

Jerzy Okrajni, Marek Plaza

Instytut Inżynierii Materiałowej
Politechnika Śląska w Katowicach

METODOLOGICZNE ASPEKTY MODELOWANIA PROCESU ODKSZTAŁCANIA W WARUNKACH NISKOCYKLICZNEGO ZMĘCZENIA

Streszczenie. Opracowanie zawiera próbę sprecyzowania podstaw modelowego ujęcia obiektu poddanego niskocyklicznemu zmęczeniu. Omówiono w nim rolę modelu materiału w analizie niskocyklicznego odkształcania. Przedstawiono przykład techniczny oceny trwałości elementu poddanego zmęczeniu na podstawie badania materiału oraz wyników numerycznej symulacji procesu odkształcania.

1. WSTĘP

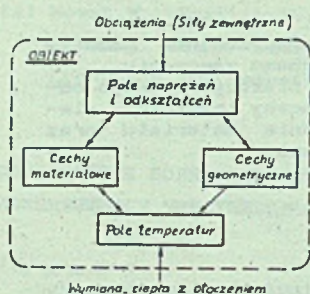
Zmęczenie niskocykliczne ma lokalny charakter, obejmuje bowiem obszary spiętrzenia naprężeń wywołanych czynnikami mechanicznymi lub cieplnymi. W wyniku cyklicznych zmian temperatury lub obciążeń mechanicznych proces sprężysto-plastycznego odkształcania zachodzący w tych obszarach prowadzi najczęściej do zniszczenia elementów poddanych zmęczeniu po upływie ograniczonej liczby cykli oddziaływań. W celu uniknięcia prawdopodobnych, w związku z ograniczoną trwałością, awarii maszyn i urządzeń w czasie eksploatacji konieczne jest opracowanie metod prognozowania okresu prawidłowego, niezawodnego, bezpiecznego i skutecznego działania obiektów technicznych. Wymaga to zastosowania metod analitycznych i eksperymentalnych między innymi z obszaru mechaniki ośrodków ciągłych, fizyki metali czy teorii dyslokacji. Niezbędne jest również opracowanie modeli procesów fizycznych decydujących o dekohezji tworzyw.

2. CECHY OBIEKTU I ICH WZAJEMNE RELACJE

Złożony charakter oddziaływań, warunkujących przebieg odkształcania w obszarach najbardziej wyczerpanych powoduje, że każdy element ulegający niskocyklicznemu zmęczeniu można traktować jako obiekt złożony. Przy czym jego zachowanie się w warunkach eksploatacji zdeterminowane jest

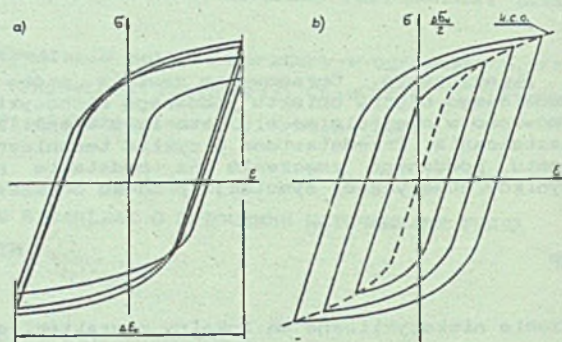
cechami geometrycznymi, polem temperatur, naprężeń i odkształceń oraz cechami materiałowymi (rys.1).

Wyszczególnione cechy są ze sobą sprzężone. Jednym z czynników determinujących zachowanie się obiektów są zmiany własności tworzywa spowodowane zmianami struktury. W stopach metali dotyczy to głównej mierze struktury dyslokacyjnej. W badaniach laboratoryjnych niskocyklicznego zmęczenia cechy tej struktury decydują o przebiegu pętli histerezy stanowiącej podstawową charakterystykę procesu, wyznaczaną najczęściej w warunkach jednoosiowego stanu naprężenia (rys.2).



Rys.1. Model obiektu

Fig.1. Object model



Rys.2. a) Przebieg zmian pętli histerezy, b) Sposób wyznaczenia krzywej cyklicznego odkształcania

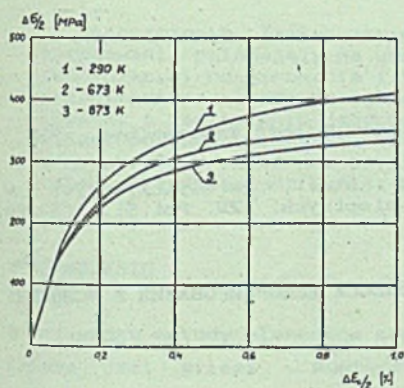
Fig.2. a) Hysteresis loop change course, b) Procedure of determine the cyclic strain curve

W wypadku złożonych stanów naprężenia i odkształcenia zmiany właściwości tworzywa, związane z jego mikrostrukturą ujawniać się będą w zależnościach pomiędzy składowymi tensora naprężeń, odkształceń i temperatura. Związki pomiędzy wyszczególnionymi wielkościami w obiekcie można wyznaczyć na drodze teoretycznej przy zastosowaniu metod teorii sprężystości, plastyczności i termoplastyczności. Należy w tym celu zbudować model umożliwiający symulację zachowania się obiektu, na który składać się będą modele procesów fizycznych decydujących o strukturze i właściwościach tworzywa, model obliczeniowy obejmujący modele obrazowe elementów (walec, pręt, płyta ...) wraz z warunkami brzegowymi i początkowymi oraz odpowiednie modele matematyczne wymiany ciepła, teorii sprężystości i plastyczności. Należy przy tym zwrócić szczególną uwagę na fakt, że właściwości tworzyw w warunkach zmęczenia niskocyklicznego powinny być rozpatrywane w powiązaniu z historią obciążania.

3. PRZYKŁAD TECHNICZNY

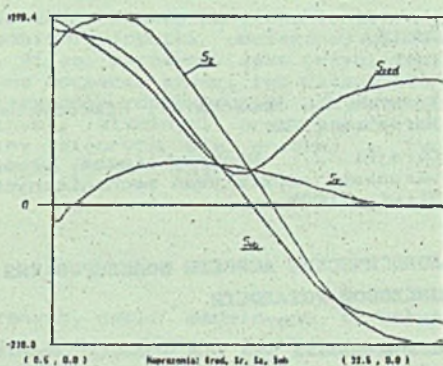
Biorąc pod uwagę aplikacyjny aspekt problemu przedstawiono przykład nagrzewnicy wodoru w instalacji upłynniania węgla. Nagrzewanie wodoru w nagrzewnicy realizowano poprzez przepuszczanie go przez spiralną węzownicę ogrzewaną spalinami z palnika o skokowo regulowanej wydajności. Węzownica w postaci rury grubościennej narażona była na oddziaływanie cyklicznie zmiennego pola temperatur.

Na podstawie pomiarów wyznaczono temperaturę maksymalną i minimalną spalin, temperaturę wodoru przepływającego przez węzownicę oraz czas pomiędzy kolejnymi zmianami wydajności palnika gazowego. Wykonano następnie obliczenia rozkładów temperatur metodą różnic skończonych. Z uwagi na cykliczny charakter obciążeń cieplnych w obliczeniach rozkładów naprężeń i odkształceń wykorzystano krzywą cyklicznego odkształcania [1,2] (rys.3).



Rys. 3. Krzywe cyklicznego odkształcania - stal H23N18

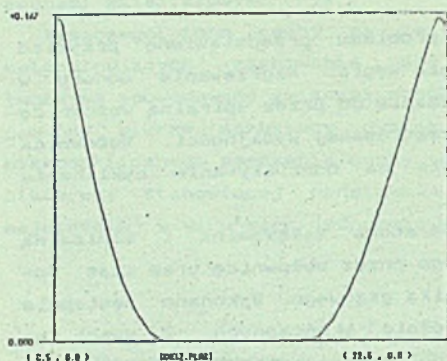
Fig. 3. Cyclic strain curve - steel H23N18



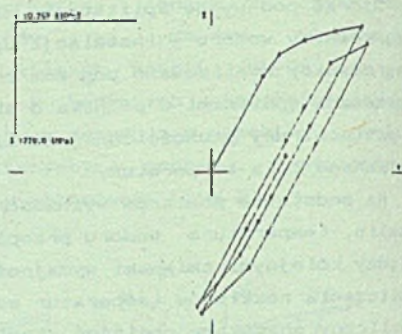
Rys. 4. Rozkłady naprężeń na przekroju rury grubościennej

Fig. 4. Stress pattern on the areal of heavy wall tube

Oporając się na równaniu tej krzywej opisano przebieg pętli histerezy w funkcji temperatury, co stanowiło podstawę do przyjętego modelu materiału. Wybrane wyniki obliczeń numerycznych rozkładów naprężeń i odkształceń wykonanych zgodnie z metodą elementów skończonych przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Wyznaczono również przebiegi pętli histerezy w układzie naprężenie zastępcze w funkcji zastępczego odkształcenia (rys.6). Obliczono zakresy odkształceń całkowitych i odpowiadające im trwałości, korzystając z równań opisujących przebiegi wykresów zmęczenia.



Rys. 5. Rozkłady odkształceń
Fig. 5. Strains distributions



Rys. 6. Lokalna pętla histerezy
Fig. 6. Local hysteresis loop

LITERATURA

- [1] Kocańda S., Kocańda A.: Niskocyklowa wytrzymałość zmęczeniowa. PWN, Warszawa 1989.
- [2] Okrajni J.: Niskocykliczna trwałość stali żarowytrzymałych w warunkach oddziaływań mechanicznych i cieplnych. ZN. Pol. Sl. z. 32/88, Gliwice 1988.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

Резюме

Работа содержит попытку определения основ системного подхода к объекту работающему в условиях малоцикловой усталости. Обсуждено в ней роль модели материала в проблемах анализа малоциклового деформирования. Представлено технический пример оценки долговечности элемента подвергнутого усталости основанной на испытаниях материала и нумерической симуляции процесса деформирования.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF MODELLING THE STRAINING PROCESS IN THE LOW-CYCLE FATIGUE CONDITIONS

Summary

The work contains an attempt to specify the foundations of the model approach to the object subjected to the low-cycle fatigue. The role of the material model in problems of the low-cycle fatigue analyze has been discussed in this paper. The technical example of the durability evolution of the member subjected to the low-cycle fatigue based on the digital simulation of the straining process has been also presented.