ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994

Seria: MECHANIKA z. 115 Nr kol. 1230

Donat RENOWICZ, Jerzy OKRAJNI
Katedra Mechaniki i Technologii Przeróbki Plastycznej
Politechnika Śląska

MODELOWANIE ODDZIAŁYWAŃ DYSTORSYJNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono próbę analitycznego opisu procesu inicjacji pęknięć wywołanego dystorsjami o charakterze termicznym. Do opisu zjawiska wykorzystano parametry liniowo-sprężystej mechaniki pękania.

MODELING OF THE DISTORSION INTERACTIONS

Summary. An attempt has been made to discribe analytically the crack initiation process caused by the thermal and distorsions. In order to describe the phenomenon, the linear-elastic parameters of the fracture mechanics have been used.

МОДЕЛИРОВКА ДИСТОРСИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Резюме. В работе представлено аналитический метод описания процесса зарождения трещин возникающих во время воздействия термических дисторсий. Для описания этого процесса использовано линейно-упругие параметры механики разрушения.

1. WSTĘP

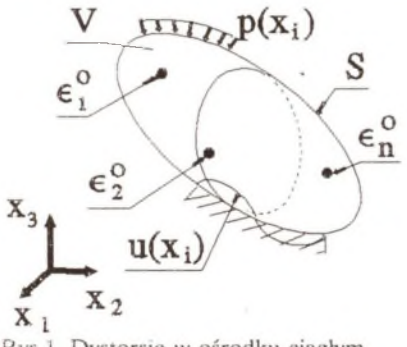
Projektowanie nowoczesnych materiałów jest silnie związane z postępem w dziedzinie badań nad metodami modelowania i symulacji oddziaływań jakie występują zarówno w strukturze samego materiału, jak i w wyniku obciążeń użytkowych w obiektach technicznych. Metody takie pozwalają bowiem na dokonanie oceny przydatności materiału do określonych zastosowań już na etapie projektowania lub badań laboratoryjnych [1]. Brak jest jednak ogólnych kryteriów umożliwiających jednoznaczne określenie

dopuszczalnych stanów, w tym wytężenia, determinującego trwałość elementów maszyn i urządzeń na podstawie podstawowych własności mechanicznych i parametrów mechaniki pękania. Wynika to z wciąż niedostatecznej wiedzy na temat zjawisk zachodzących w strukturze materiałów w różnych warunkach ich użytkowania. Przykładem tego typu zjawisk jest powstawanie pęknięć wywołanych dystorsjami związanymi z nierównomiernym rozkładem cech materiałowych, procesami przemian fazowych, oddziaływaniami chemicznymi itp. w mikroobjętości materiału [2-6].

W pracy podjęto próbę opracowania modelu powstawania pęknięć wywołanych naprężeniami odlewniczymi w wyniku oddziaływania dystorsji termicznych oraz w procesie zmęczenia cieplnego.

2. CHARAKTERYSTYKA ODDZIAŁYWAŃ DYSTORSYJNYCH

W klasycznym ujęciu opis zmęczenia cieplno-mechanicznego związany był wyłącznie z naprężeniami wywołanymi zmiennym gradientem temperatury. Zakładano że ciało jest ośrodkiem ciągłym i jednorodnym. Proponowany model uwzględnia oddziaływania związane z obecnością w objętości materiału faz o różnych własnościach, w tym rozszerzalności cieplnej (rys.1.). Zagadnienie to jest istotne z uwagi na fakt, że odkształcenia mierzone w skali makroskopowej nie odpowiadają odkształceniom w mikroobszarze w pobliżu dystorsji odpowiedzialnych za proces inicjacji pęknięć. W wielu wypadkach proces pękania metali pod wpływem czynników chemicznych czy też oddziaływania wodoru ma charakter dystorsyjny.



Rys.1. Dystorsje w ośrodku ciągłym
Fig.1. Distorsions in solid

Przykładem mogą być odlewy wykonane ze stopów wysokoaluminiowych Fe-Al-C [4-6], charakteryzujące się skłonnością do pękania w kontakcie z wodą. Na skutek reakcji chemicznej węglika aluminium z wodą zachodzi intensywny przyrost jego objętości. Po upływie określonego czasu w wyniku oddziaływania naprężeń własnych w wierzchołkach węglików powstają pęknięcia. Moment powstawania pęknięcia wiązać można z określoną krytyczną wartością przyrostu objętości węglika. Takie samo kryterium można zastosować do określenia momentu powstania pęknięcia w półcyklu nagrzewania lub chłodzenia materiału z elementami struktury o różnej rozszerzalności cieplnej. W obu przypadkach powstawanie pęknięć zachodzi na powierzchni materiału.

3. MODEL MATEMATYCZNY

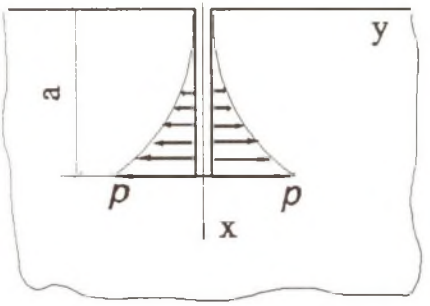
Do ilościowego opisu procesu dystorsyjnego pękania przyjęto liniowo-sprężysty model materiału ze szczeliną obciążoną na jej brzegu (rys.2.). Przyjęto nieliniowy rozkład nacisków 'p' na powierzchni granicznej faza-osnowa. Rozkład taki występuje w przypadku

powstania dystorsji termicznej wywołującej równomierne przemieszczenie granicy faz. Dla przyjętego modelu wartość współczynnika intensywności naprężeń można wyznaczyć z zależności [7]:

$$K_I = p\sqrt{a}\,\frac{\Gamma\left(\frac{\gamma+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\gamma}{2}+1\right)}\,F(\gamma)\,, \qquad (1)$$

$$\sigma_y(x,0) = p\left(\frac{x}{a}\right)^{\gamma}; \qquad (\gamma > -1)\,,$$

gdzie: Γ - funkcja gamma,
F - funkcja kształtu,
γ - wykładnik funkcji aproksymującej rozkład nacisków.



Rys.2. Model obliczeniowy
Fig.2. Mathematical model

Rozkład nacisków 'p' wyznaczono metodą elementów skończonych (MES). Wyniki obliczeń K_I dla trzech różnych morfologii struktury uzyskanych poprzez zmianę parametrów technologicznych w procesie odlewania przedstawiono w tablicy 1. Ponadto wyznaczono odporność na pękanie K_{Ic} dla badanych struktur [8,9]. Przyjmując kryterium inicjacji pęknięć w postaci:

$$\mathbf{K_I > K_{Ic}} \qquad (2)$$

określono krytyczną długość fazy będącej źródłem dystorsji termicznej, wywołującej mikropęknięcie bezpośrednio po zastygnięciu odlewu. Zależność tę zweryfikowano doświadczalnie. To samo kryterium może znaleźć zastosowanie do oceny krytycznej długości fazy wywołującej pęknięcie w procesie zmęczenia cieplnego.

Tablica 1

Wyniki obliczeń oraz badań doświadczalnych

Rodzaj struktury	średnia głębokość fazy a[μm]	średnia grubość fazy [μm]	K_I [MN/m$^{3/2}$]	K_{Ic} [MN/m$^{3/2}$]
1	48.1	3.5	0.83	1.09 - 5.25
2	84.6	6.2	1.07	
3	164.0	12.0	1.96	

LITERATURA

[1] Cieśla M. Lamber T. Okrajni J. Plaza M. Renowicz D.: Procesy zmęczeniowego pękania i prognozowanie trwałości stopów metali w warunkach oddziaływań mechanicznych i cieplnych. Materiały Konf. Seminarium: Nowe Technologie i Materiały w Metalurgii i Inż. Mat., Pol. Śl. Wydz. Inż. Mat., Met. Transp. i Zarządzania, Katowice 1993.

[2] Eimer Cz.: Naprężenia własne w ośrodkach wielofazowych. Teoria ośrodków wielofazowych cz.II, Ossolineum 1976

[3] Holnicki-Szulc J.: Dystorsje w układach konstrukcyjnych, analiza sterowanie, modelowanie. PWN, Warszawa-Poznań, 1990

[4] Renowicz D. Binczyk F.: Inicjacja pęknięć wywołanych dystorsjami. IV Krajowa Konferencja Mechaniki Pękania, Z.Nauk. Pol. Świętokrzyskiej Nr 50, 1993, ss.369-375.

[5] Renowicz D. Binczyk F.: Crack Initiation Caused by Distorsions. "Mechanika teoretyczna i stosowana", Nr 1, 1994 (w druku).

[6] Binczyk F. Renowicz D.: Fracture of the High Aluminium Alloy Castings. Archiwum Nauki o Materiałach, 1994 (w druku).

[7] Tada H. Paris P. Irwin G.: The Stress Analysis of Cracks Handbook Pennsylvania 1973.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Weroński

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1993r.

Abstract

An aim of the investigations was to define the influence of the phase size and fracture toughness of the alloys on crack initiation process. Regarding the high hardness and brittleness of the tested specimens, the K_{Ic} estimation was performed by the analysis of crack length caused by Vicker's penetrator [4-6]. Changing the temperature of casting and cooling conditions of alloys, the specimen with different morphology features (number of precipitations, surface of precipitations S, length of phase l, shape factor F) of the phase precipitations were obtained. Values characterizing the morphology features were determined on the basis of structural investigations on TV analyzer Quantimet 720. Hance the avarage value of the length of the phase (the carbide e.g.) edges which has cubicoid shape has been calculated. Three kinds of the heats with similar chemical composition having different phase size were tested. On the basis of the tests it was possible to determine the thermal distorsion value. For quantitative description of the distorsion fracture process the linear-elastic material model with a crack loaded on its edge (Fig.2.) was assumed. In calculations the case of the crack initiation into the depth of material was considered. It leads to problem of the equilibrium of the crack in plane

strain. In calculations the finite element method (FEM) was used. It has been assumed that the loading of the matrix is caused by the phase pressure on the interface which comes from the thermal distorsion (the initial stage after casting). On the basis of the X-ray investigations of the strain of the surface layer, the nodes displacement of the FEM structure was described. It has been done for separate volume of material according to the physical model (Fig.2.). In this way the extreme values of stresses at the tip of carbide were obtained. On the basis of the results, the maximum value of stress intensity factor during crack initiation was computed. K_I value was calculated from equation (1). Assuming the crack initiation criteria in the formula (2) the critical phase length causing the microcrack formation on the surface layer of the casting was determined.