

Jerzy Okrajni, Marek Cieśla

Wydział Metalurgii i Inżynierii Materiałowej
Politechniki Śląskiej

DYSLOKACYJNE PROCESY POWSTAWANIA PĘKNIĘĆ W WARUNKACH NISKOCYKlicZNEGO ZMĘCZENIA

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań zjawisk zachodzących w warstwie wierzchniej austenitycznej stali chromowo-niklowej poddanej zmęczeniu niskocyklicznemu. Badano zmiany struktury dyslokacyjnej materiału w powiązaniu z procesem powstawania pęknięć.

Резюме. В работе представлены результаты испытаний процессов, происходящих на поверхности аустенитных сталей в условиях малоциклового усталости. Исследованы изменения дислокационной структуры в связи с процессом образования трещин.

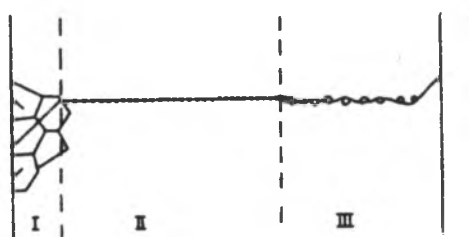
Summary. The results of the surface phenomena investigation of the austenitic stainless-steel in the low-cycle fatigue process have been presented in this work. The dislocation structure changes with regard on the crack initiation processes have been described.

1. WPROWADZENIE

Pomimo ciągłego wzbogacania naszego inżynierskiego doświadczenia opartego na analizie awarii i katastrof wywołanych procesami zmęczenia materiałów oraz wiedzy na temat fizykalnych podstaw zjawisk pęknięcia, zmęczeniowe niszczenie w dalszym ciągu stanowi przyczynę wielu tragicznych w skutkach uszkodzeń obiektów technicznych oraz powoduje istotne straty materialne. Wyniki badań są wprawdzie sukcesywnie przetwarzane w odpowiednie procedury stosowane w procesie konstruowania, jednakże nie dysponujemy w chwili obecnej metodami oceny trwałości, zapewniającymi ściśle określenie czasu bezawaryjnej pracy obiektów. Wynika to między innymi z naszej niedostatecznej wiedzy na temat mechanicznego zachowania się materiałów w różnych warunkach eksploatacji oraz procesów determinujących powstawanie i rozwój pęknięć.

2. WPLYW STANU POWIERZCHNI MATERIAŁU NA ZJAWISKA ZMĘCZENIOWEGO PĘKANIA

Biorąc pod uwagę powierzchniowy charakter zmęczeniowego pęknięcia metali, decydujący wpływ na ich trwałość mają własności warstwy wierzchniej, które mogą być konstytuowane poprzez odpowiednie zabiegi obróbki mechanicznej, cieplnej lub chemicznej warunkujące między innymi stan naprężeń własnych oraz gładkość powierzchni materiału.



Rys.1 Propagacja pęknięcia zmęczeniowego na przekroju próbki

Fig.1 Fatigue crack propagation across a specimen section

Proces zmęczeniowego pęknięcia można podzielić na trzy stadia (rys.1). Pierwsze z nich to zarodkowanie związane najczęściej z powstawaniem trwałych pasm poślizgu w konsekwencji intruzji i ekstruzji na powierzchni materiału [1,2,3]. Stadium drugie obejmuje propagację i łączenie się pęknięć o długości mniejszej od progowej. W wyniku osiągnięcia progowej długości następuje przyspieszony rozwój pęknięć do wymiarów krytycznych dla danych warunków obciążenia. Badania tego procesu realizowane są w ramach mechaniki pęknięcia. Długość poszczególnych stadiów zależy od wartości obciążeń [3,4]. W warunkach zmęczenia niskocyklicznego istotne jest stadium drugie, obejmuje ono bowiem 80-100% liczby cykli do zniszczenia. Dla cyklicznych obciążeń powyżej granicy plastyczności długość pęknięć odpowiadających temu stadium w stopach metali waha się w granicach $150\mu\text{m} < l < 500\mu\text{m}$ [3].

3. BADANIA MIKROSTRUKTURALNYCH PROCESÓW POWSTAWANIA I ROZWOJU PĘKNIĘĆ

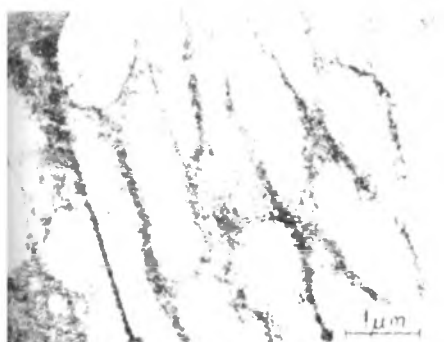
Powstawanie pęknięć poprzedzają zmiany struktury dyslokacyjnej, w wyniku których zmieniają się makroskopowe własności metali. W stalach stopowych takich jak np. stale austenityczne w procesie zmęczenia niskocyklicznego powstają stabilne układy dyslokacji w postaci struktur

komórkowych (rys.2) determinujące ich zachowanie się w warunkach stanu nasycenia [2,5,6,7]. Obserwowano w tych materiałach formowanie się



Rys.2 Struktura dyslokacyjna stali Cr-Ni po badaniach zmęczenia niskocyklicznego - $\Delta\epsilon = 0.006$

Fig 2 The dislocation structure of stainless steel after the low-cycle fatigue investigation - $\Delta\epsilon = 0.006$



Rys.3 Struktura komórek dyslokacyjnych oraz układy dyslokacji wewnątrz pasma poślizgu - badania zmęczenia niskocyklicznego stali Cr-Ni

Fig.3 The cell dislocation structure and dislocation system inside persistent slip band - the low-cycle investigation of stainless steel

trwałych pasm poślizgu (rys.3). Wykonane badania umożliwiły ujawnienie pęknięć zmęczeniowych w warstwie wierzchniej próbek poddanych niskocyklicznemu zmęczeniu (rys.4). Pęknięcia miały charakter



rys.4 Pęknięcie wewnątrz ziarna na powierzchni stali Cr-Ni

Fig.4 The crack inside the grain on the stainless steel surface

transkrystaliczny i powstawały na swobodnej powierzchni ziarn. Były więc efektem dyslokacyjnych procesów zachodzących w mikrostrukturze materiału. Obserwowano pęknięcia o długości mniejszej od progowej. Ujawniono zjawiska

blokowania pęknięć na granicach ziarn oraz powstawanie nowych szczelin w strefie odkształceń plastycznych w wierzchołkach pęknięć (rys.5).

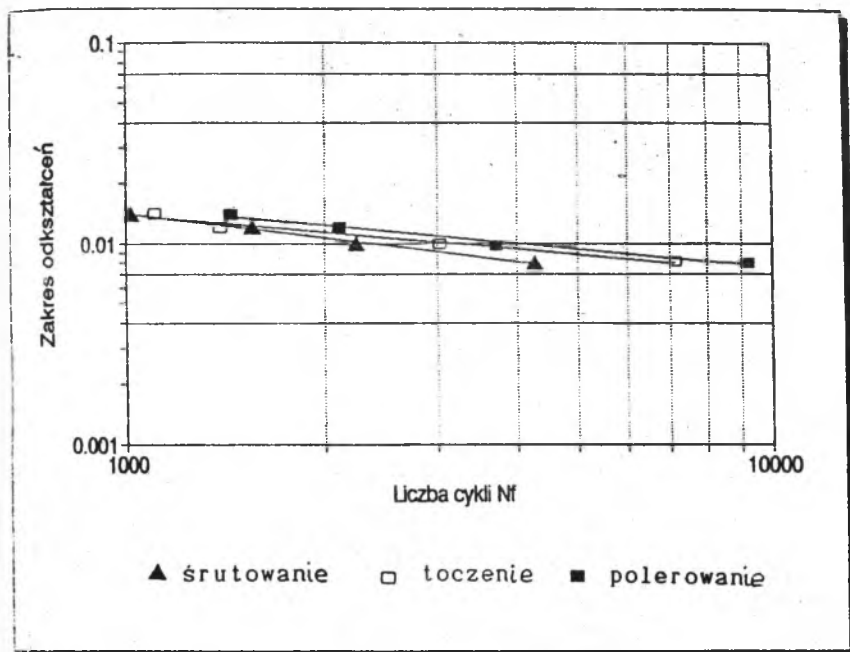
Struktura materiału w warstwie wierzchniej po procesie zmęczenia niskocyklicznego charakteryzowała się występowaniem układów komórek dyslokacyjnych. Niektóre z nich przekształcały się w podziarna. Dodatkowe bariery determinujące umocnienie materiału oraz trwałość stanowiły błędy ułożenia, hamujące swobodny ruch dyslokacji.



Rys.5 Efekty propagacji pęknięcia w pobliżu powierzchni stali (250x)

Fig.5 The crack propagation effects near the metal surface (250x)

Dokonano próby powiązania obserwowanych zjawisk pęknięcia z niskocykliczną trwałością zmęczeniową. Wykonano badania zmęczeniowe próbek charakteryzujących się różnym stanem powierzchni. Badano próbki poddane uprzednio obróbce mechanicznej - próbki po toczeniu i szlifowaniu oraz o powierzchni umocnionej poprzez śrutowanie. Zwiększenie trwałości zmęczeniowej próbek szlifowanych w stosunku do próbek toczonej nie przekraczało 20% liczby cykli do zniszczenia (rys.6). Stan powierzchni, w tym wypadku jej gładkość, wpłynął bowiem w sposób istotny prawdopodobnie jedynie na pierwsze stadium procesu pęknięcia. Umocnienie warstwy wierzchniej w wyniku śrutowania pogorszyło własności zmęczeniowe materiału. Jak można sądzić zdecydowały o tym dwa czynniki: wzrost chropowatości powierzchni i jednocześnie wzrost gęstości dyslokacji w pobliżu powierzchni materiału, które w sensie makroskopowym zmieniły warunki propagacji powierzchniowych pęknięć o długości mniejszej od progowej. Duża gęstość dyslokacji sprzyja jednocześnie powstawaniu małych pęknięć, które uzyskują korzystne warunki rozwoju w obecności karbów jakimi są mikronierówności powierzchni. Przedstawione wyniki mogą stanowić przyczynek do uzasadnienia następującego stwierdzenia:



Rys.6 Charakterystyki zmęczeniowe stali Cr-Ni

Fig.6 The fatigue characteristics of the stainless steel

O trwałości metali w warunkach zmęczenia niskocyklicznego decydują wzajemne relacje pomiędzy naprężeniami, odkształceniami i strukturą pól dyslokacji.

Jednym z istotnych elementów w metodyce oceny trwałości zmęczeniowej materiałów i wykonywanych z nich obiektów powinny więc być dane na temat mikrostrukturalnych procesów dekohezji metali. Badania tych procesów mogą bowiem umożliwić opracowanie oraz weryfikację modeli powstawania i rozwoju pęknięć. Dążąc do sformułowania kryteriów trwałości opartych na modelach pęknięcia materiałów w warunkach zmęczenia niskocyklicznego należałoby również brać pod uwagę fizyczne aspekty procesu łączenia krótkich pęknięć. Problem ten jest obecnie przedmiotem badań w wielu ośrodkach zajmujących się problematyką zmęczenia materiałów.

LITERATURA

- [1] Brown M.W., Miller K.J., Proc. Inst. Mech. Eng. London, 187,745, 1973.
- [2] Kocańda S., Kocańda A.: Niskocyklowa wytrzymałość zmęczeniowa metali, PWN, Warszawa 1989.
- [3] Magnin T. (1991): Cosequences of Surface Effects on the Microcracking Processes and the Fatigue Damage in FCC and BCC Polycrystals, Scripta Metalurgica.
- [4] Laird C., Smith C.C. (1963): Phil. Mag., 8, 1945.
- [5] Pineau A. (1983): Hight temperature fatigue behaviour of engineering materials in relation to microstructure. Fatigue at hight temperature. Applied Science Publishers LTD.
- [6] Okrajni J.: Microstructural aspects of the low-cycle fatigue of creep-resisting steels, IX Symposium Verformung und Bruch, Magdeburg 1991.
- [7] Laird C., Stanzl S., de la Veaux R., Buchinger L., The cyclic stress-strain response and dislocation structures of Cu - 16 at.% Al alloy, Material Science and Engineering 80/1986.
- [8] Okrajni J.: Niskocykliczna trwałość stali żarowytrzymałych w warunkach oddziaływań mechanicznych i cieplnych. ZN Pol.Śl., z.32, Gliwice 1988.

THE DISLOCATION PHENOMENA OF THE CRACK INITIATION
IN THE LOW-CYCLE FATIGUE PROCESS

The low-cycle fatigue durability is connected with a large number of factors which determine the mechanical behaviour of materials. Structural materials are metalurgically unstable when they are cyclically deformed. It is particulary concerned with their dislocation structure in austenitic stainless-steel. Our knowledge about relations between this stucture changes and the durability is still limited. The main purpose of this work is a microstructural phenomena description connected with the low-cycle deformed in the low-cycle fatigue tests conditions the dislocation density growth and the cell structure have been observed. This structure determined the macroscopic behaviour of material and was a component of persistend slip bends near the metal surface. The deformation process in microareas inside the grains on the metal surface of steels involved the crack nucleation which depended on the surface smooth and surface layer hardening.