ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: HUTNICTWO z. 26 Nr kol. 800

Tadeusz LAMBER
Jerzy OKRAJNI

METODYKA OCENY ZMĘCZENIA CIEPLNEGO KONSTRUKCJI NA PODSTAWIE IZOTERMICZNYCH BADAŃ MATERIAŁU W ZAKRESIE MAŁEJ LICZBY OBCIĄŻEŃ CYKLICZNYCH

Streszczenie. W pracy uogólniono wyniki badań uzyskane w Instytucie Inżynierii Materiałowej w ostatnich 2 latach w dziedzinie wytrzymałości na zmęczenie w zakresie małej liczby cykli w podwyższonych temperaturach. Rozważono zagadnienie kinetyki zmęczeniowego niszczenia przy cyklicznym obciążeniu w obszarze sprężysto-plastycznym. Przedstawiono metodykę badań oraz sposób oceny trwałości elementów konstrukcyjnych ujmując ten ostatni problem a algorytm. Wyodrębniono przy tym dwie metody oceny trwałości obiektu. Jedna z nich polega na przyjęciu za kryterium trwałości zakresu odkształceń plastycznych. Druga na geometrycznej optymalizacji przy zastosowaniu kryterium najmniejszego wytężenia materiału w danym elemencie konstrukcyjnym.

1. Wprowadzenie

Podwyższenie temperatury eksploatacji elementów maszyn i urządzeń energetycznych stanowi jeden z istotnych kierunków, w jakich zmierza rozwój współczesnej techniki. Wiąże się z tym szeroki krąg zagadnień teoretycznych i eksperymentalnych z zakresu technologii i konstrukcji, których pomyślne rozwiązanie może wyznaczać perspektywy rozwoju takich gałęzi przemysłu, jak np. energetyka i hutnictwo. Przedstawiony problem wymaga wytyczenia szczegółowych zadań badawczych. W tym przypadku pożądane wydają się być prace analityczne nad metodami projektowania urządzeń o wysokiej wytrzymałości i trwałości, jak również badania nad technologiami wytwarzania tworzyw wytrzymałych i trwałych w warunkach oddziaływania wysokich temperatur. Tworzywom przeznaczonym na nowoczesne urządzenia stawia się wysokie wymagania. Należałoby równocześnie zwrócić uwagę na fakt, iż dane co do ich podstawowych własności wytrzymałościowych i plastycznych w wielu zagadnieniach konstrukcyjnych są niewystarczającym kryterium ich oceny. Jest to ważne zwłaszcza dla elementów poddanych działaniu cyklicznych zmian pól temperatury. Wywołane nimi odkształcenia i naprężenia cieplne są przyczyną zmęczenia cieplnego materiału. Badanie zmęczenia cieplnego, przebiegającego z reguły w zakresie małej liczby cykli, wymaga zastosowania niekonwencjonalnych metod. Polegają one między innymi [1] na symulacji procesu odkształcania, w warunkach zmęczenia cieplnego, poprzez poddanie

próbki zmianom temperatury lub jej obciążanie zewnętrznym polem siłowym w podwyższonych temperaturach w celu uzyskania przebiegów zależności pomiędzy naprężeniami i odkształceniami w postaci pętli histerezy - $\sigma(\varepsilon)$. Wyznaczane na podstawie badań charakterystyki tworzywa mogą posłużyć zarówno dla oceny jego odporności na zmęczenie cieplne, jak również można je wykorzystać w procesie konstruowania w obliczeniach wymiarów obiektu.

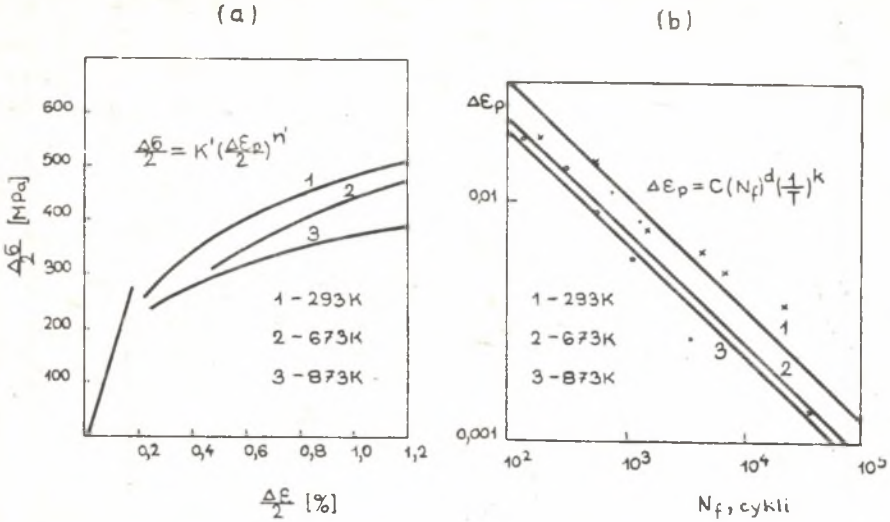
W chwili obecnej nie ma ustalonych kryteriów oceny trwałości obiektów pracujących w warunkach zmęczenia cieplnego. Spośród wielu z nich, wymagających jeszcze weryfikacji, dwa mogą mieć szersze zastosowanie. Za kryterium trwałości, jak dowodzą przeprowadzone analizy i weryfikacja doświadczalna [2], można między innymi przyjąć zakres odkształceń plastycznych $\Delta\varepsilon_p$ określany dla materiału na podstawie pętli histerezy lub naprężenia zastępcze σ_{red} w najbardziej wytężonych obszarach obiektu.

2. Wyznaczanie charakterystyk tworzywa

Sposób badania polegający na obciążaniu próbek zewnętrznym polem siłowym wykazuje szereg zalet, których nie posiada metoda badań w warunkach niestacjonarnego pola temperatury [1]. Jedną z zasadniczych zalet jest możliwość dokładnej kontroli i rejestracji takich parametrów, jak: odkształcenie, naprężenie i temperatura. Uzyskuje się na tej podstawie charakterystykę cyklu obciążeń i odkształceń w postaci parametrów pętli histerezy $\Delta\varepsilon_c$ (zakres odkształceń całkowitych), $\Delta\varepsilon_p$ (zakres odkształceń plastycznych), $\Delta\varepsilon_s$ (zakres odkształceń sprężystych) oraz $\Delta\sigma$ (zakres naprężenia). Zmieniając temperaturę izotermicznych badań zmęczeniowych można otrzymać ilościowy i jakościowy opis zachowania się tworzywa. Wyniki badań przedstawia się [3] w postaci graficznej za pomocą wykresów zmęczeniowych (rys.1) lub w formie matematycznego modelu zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami próby. Przebieg wykresów oraz wartości stałych materiałowych, wyznaczonych dla przyjętego modelu, umożliwiają porównanie różnych tworzyw ze sobą. Dane ilościowe, przy zastosowaniu odpowiednich kryteriów, są przydatne w procesie konstruowania. Dogodniejszą formą w tym przypadku jest przedstawienie charakterystyk tworzywa w postaci modelu matematycznego.

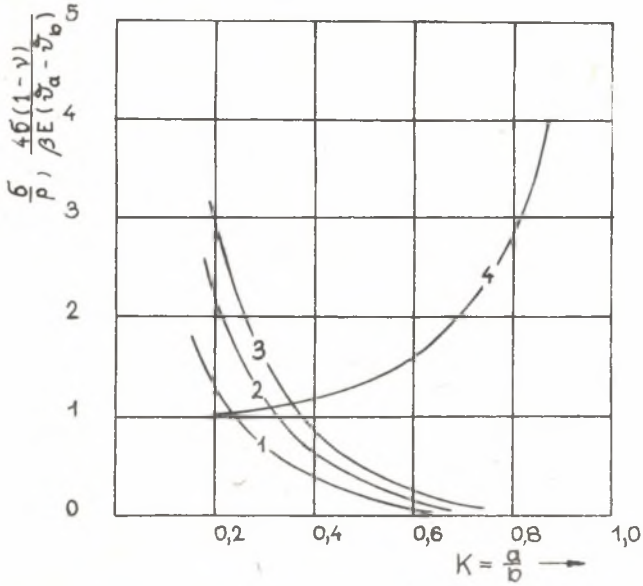
3. Kryteria trwałości

Jednym z najbardziej rozpowszechnionych sposobów oceny wytrzymałości i trwałości obiektu jest zastosowanie kryterium uwzględniającego stan naprężenia uwarunkowany parametrami procesów technologicznych w czasie eksploatacji. Badania przeprowadzone w ostatnich latach wykazują jednakże, że poziom naprężeń nie może stanowić jedynego kryterium. W procesie zmęczenia cieplnego, związanym z uplastycznieniem przeciwzwrotnym, polegającym



Rys. 1. Wykresy uzyskane na podstawie badań zmęczeniowych w zakresie małej liczby cykli - stal H18N9S [1]

a) krzywe cyklicznego odkształcenia, b) wykresy zmęczeniowe



Rys. 2. Wykresy zależności pomiędzy stosunkiem średnicy wewnętrznej do zewnętrznej - K oraz naprężeniami zastępczymi na powierzchni wewnętrznej rury grubościennej [2]

1),2),3) naprężenia cieplne wywołane różnicą temperatury ośrodka wewnątrz i na zewnątrz rury - $(\vartheta_a - \vartheta_b)$

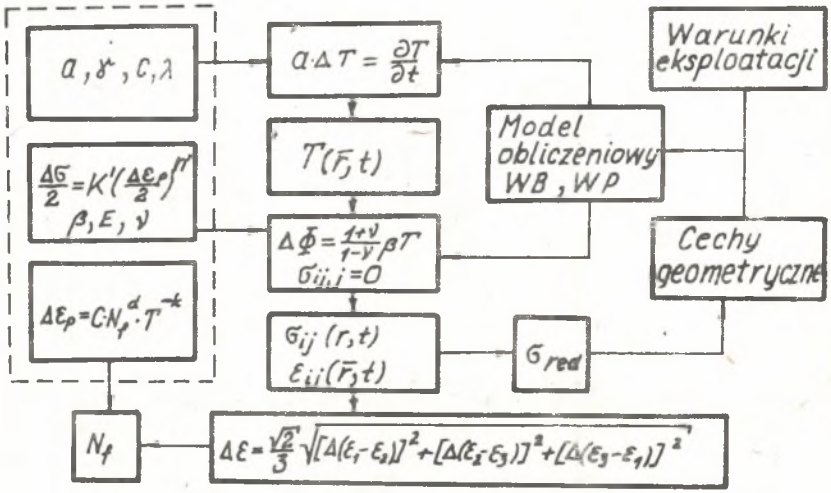
1 - B_{ia} = 20, B_{ib} = 20; 2 - B_{ia} = 5, B_{ib} = 20; 3 - B_{ia} = 3, B_{ib} = 20, 4 - naprężenie od ciśnienia wewnątrz rury - p

na zachowywaniu stałego odkształcenia całkowitego w ustalonym przebiegu cyklicznych zmian temperatury, parametrem charakteryzującym cykl obciążeń cieplnych jest między innymi wielkość zakresu odkształceń [1, 2]. Wielkość tę, określoną na podstawie przebiegu pętli histerezy, wyznaczonej dla tworzywa, można porównywać z zakresem odkształceń obliczonym dla obiektu. Wymaga to przeprowadzenia analizy pola temperatur i naprężeń cieplnych dla przyjętego modelu obliczeniowego analizowanego obiektu. Zależnie od rodzaju tworzywa i wielkości obciążeń cieplnych kryterium trwałości może być zakres odkształceń całkowitych - $\Delta\varepsilon_c$ lub plastycznych - $\Delta\varepsilon_p$.

Z uwagi na fakt, że cechy konstrukcyjne szeregu urządzeń ustalone na podstawie wielkości obciążeń cieplnych oraz obciążeń zewnętrznym polem siłowym często są przeciwstawne, dążenie do osiągnięcia dużych trwałości wymaga podjęcia działań optymalizacyjnych. Przedmiotem optymalizacji mogą być kształt i wymiary konstrukcji. Wygodne w zastosowaniu jest wówczas kryterium naprężeń zastępczych σ_{red} w obszarach o największym wytężeniu. Rysunek 2 przedstawia wykresy zależności zastępczych naprężeń na powierzchni rury grubościennej w funkcji stosunku średnicy wewnętrznej do zewnętrznej. Przebieg krzywych wskazuje na istnienie minimum wytężenia, a w związku z tym na celowość działań optymalizacyjnych zmierzających do określenia odpowiednich wymiarów analizowanego elementu.

4. Algorytm oceny trwałości

Niedomagania przyjmowanych do niedawna kryteriów projektowania, w zastosowaniu do obiektów przeznaczonych do pracy przy oddziaływaniu zmiennego pola temperatury, determinują celowość syntetycznego ujęcia w zakre-



Rys. 3. Algorytm oceny trwałości elementów urządzeń poddanych działaniu cyklicznych zmian pól temperatur

sie metodyki oceny trwałości. Próbę takiego spojrzenia na metodę projektowania ilustruje schemat przedstawiony na rysunku 3. Pokazany na nim algorytm przedstawia metodę polegającą na obliczeniu cykli zmian temperatury, prowadzącej do zniszczenia. Kolejnymi etapami są: przyjęcie modelu obliczeniowego → analiza pola temperatury → analiza naprężeń → porównanie obliczonych kryterialnych wielkości odkształceń ze wzorami opisującymi trwałość zmęczeniową. W sposób wyraźny wyodrębnić można dwie metody projektowania, które mogą zapewnić względnie wysoką trwałość obiektu. Jedną z nich jest dążenie do zastosowania tworzywa o najodpowiedniejszych własnościach [3]. Kryterium będzie w tym przypadku zakres odkształceń plastycznych. Drugim ważnym praktycznie sposobem postępowania jest dążenie do geometrycznej optymalizacji [2, 4] przy zastosowaniu kryterium miejscowego wytężenia materiału.

LITERATURA

[1] Okrajni J.: Badania wpływu cyklicznych zmian pól temperatur i związanych z nimi odkształceń cieplnych na trwałość stali austenitycznych. Praca doktorska, Bibl. Główna Pol. Śląskiej, Gliwice 1982.

[2] Okrajni J.: Wpływ parametrów technologii upłynniania węgla na proces zmęczenia cieplnego na przykładzie nagrzewnicy ze stali austenitycznej. Inżynieria Materiałowa Nr 4/11/-1982, Katowice 1982.

[3] Lamber T., Okrajni J.: Ocena przydatności wybranych gatunków stali austenitycznych do pracy w warunkach działania cyklicznych zmian pól temperatury na podstawie badań zmęczeniowych w zakresie małej liczby cykli. ZN Pol. Śląskiej - Hutnictwo z. 23, Gliwice 1983.

[4] Lamber T., Okrajni J., Renowicz D.: Dobór geometrycznych cech konstrukcyjnych walców drążonych, przeznaczonych do pracy w warunkach oddziaływania zmiennych pól temperatur. ZN Pol. Śląskiej - Hutnictwo, z. 22, Gliwice 1983.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Andrzej Weroński

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ УСТАЛОСТНОСТИ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ДИАПАЗОНЕ НЕБОЛЬШОГО КОЛИЧЕСТВА ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Р е з ю м е

В работе обобщены результаты исследований полученные в Институте Инженерии Материалов за последние 2-года, по сопротивлению на усталостность в диапазоне небольшого количества циклов нагрузки в повышенных температурах. Рассмотрен вопрос кинематики усталостного разрушения для циклической нагрузки в упруго- пластическом диапазоне. Представлена методика исследований а также способ оценки долговечности элементов конструкции и дан алгоритм способа оценки. При этом выделены два метода оценки долговечности объекта. Один из них состоит в принятии в качестве критерия долговечности диапазона пластических деформаций. Другой метод состоит в геометрической оптимизации с применением критерия наименьшего напряжения материала в рассматриваемом конструкционном элементе.

METHODS OF THERMAL FATIQUE ESTIMATION BASING ON IZOTHERMAL TESTS IN THE AREA OF SMALL NUMBER OF CYCLIC LOADS

S u m m a r y

Results of two year investigations in Institute of Material Engineering in the field of fatigue strength for small number of cycles in higher temperatures are generalized. A problem of fatigue due to cyclio load in elasto-plastic domain is considered. Methods of investigations and a way of estimations of construction elements life are presented. The latter problem is algorithmised. Two methods are isolated: the first one based on the range of plastic deformations as a criterion and the second one based on a geometric optimization using a criterion of the smallest material effort in a given construction element.