

Jerzy OKRAJNI, Donat RENOWICZ
Katedra Mechaniki i Technologii Przeróbki Plastycznej
Politechniki Śląskiej

PROBLEM WYŁĘŻENIA I TRWAŁOŚCI RUROCIĄGÓW PODDANYCH OBCIĄŻENIOM MECHANICZNYM I CIEPLNYM

Streszczenie. W pracy ujęto metodykę oceny wyłężenia i trwałości rurociągów poddanych oddziaływaniu obciążeń o charakterze mechanicznym i cieplnym. Omówiono zagadnienie analizy stanu obiektu w ujęciu integralnym i lokalnym. Przedstawiono wyniki obliczeń przemieszczeń i naprężeń wyznaczonych dla wybranego przykładu rurociągu oraz zmęczeniowe charakterystyki materiałowe uzyskane w wyniku badań symulacyjnych.

EFFORT AND DURABILITY PROBLEM OF THE PIPELINES UNDER MECHANICAL AND THERMAL LOADING

Summary. Methodology of the effort predicting of the pipelines mechanical and thermal loading has been elaborated in the paper. The global and local problem of the object state analysis was described. Calculation results of displacement and stress for selected example of pipe and characteristics of material fatigue obtained from simulation test were presented.

ПРОБЛЕМА ВЯЗКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ РАБОТАЮЩИХ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕРМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Резюме. В работе представлено метод оценки вязкости и долговечности трубопроводов подвергаемых механической и термической нагрузке. Разрешено проблему анализа состояния трубопровода при интегральном и локальном подходе. Представлено результаты расчетов перемещений и напряжений для избранного примера трубопровода, а также определено характеристики материалов полученных из симуляционных испытаний.

1. WSTĘP

Ocena wytrzymałości obiektów poddanych złożonym oddziaływaniom mechanicznym i cieplnym, jak np. rurociągi energetyczne, powinna opierać się na analizie ich warunków eksploatacji oraz określeniu wpływu historii obciążenia na charakterystyki materiałowe i cechy geometryczne elementów tych układów mechanicznych. Wymaga to kompleksowego, modelowego ujęcia obiektu [1].

Analiza zachowania się rurociągu w procesie eksploatacji zawierać powinna między innymi ocenę stanu wstępnego, która wynika z założeń projektu. Stan ten zazwyczaj różni się będzie od aktualnego uwarunkowanego historią obciążenia układu. Zmiany cech geometrycznych i materiałowych jego elementów, a w szczególności stan zawiesznień w istotny sposób wpływać będą na pole naprężeń, przemieszczeń i charakterystyki dynamiczne rurociągu. Z tych względów analizę jego zachowania się w stanie wstępnym należy uzupełnić o symulację numeryczną uwzględniającą aktualne cechy materiałowe i geometryczne. Określenie stanu aktualnego umożliwia stworzenie baz danych niezbędnych do oceny wytrzymałości i prognozowania trwałości resztkowej rozważanych układów.

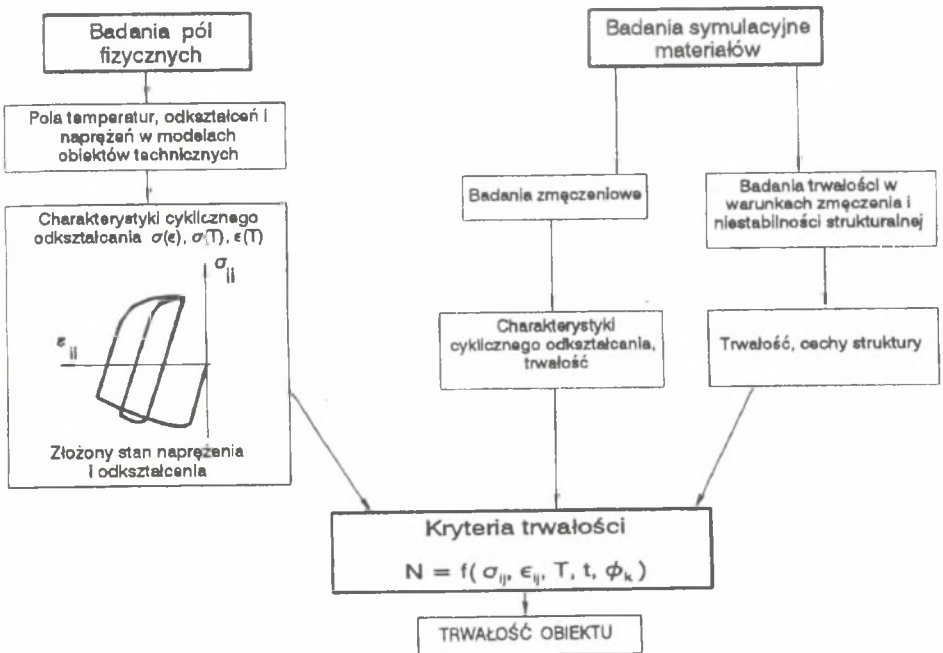
2. METODYKA MODELOWANIA

Ogólny schemat metodyki prognozowania trwałości obiektu poddanego oddziaływaniu zmiennych w czasie obciążeń mechanicznych i cieplnych przedstawiono na rysunku 1. Metodyka ta zawiera dwie grupy zagadnień; badania pól fizycznych oraz badania symulacyjne materiałów [2, 3, 4].

W grupie pierwszej wydaje się celowe sformułowanie problemu modelowania w ujęciu integralnym i lokalnym. Ujęcie integralne zawiera analizę statyczną z uwzględnieniem ciężaru własnego, ciśnienia, odkształceń cieplnych, obciążeń wywołanych naporem wiatru, określenie częstości drgań własnych, wyznaczenie podatności elementów rurociągu, określenie obszarów o największym wyężeniu. Jako przykład integralnego podejścia na rysunku 2 przedstawiono schemat rurociągu poddanego oddziaływaniu ciężaru własnego, ciśnienia wewnętrznego oraz nierównomiernego wzdłuż osi rurociągu rozkładu temperatury. Na podstawie analizy integralnej otrzymuje się między innymi wartości sił i momentów w poszczególnych punktach rurociągu. Daje to możliwość sformułowania warunków brzegowych dla ujęcia lokalnego, odnoszącego się do obszarów o największym wyężeniu [5]. Są to najczęściej trójniki, kolana, obszary w pobliżu połączeń i zaworów. Przykład sformułowania zagadnienia lokalnego zilustrowano na rysunku 3. Dopiero takie ujęcie umożliwia wyznaczenie lokalnych charakterystyk odkształcenia, stanowiących relacje pomiędzy składowymi tensora naprężenia i odkształcenia oraz temperaturą i czasem niezbędnymi w zagadnieniu prognozowania trwałości. Wymagana jest wówczas znajomość odpowiednich charakterystyk materiałowych.

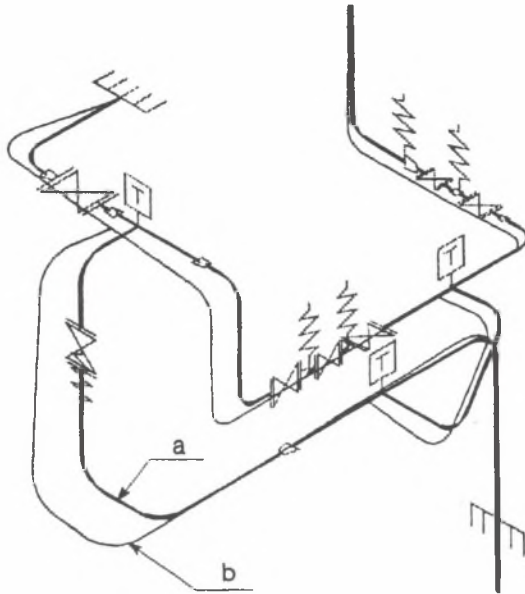
3. BADANIA SYMULACYJNE

Stale rosnąca wiedza na temat mechanicznego zachowania się materiałów w procesie eksploatacji oraz ich rzeczywistych warunków niszczenia [6] powoduje, że tradycyjnie stosowane kryteria projektowania i oceny stanu rurociągu okazują się niewystarczające. Z uwagi na często występujące awarie wywołane pękaniem w obszarach o największym wyczerpaniu, w których często w procesie cyklicznego odkształcania przekraczana jest granica plastyczności, ocena trwałości rurociągów uwzględniać powinna między innymi charakterystyki odporności na zmęczenie niskocykliczne w warunkach niestacjonarnych obciążeń cieplnych [7]. Przykładem tego typu charakterystyk, wyznaczonych dla stali żarowytrzymałych o strukturze austenitycznej, mogą być wykresy trwałości zmęczeniowej pokazane na rysunku 4.

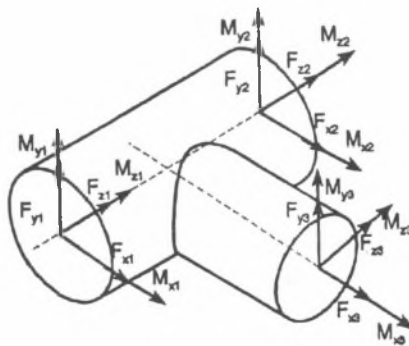


Rys. 1. Schemat metodyki prognozowania trwałości obiektu poddanego oddziaływaniom mechanicznym i cieplnym

Fig. 1. Scheme of life prediction methodology of the object under mechanical and thermal loading



- Rys. 2. Fragment rurociągu obciążonego ciężarem własnym, ciśnieniem wewnętrznym oraz nierównomiernym wzdłuż osi rozkładem temperatury;
 a) rurociąg nieobciążony, b) rurociąg obciążony
- Fig. 2. Part of pipeline under dead weight loading, internal pressure and nonuniform temperature distribution;
 a) unloading pipeline, b) loading pipeline.

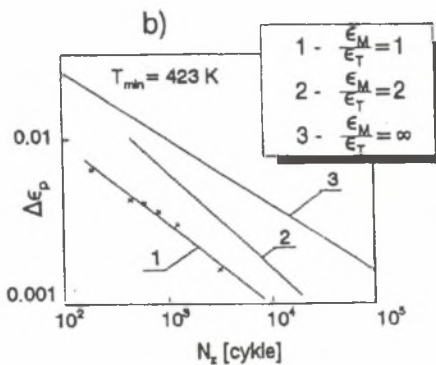


- Rys. 3. Trójnik - schemat obliczeniowy
 Fig. 3. Tee - calculation plane

Stan materiału w warunkach eksploatacji najczęściej ulega zmianom. Zmienia się jego struktura a w konsekwencji własności zmęczeniowe i odporność na pękanie. Trwałość resztkowa nie może więc być rozpatrywana w oderwaniu od aktualnych cech materiałowych. Dotyczy to w szczególności zmian zachodzących w substrukturze metali i ich powiązaniu z odpornością na pękanie.

4. PODSUMOWANIE

Celem wielokierunkowej analizy, której elementy przedstawiono w opracowaniu, są wskazówki dla konstruktorów i użytkowników rurociągów. Uzyskane dane mogą stanowić podstawę do opracowania sposobu naprawy rurociągów już pracujących oraz planu ich remontów obejmującego remont układu zawieszę i wymianę elementów, które wyczerpały swoją nośność.



Rys. 4. Krzywe trwałości zmęczeniowej stali H23N18 poddanej zmęczeniu ciepłno-mechanicznemu

Fig. 4. Curves of fatigue durability for H23N18 steel after thermo-mechanical fatigue

Omówiona próba ujęcia modelowego ma istotne znaczenie praktyczne, biorąc między innymi pod uwagę fakt, że znaczna liczba bloków energetycznych w kraju przekroczyła już obecnie obliczeniowy czas pracy, wynoszący 100 tys. godzin. Konieczne jest w związku z tym podjęcie decyzji co do możliwości ich dalszej eksploatacji w oparciu o aktualne dane materiałowe i rzeczywiste parametry pracy. Należy przy tym zaznaczyć, że ocena taka możliwa jest w odniesieniu do materiału jedynie w przypadku zastosowania technik badania uwzględniających fizyczne uwarunkowania procesu powstawania i wzrostu pęknięć.

Opracowanie wykonano w ramach grantu KBN nr 3 P407 080 04.

LITERATURA

- [1] Okrajni J., Renowicz D., Cieśla M., Plaza M.: Zastosowanie metod numerycznych do oceny trwałości rurociągów energetycznych. I Seminarium Szkoleniowo-Informacyjne nt. "Kompleksowa ocena elementów ciśnieniowych kotła oraz prognozowanie czasu ich dalszej, bezpiecznej pracy." Rafako SA, Katedra Nauki o Materiałach Pol. Sl., IMZ Gliwice, PRO-NOVUM Katowice, 1994, ss. 63-64
- [2] Lamber T., Okrajni J., Plaza M.: Estimation of the Structural Members Low- Cycle Durability, Third International Conference on Low Cycle Fatigue and Elasto-Plastic Behaviour of Materials, Berlin 1992, pp. 823-828
- [3] Cieśla M., Lamber T., Okrajni J., Plaza M.: Effect of Servis Conditions Upon the Processes of Metal Mould Fatigue Fracture, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 1, 32, Warszawa 1994, pp. 60-67
- [4] Cieśla M.: Ocena trwałości żeliw przeznaczonych na kokile, praca doktorska, Biblioteka Pol. Sl., Gliwice 1990
- [5] Orłoś Z.: Naprężenia cieplne, PWN, Warszawa 1991
- [6] Weroński A.: Zmęczenie cieplne metali, WNT, Warszawa 1983
- [7] Okrajni J.: Niskocykliczna trwałość stali żarowytrzymałych w warunkach oddziaływań mechanicznych i cieplnych, ZN Pol. Sl. s. Mechanika, z. 32, Gliwice 1988

Recenzent: prof. dr hab. inż. Z. Orłoś

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1994 r.