EAN '94

32th Conference of Experimental Stress Analysis
32. konference o experimentální analýze napětí
30. 5. - 2. 6. 1994 VŠST Liberec Czech Republic

A NEW EQUATION OF FATIGUE LIFETIME
NOVÁ ROVNICA ÚNAVOVEJ ŽIVOTNOSTI

Puškár A.

In the paper deriving of a new equation for fatigue lifetime by the comparison of modulus elasticity before and after fatigue loading with frequency of 20 kHz is done. A new equation is compatible with two equations which are more often using for evaluation of fatigue lifetime.

Rovnica únavovej životnosti, vyjadrená závislosťou amplitúdy napätia σ_a od počtu polovičných cyklov do lomu, resp. od počtu celých cyklov zaťažovania do lomu N_f (ďalej použijeme počet celých cyklov zaťažovania do lomu), je vyjadrená rovnicou

$$\sigma_a = \sigma_f' N_f^b, \tag{1}$$

alebo v zmysle prístupu Coffina a Mansona, kde vyjadruje závislosť amplitúdy plastickej deformácie ϵ_{ap} od počtu celých cyklov zaťažovania do lomu v tvare

$$\epsilon_{ap} = \epsilon_f' N_f^c. \tag{2}$$

Koeficienty a exponenty v rovniciach (1) a (2) sú charakterizované napr. v Klesnilovej a Lukášovej práci [1].

Mason [2] použil pojem defektu modulu pružnosti $\Delta E/E$ ako reakcie materiálu na mechanické zaťažovanie, ktorý je definovaný rovnicou

$$(\Delta E/E) = (E_{do} - E_{dx})/E_{do}, \tag{3}$$

pričom podľa Masona [2] tiež platí, že

$$(\Delta E/E) = M(f_{ro}^2 - f_{rx}^2)/f_{ro}^2, \tag{4}$$

kde M je faktor charakterizujúci správanie sa hmôt rezonančnej sústavy. Túto charakteristiku môžeme eliminovať keď použijeme relatívne zmeny, napr. rovnicou

$$E_{do}/f_{ro}^2 = E_{dx}/f_{rx}^2, \qquad (5)$$

kde f_{ro} je východisková rezonančná frekvencia a f_{rx} je priebežná alebo konečná rezonančná frekvencia rezonančnej sústavy.

Pomer amplitúdy plastickej deformácie ϵ_{ap} a amplitúdy celkovej deformácie ϵ_{ac} je úmerný defektu modulu pružnosti $\Delta E/E$ [3]. Potom

$$\epsilon_{ap} = \epsilon_{ac}\Delta E/E. \qquad (6)$$

Nová rovnica únavovej životnosti má nasledujúci tvar [4,5]:

$$(\epsilon_{ac}/\epsilon_{ap}) = (E_{do}/E_{do}-E_{dx}) = (\Delta E/E)^{-1} = P = H_o N_f^h + 1 = H_x N_f^h. \qquad (7)$$

V rovnici 7 predstavuje P veľkosť pomeru $\epsilon_{ac}/\epsilon_{ap}$ pri pôsobení amplitúdy napätia alebo amplitúdy celkovej deformácie, ktoré vyvolávajú únavový lom po určitom počte cyklov zaťažovania, H_o je koeficient hromadenia únavového poškodenia, pri využití východiskovej veľkosti dynamického modulu pružnosti, H_x je koeficient hromadenia únavového poškodenia určený extrapoláciou rovnice 7 na prvý celý cyklus zaťaženia do lomu ($N_f = 1$) po zaťažovaní materiálu n cyklami, h je exponent novej rovnice únavovej životnosti. Hodnota jednotlivých faktorov novej rovnice únavovej životnosti je určená veľkosťou faktorov obvyklých rovníc únavovej životnosti. Tak

$$H_o = \sigma_f'/E_{do}\epsilon_f', \qquad (8)$$

alebo

$$H_x = \sigma_f'/E_{dx}\epsilon_f', \qquad (9)$$

a symbol

$$h = b\text{-}c. \qquad (10)$$

Rovnica pre cyklickú deformačnú krivku má tvar

$$\sigma_a = K\epsilon_{ap}^{n'}, \qquad (11)$$

s interpretáciou uvedenou v práci [1], pričom platí, že

$$n' = b/c. \qquad (12)$$

Kompatibilita novej rovnice únavovej životnosti (rovnica 7) a doposiaľ najčastejšie používaných rovníc únavovej životnosti (rovnice 1, 2), spolu s rovnicami súvisiacimi s cyklickou deformačnou krivkou (rovnice 11 a 12) je zrejmá z rovnice

$$h = c(n'-1). \qquad (13)$$

Nová rovnica únavovej životnosti vytvára prepojenie medzi inžinierskou charakteristikou, ako je únavová životnosť a zmenami fyzikálnej veličiny, ako je modul pružnosti materiálu v procese opakovaného zaťažovania.

Ocele 12020 (0,14 hm.%C), 12040 (0,36 hm.%C) a 12060 (0,49 hm.%C) s priemerom 17 mm boli normalizačne žíhané pri 900 °C počas 1h a ochladené na vzduchu. Potom nasledovala výroba únavových skúšobných vzoriek a žíhanie pri 500°C počas 0,5h a ochladzovanie v peci. Rozmer zrna ocele 12020 bol 0,015mm, ocele 12040 bol 0,04mm a ocele 12060 bol 0,01mm.

Zliatina titánu T 110 (5,7 hm.%Al), s priemerom 18 mm bola žíhaná pri 890 °C počas 1 h a ochladená vo vode. Po výrobe vzoriek nasledovalo precipitačné vytvrdzovanie pri 500 °C počas 2 h a ochladzovanie na vzduchu.

Elektrovodná meď Cu 99,95 s priemerom 20 mm bola žíhaná pri 500 °C počas 1 h s následným ochladením v peci. Potom nasledovala výroba vzoriek a žíhanie pri 300°C počas 0,5 h. Ochladzovanie bolo s pecou. Rozmer zrna medi bol 0,06 mm.

Zliatina hliníka AlCu4BiPb (ČSN 424254 - 4,5 hm.%Cu a 1,49 hm.%Pb) s priemerom 20 mm bola žíhaná pri 500 °C počas 1,5 hod, ochladená vo vode. Po výrobe vzoriek nasledovalo prirodzené starnutie pri teplote 20°C počas 1,2 roka.
Podmienky rezonancie spĺňali vzorky navrhnuté podľa Salamu a Lameranda [6] so skúšobným priemerom 4 mm.

Únavové charakteristiky sme hodnotili na zariadení pre kvantifikáciu komplexnej únavovej pevnosti KAUP [7]. Vzorky boli zaťažované symetrickým rozťahovaním a stláčaním (R = -1), s frekvenciou okolo 20,2 kHz, pri chladení vzoriek pretekajúcou vodou s teplotou 17 °C. Únavovým skúškam bolo vystavených po 15 ks vzoriek z každého materiálu.

Výsledky skúšok sú uvedené v tab.1. Dokumentujú, že spĺňajú obvyklé rovnice únavovej životnosti a tiež novú rovnicu únavovej životnosti. Štatistické spracovanie výsledkov lineárnou regresnou analýzou poskytlo hodnoty koeficientov a exponentov, ktoré vystupujú v jednotlivých rovniciach. Z tabelovaných hodnôt, využitím rovníc, ktoré predstavujú vzájomnú kompatibilitu doposiaľ používaných rovníc a novej rovnice únavovej životnosti, vyplýva jej dobré prepojenie s cyklickou deformačnou krivkou.

Tab.1 Únavové charakteristiky experimentálnych materiálov, skúšaných pri frekvencii okolo 20 kHz.

Faktor	ČSN 412020	ČSN 412040	ČSN 412060	Ti 10	Cu99,95	ČSN 424254
σ_f'(MPa)	1046	1366	1745	2809	1327	489
b	-0,087	-0,093	-0,105	-0,070	-0,149	-0,108
σ_c (MPa)	208	244	255	770	85	67
K (MPa)	13320	8409	5531	14969	1182	44640
n'	0,291	0,271	0,246	0,231	0,226	0,542
ϵ_f'	$1,4.10^{-4}$	1.10^{-3}	8.10^{-3}	4.10^{-4}	8.10^{-1}	$2,3.10^{-4}$
c	-0,297	-0,344	-0,415	-0,304	-0,615	-0,193
H_x	10	3,6	1,0	46	0,012	33
h	0,208	0,251	0,312	0,234	0,470	0,086

Autor ďakuje Slovenskej agentúre pre vedu (grant 1/310/94-A) za finančnú pomoc a podporu.

Literatúra

[1] KLESNIL,M., LUKÁŠ,P.:Únava kovových materiálů při mechanickém namáhání, Academia Praha, 1975.

[2] MASON,W.P.: Physical Acoustics and Properties of Solids, Princeton New Jersey, D.van Nostrand Co, 1958.

[3] PUŠKÁR,A.: Ultrasonics (London), May 1982, p.118.

[4] PUŠKÁR,A.: Ultrasonics (London), 31,1993,No.1, p.61.

[5] PUŠKÁR,A.: In Advances in Fatigue Lifetime Predictive Techniques, ASTM STP 1211, Vol.2,1993, p.153.

[6] SALAMA,K., LAMERAND,R.K.: In Ultrasonics Fatigue, Met. Soc. AIME, New York, 1982, p.245.

[7] PUŠKÁR,A.: Zariadenie pre komplexné skúšky akustickej únavy, CS PV 3362-90.

Prof.Ing.Anton Puškár, DrSc., Katedra materiálov a technológie,
Strojnícka fakulta, Vysoká škola dopravy a spojov,
010 26 Žilina, Slovenská republika, tel.512 (kl.170).