymałości czasowej ($R_z - 20\%$), co w pewnym stopniu uwzględnia wpływ wymienionych czynników na obliczenia trwałości.

Analiza trwałości silnie wyęźzonych elementów rurociągów pracujących w warunkach pełzania jest zagadnieniem o wzrastającej aktualności.

Uzasadnione jest to z jednej strony niezbędnym zabezpieczeniem rurociągów znajdujących się już od dłuższego czasu w eksploatacji, a z drugiej stosowaniem zaawansowanych metod analiz trwałości w połączeniu z odpowiednimi urządzeniami kontrolnymi i pomiarowymi.

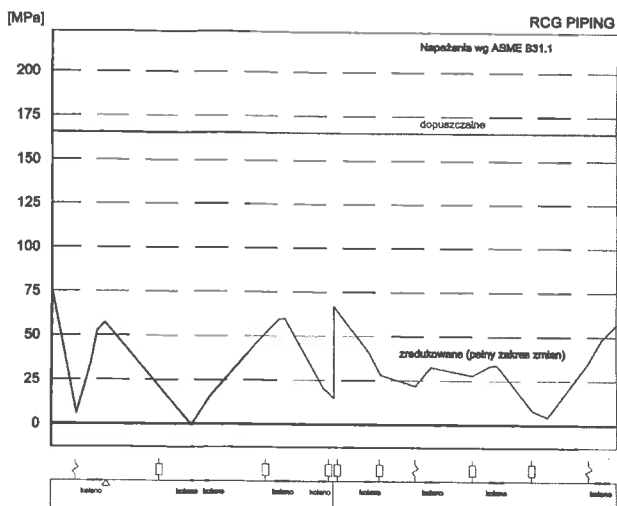
Wyznaczanie trwałości części rurociągów obciążonych pełzaniem wiąże się z dużym marginesem niepewności, wynikającym z:

- rozrzutu wytrzymałości czasowej,
- różnic między nominalną a rzeczywistą geometrią części,
- niepewności przy wyznaczaniu wartości obciążeń (ciśnienie, temperatura, ciężar, wydłużenia cieplne, owalizacja),
- miejscowych wpływów technologii produkcji, zmniejszających wytrzymałościowe własności tworzywa.

Obliczanie trwałości rurociągów parowych powinno składać się z:

- oceny rzeczywistych warunków pracy (geometria, ciśnienie, temperatura),
- ustalenia rzeczywistych naprężeń panujących w ścianie,
- oceny stanu metalu (struktura, twardość, badania nieniszczące, ustalenie naprężeń).

Przykładowy poziom naprężeń występujących na długości całego rurociągu przedstawiono na rysunku 1. Wartości naprężeń działających w kolanie rurociągu przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Poziomy naprężeń zredukowanych i dopuszczalnych wg ANSI/ASME B31.1 dla rurociągu pary świeżej bloku 200 MW

T a b e l a 1

Wyężenie kolana, Mpa:			
od ciśnienia	od ciśnienia + ciężaru	od ciśnienia + ciężaru + przemieszczenia	od owalizacji + ścienienie maks
68,0	69,0	86,0	17

T a b e l a 2

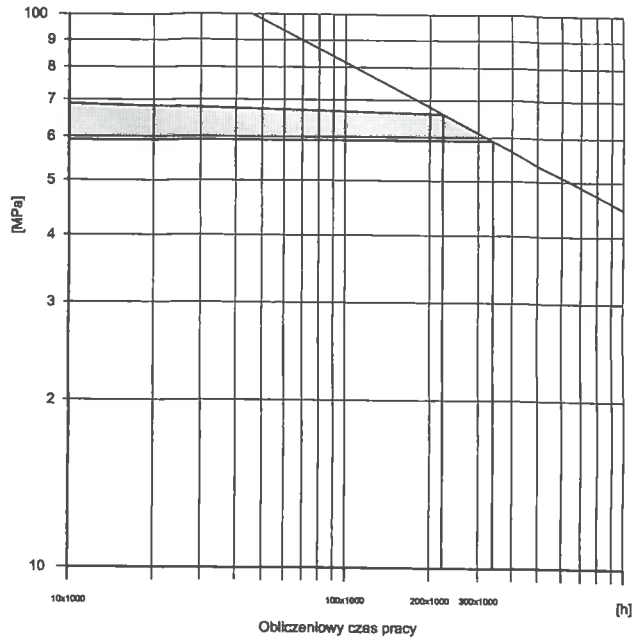
Napężenia, MPa	Trwałość, godz.
68	~200.000
69	~185.000
86	80.000

Uzyskane na podstawie wymienionych naprężeń trwałości przedstawiono w tabeli 2 oraz na rysunku 2 dla materiału 13HMF i temperatury 540°C.

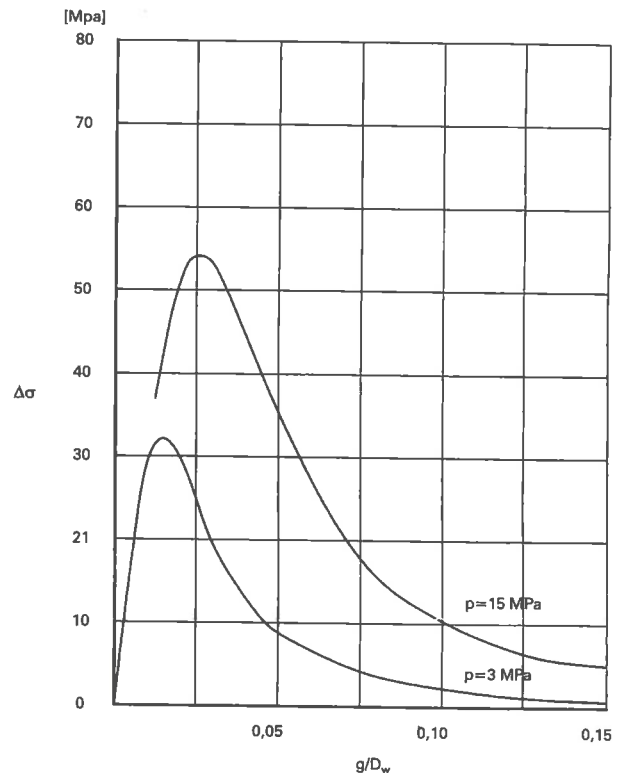
Trwałość obliczona jedynie na podstawie wpływu ciśnienia jest „nienormalnie” wysoka, a przy uwzględnieniu dodatkowych naprężeń maksymalnych wyraźnie zaniżona i niezgodna z danymi eksploatacyjnymi.

Powodem tego może być fakt, że w pierwszym przypadku ocena naprężenia jest bardzo uproszczona, a w pozostałych, że rzeczywiste wymiary są różne od nominalnych, a przede wszystkim, że w czasie pracy rurociągów na skutek procesu pełzania następuje spadek naprężeń, szczególnie od samokompensacji.

Rzeczywista trwałość będzie się więc mieścić między tymi wartościami.



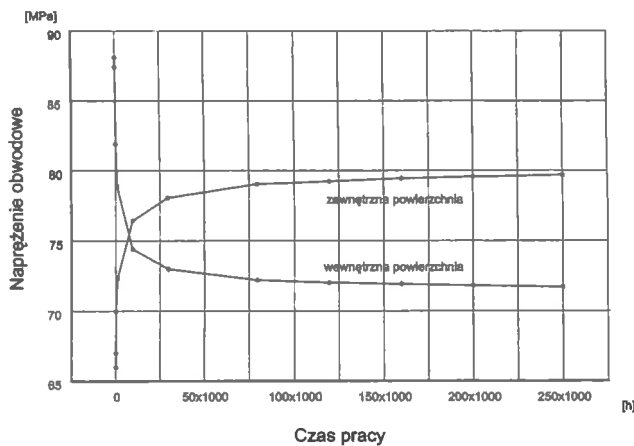
Rys. 2. Rozkład trwałości odcinka prostego rurociągu $\phi 273 \times 34$ mm wykonanego ze stali 13HMF dla obliczeniowej temperatury pracy 545°C i ciśnienia 13,5 Mpa



Rys. 3. Krzywe wpływu względnej grubości ścianki i ciśnienia na wartość naprężeń spowodowanych owalizacją

Analizując wyężenia w metalu rury w czasie eksploatacji można uzyskać obraz procesów, które zachodzą w metalu pracującym w warunkach pełzania.

Rozkład naprężeń w będącej pod działaniem ciśnienia ściance rury o przekroju kołowym różni się od rozkładu naprężeń w rurze o niekołowym przekroju poprzecznym. Przyczyną tego faktu są wynikające z owalizacji [6, 7], w powiązaniu z ciśnieniem wewnętrznym, naprężenia zginające, sumujące się z naprężeniami obwodowymi. Naprężenia wywołane ciśnieniem powodują, że niekołowy przekrój poprzeczny rury dąży do ponownego przyjęcia geometrii koła. Wpływ względnej grubości ścianki i wewnętrznego ciśnienia w rurze zowalizowanej na wartość naprężeń przedstawiono na rysunku 3. Naprężenia te są tym mniejsze, im mniejsze jest wewnętrzne ciśnienie i im większa grubość ścianki [10].



Rys. 4. Zależność naprężeń obwodowych od czasu pracy

Podczas pracy [6] następuje z czasem spadek naprężeń obwodowych na powierzchni wewnętrznej rury (rys.4), a na zewnętrznej ich wzrost. We wszystkich przypadkach dochodzi do spadku naprężeń z czasem pracy, ale powstałe naprężenia nie są równe naprężeniom od ciśnienia. Po pewnym okresie pracy dochodzi do ustalenia naprężenia, ale mimo wszystko po grubości ścianki istnieje gradient naprężenia, którego wpływ na trwałość będzie zależny również od geometrii kolana (grubość ścianki, owalizacja).

Istnieją takie miejsca, gdzie naprężenia zewnętrzne są większe od wewnętrznych [6]. Dlatego w kolanach należy znaleźć miejsca maksymalnych wyężień i uwzględnić je w obliczeniach trwałości. W praktyce, rzeczywiste naprężenia w niektórych punktach łuku zewnętrznego σ_{max_k} w stosunku do naprężenia nominalnego na odcinku prostym σ_{max_p} są znacznie większe:

$$\sigma_{max_k} / \sigma_{max_p} = 1,7-3,2$$

W latach 60. i 70. wykonywano rurociągi pływające bez sztywnych podparć na odcinkach pionowych. Tego typu rozwiązania mają skłonność do nieprzewidywanych przemieszczeń i naruszania normalnej pracy zawiesz (co nie pozostaje bez wpływu na stan połączeń spawanych obwodowych, szczególnie w okolicy kształtek, zwęzek, trójkników, czwórników oraz kolan). Trwałość kolan zależy więc od przepracowanej liczby godzin, geometrii i stanu struktury metalu. Nawet przy dużej owalizacji [6-8] czas pracy kolana może przekraczać 100 000 h.

Ocena stanu oraz zapobieganie ewentualnym uszkodzeniom powinno polegać na obliczeniach i kontroli obejmującej:

- obliczanie trwałości przy uwzględnieniu rzeczywistej geometrii i rzeczywistych parametrów pracy, szczególnie temperatury, która powinna być mierzona i rejestrowana w taki sposób, aby czas pracy w poszczególnych temperaturach był sumowany oddzielnie, np. od 530 do 550°C co 5°C,
- po przekroczeniu 60% obliczeniowego czasu pracy należy wykonać badania nieniszczące w następującym zakresie:
 - jednorazowy pomiar grubości ścianki, owalizacji (najlepiej w stanie wyjściowym),
 - badanie struktury za pomocą repliki w miejscach maksymalnej owalizacji i minimalnej grubości ścianki na łuku zewnętrznym oraz dla porównania na odcinku prostym kolana,
 - badania magnetyczne na powierzchni zewnętrznej w strefie rozciąganej oraz przy spoinach kolana.

Podsumowanie

Zalecane badania niszczące próbek pobieranych z odcinków kontrolnych, sprowadzające się do oznaczenia wytrzymałości doraźnej, nie wnoszą istotnych informacji o zmianach własności metalu podczas eksploatacji [9]. Natomiast sprawdzenie wytrzymałości czasowej jest czasochłonne (ponad 3000 h), a ponadto uzyskane wyniki dotyczą tylko wybranego odcinka prostego i nie dają informacji o stanie metalu całego rurociągu, a już tym bardziej kolana. Pobór próbek z kolana wiąże się z jego zniszczeniem, a więc wymianą na nowe.

Uzyskane wyniki w świetle przytoczonych w niniejszym artykule rozważań dotyczą tylko jednego kolana i podobnie jak próbki z odcinka kontrolnego trudno jest wykorzystać do oceny pozostałych kolan.

Również stosowanie skomplikowanych metod matematycznych (np. elementy skończone) do oceny trwałości mijają się z celem. Posługując się dokładną metodą mamy do dyspozycji niedokładne dane dotyczące warunków pracy, własności wytrzymałościowych, geometrii itp. Metody te powinny być stosowane w czasie projektowania skomplikowanych elementów rurociągów, np. trójkników, czwórników, korpusów zasuw itp.

LITERATURA

- [1] *Technische Regeln für Dampfkessel*. TRD 301, 508
- [2] Wytyczne VGB-TW507
- [3] Instrukcja oceny stanu oraz kwalifikowania do wymiany komór, kolektorów, rurociągów kotłowych i głównych rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. Ministerstwo Górnictwa i Energetyki. Warszawa 1986
- [4] Tipowaja instrukcja po kontrolju i prodlijenju sroka služby mietata osnovnych elementow kotłow, turbin i turboprowodow ciepłowych elektrostancij. RD.34.17.421.92. ORGRES 1992
- [5] Okrajni J., Mutwil K., Cieśla M.: Wytrzymałościowe kryteria oceny stanu rurociągów energetycznych po wieloletniej eksploatacji. *Energetyka* 2001, nr 9
- [6] Kotle a energeticka zavrizeni sbornik pvrднаšek. Brno 2001
- [7] Dobosiewicz J., Wojczyk K.: Trwałość kolan rurociągów parowych", *Energetyka* 1988
- [8] Dobosiewicz J.: Uszkodzenia kolan rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania
- [9] Trzeszczyński J., Stachura S.: Przydatność badań niszczących do oceny stanu technicznego rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. *Energetyka* 1997, nr 3
- [10] Nachałow W. A., Bałaszow Ju. W., Szron R. Z.: Wlijanije rabociego dawlienija na nadierźnost gibow nieobogriewajemych trub. T.E. 1987, nr 6

□

Alfred Śliwa,
Henryk Robok

Chemiczne oczyszczanie kotłów walczkowych roztworami związków kompleksujących

Podstawowym celem chemicznego oczyszczania kotłów jest usunięcie z ich powierzchni wewnętrznych zanieczyszczeń i osadów powstałych w czasie eksploatacji, a tym samym przywrócenie ich sprawności cieplnej.

Osady i zanieczyszczenia znajdujące się na powierzchniach wewnętrznych rur mają wpływ na pogorszenie wymiany ciepła, co powoduje wzrost temperatury metalu i niszczenie warstewek ochronnych oraz są przyczyną szeregu niepożądanych reakcji chemicznych i procesów korozyjnych zachodzących na powierzchniach metalu. Dlatego też konieczne jest usuwanie tych zanieczyszczeń przy pomocy skutecznej technologii chemicznego oczyszczania kotła.

W zależności od rodzaju materiału, z którego wykonany jest kocioł oraz od ilości i składu chemicznego osadu, opracowuje się i stosuje technologie chemicznego oczyszczania oparte na:

- zainhibitowanych roztworach kwasów nieorganicznych lub organicznych,
- wodnych roztworach związków alkalicznych (ługowanie kotła, gotowanie),
- związkach kompleksujących, takich jak sól czterosiłkowa kwasu wersenowego lub sól sodowa kwasu nitrylotrójowego.

Nie podlega dyskusji, że efekt oczyszczania zależy od rodzaju środka chemicznego zastosowanego w procesie usuwania osadów. Technologie oparte na zainhi-

bitowanych kwasach mineralnych pozwalają z dużą skutecznością usuwać wszystkie zanieczyszczenia znajdujące się na wewnętrznych powierzchniach rur kotłowych. Wysoka zdolność roztwórcza osadów, jak również stosunkowo niskie koszty przemawiają za stosowaniem w procesach chemicznego oczyszczania kotłów technologii opartych na zainhibitowanych roztworach kwasu solnego.

Takie technologie – opracowywane indywidualnie dla poszczególnych kotłów – proponuje i wykonuje firma *Pro Novum*. Dotyczą one kotłów, na których ilość zanieczyszczeń i ich skład wymagają wysokich stężeń kwasów nieorganicznych. W wyniku zastosowania takiego procesu oczyszczania kotła można całkowicie usunąć zanieczyszczenia z wewnętrznych powierzchni ogrzewalnych i stworzyć warunki do prawidłowego wytworzenia warstewki ochronnej w czasie eksploatacji kotła.

Jeżeli jednak weźmie się pod uwagę wszystkie niedogodności związane ze stosowaniem procesów oczyszczania opartych na roztworach kwasów nieorganicznych i uwzględni się ilość i strukturę osadów tworzących się w czasie eksploatacji kotła, to należy zastanowić się i przeanalizować czy nie jest właściwe i ekonomicznie uzasadnione w określonych warunkach okresowe doczyszczanie kotła roztworami związków kompleksujących. Taką technologię, opartą na roztworach soli sodowej kwasu nitrylotrójowego, stosuje Zakład Chemii Energetycznej *Pro Novum* na kotłach walczkowych.

