



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2012

CONSIDERAȚII PRIVIND NECESITATEA ABORDĂRII FENOMENULUI DE OBOSEALĂ LA MAI MULTE SCĂRI. OBOSEALA MESOSCOPICĂ (III)

Ion DUMITRU, Pavel TRIPA, Lorand KUN

CONSIDERATIONS REGARDING THE NECESSITY OF FATIGUE APPROACH ON DIFFERENT SCALES. FATIGUE MESOSCOPIC (III)

An extensive literature review is presented in this paper, composed of several parts, regarding the present-day topic of mesoscopic fatigue of materials. This subject is scarcely represented in the literature from our country.

The authors present a short and accessible approach in order to familiarize research and production engineers with the new aspects of fatigue calculation based on the transition from macro to meso scale. Mesoscopic fatigue takes into account the material's behavior at the level of crystal grains.

Cuvinte cheie: oboseală, număr cicluri, macroscopic, mesoscopic
Keywords: fatigue, number of cycles, macroscopic, mesoscopic

5. Modelări numerice și simulări pentru studiul oboselii mesoscopice [10], [11]

Pentru a delimita cât mai clar particularitățile modului de abordare a oboselii mesoscopice față de oboseala macroscopică se vor analiza în principal rezultatele comunicate până în prezent în două lucrări considerate de referință în domeniu [10], [11]. Materialul luat în studiu de autorii celor două lucrări a fost un oțel austenitic de tip structură cristalină cu fețele cubic centrate (F. C. C.). La scară *macroscopică* materialul a fost modelat pe baza unor ecuații

constitutive care au luat în considerare comportarea elasto-plastică cu o ecrusare cinematică liniară. La scară *mesoscopică* materialul a fost modelat pe baza dispunerii grăunților și a orientării rețelei cristaline, folosind imaginile de la microscopia electronică cu difracție, ocazie cu care s-au determinat și unghiurile lui Euler pentru fiecare grăunte. În total au fost luați în studiu 156 de grăunți (figura 6, a). Comportarea materialului la scară mesoscopică a fost analizată tot pe baza unei ecuații constitutive simplificată de tip elato-plastic cu ecrusare izotropă și cinematică liniară.

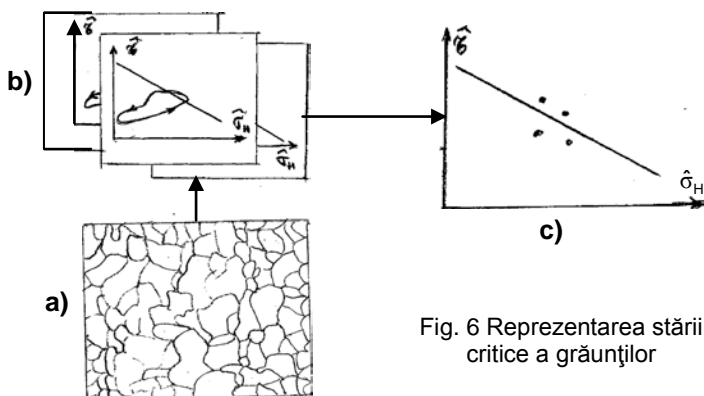


Fig. 6 Reprezentarea stării critice a grăunților

S-a acceptat că deformația plastică a grăunților cuprinși într-o matrice elastică se datorează lunecărilor cristalografice care apar frecvent în special la cristalele cubice și hexagonale.

Tensiunile care au avut un rol hotărâtor în apariția deformațiilor plastice sunt tensiunile tangențiale care acționează în lungul direcției de lunecare. Apariția curgerii într-un sistem de lunecare are loc atunci când tensiunea tangențială din acel sistem atinge o valoare critică. Pentru fiecare grăunte g , s-a calculat tensiunea care produce curgerea, pentru diferite sisteme de lunecare s , sub forma:

$$\sigma_g^c = \min_s \frac{\tau_0}{F_g^s} \quad (28)$$

unde: τ_0 – tensiunea tangențială critică, care poate fi considerată egală cu limita de curgere la forfecare ($\tau_0 = \tau_c$);

F_g^s - parametrul lui Schmid calculat pentru fiecare sistem de lunecare s , la diferite orientări ale grăunților.

Caracteristicile de material la nivel macroscopic au fost: modulul de elasticitate longitudinal, limita de curgere și modulul

macroscopic cinematic de ecrisare. Parametrii de material au fost astfel ajustați printr-o omogenizare numerică astfel încât răspunsul mediu la scară mesoscopică a tuturor grăunților să corespundă cu comportarea la nivel macroscopic.

Calculul cu elemente finite a fost extrem de performant, bazat pe elemente finite Cast 3M 2008 și pe o serie preprocesări, obținerea unor soluții și postprocesări. O parte din procedurile de postprocesare au utilizat MATLAB. Fiecare grăunte a fost considerat de formă patrată și a fost discretizat folosind elemente liniare cu trei noduri.

Înainte de a prezenta rezultatele simulării numerice pentru două tipuri de încercări ciclice, respectiv tracțiune și răsucire, se vor analiza etapele aplicării criteriului V. D. atât la nivel mesoscopic cât și macroscopic (figura 6).

Modelarea la nivel mesoscopic având ca scop determinarea stării finale critice pentru fiecare grăunte a cuprins:

- Aplicarea criteriului V. D. pentru fiecare sistem de lunecare al tuturor grăunților pe baza orientării acestora și a sistemelor de lunecare corespunzătoare. S-au calculat tensiunile tangențiale mesoscopice și tensiunile hidrostactice pentru fiecare sistem de lunecare, obținând astfel traiectoriile (contururile) încărcărilor care s-au reprezentat pentru fiecare grăunte în diagrama V. D. (figura 6, b). Pe această bază s-a obținut încărcarea critică a fiecărui grăunte corespunzătoare unei anumite direcții de lunecare.

- Aplicarea criteriului Van Dang la nivelul fiecărui grăunte și centralizarea stărilor critice ale acestora pentru întregul ansamblu luat în studiu (figura 6, c). Pentru o comparație cu scara mesoscopică s-a aplicat criteriul V. D. în condițiile unui câmp de tensiuni elastic omogen, la aceleași încărcări ca și analiza la nivel mesoscopic. În acest caz, numai punctul corespunzător stării critice al structurii a fost reprezentat în diagrama tensiunea mesoscopică la forfecare-tensiune hidrostatică.

În cele ce urmează se vor analiza rezultatele simulărilor pe epruvete fără concentratori de tensiuni, supuse la răsucire și tracțiune ciclică. Pentru fiecare dintre cele două solicitări s-au luat în considerare două niveluri de încărcare, unul sub limita de oboseală (R_2, T_2) și altul peste limita de oboseală (R_1, T_1). Pentru toate cazurile s-au aplicat cinci cicluri de solicitare care au fost suficiente pentru atingerea stării finale stabilizate. În figurile 7, a și 7, b sunt indicate stările finale ale grăunților.

Analizând cele două diagrame se vede că în condițiile unor încărcări sub limita de oboseală (pentru ambele solicitări), norul de puncte reprezentând stările critice ale grăunților este mai compact fiind

caracterizat printr-o variație foarte redusă a presiunii hidrostatice și o centrare a acestuia în jurul unor presiuni hidrostatice minime.

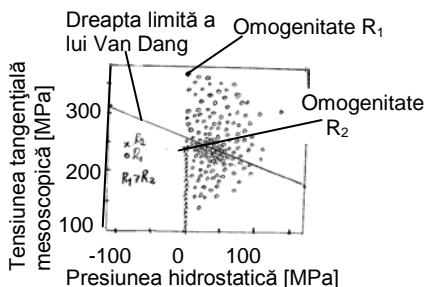


Fig. 7, a Diagrama V. D. cu stările finale ale grăunților pentru două nivele de încărcări ciclice la torsiune $\tau_{max}=R_1, R_2$ ($R_1 > R_2$) [10]

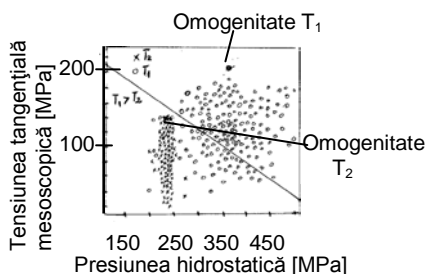


Fig. 7, b Diagrama V. D. cu stările finale ale grăunților pentru două nivele de încărcări ciclice la tracțiune $\sigma_{max}=T_1, T_2$ ($T_1 > T_2$) [10]

La încărcări peste limita de oboseală norul de puncte pentru ambele solicitări este dispersat (tendința de creștere a dispersiei fiind mai evidentă, la încercările de tracțiune ciclică). Această dispersie se justifică prin creșterea gradului de deformare plastică ca urmare a creșterii încărcării ($R_1 > R_2, T_1 > T_2$).

Variația presiunii hidrostatice este în legătură directă cu distribuția tensiunilor remanente din fiecare grăunte [10], [11].

Ceea ce trebuie subliniat, ca o concluzie a acestui studiu deosebit de complex, constă în faptul că stările grăunților cei mai solicitați coincid, pentru toate cazurile, cu starea corespunzătoare calculului în ipoteza omogenității structurii (figura 7, b).

Analizând rezultatele obținute se vede că introducerea scării mesoscopice impune și o analiză statistică consistentă având în vedere dispersia, uneori foarte importantă a stărilor critice pentru multitudinea de grăunți luați în studiu.

6. Aplicații ale criteriilor mesoscopice

Foarte multe echipamente din construcția de mașini sunt proiectate să funcționeze pentru durate lungi de timp, în multe situații nefiind prevăzute anumite limite în ce privește numărul de cicluri aplicate până la scoaterea din uz a acestora. La multe dintre asemenea echipamente sau instalații nu există nici posibilitatea efectuării unor controale nedistructive după anumite perioade de funcționare. Evident că în acest caz încărcările aplicate se situează în vecinătatea limitei de oboseală sau în multe situații sub aceasta. Încărcările în asemenea

cazuri fiind reduse, solicitările la scară macroscopică sunt elastice, în schimb la nivel mesoscopic pot să apară deformări locale plastice în care se inițiază fisurile de oboseală. Pentru asemenea echipamente cum ar fi: arborii de mașini, paletetele turbinelor, componente ale centralelor nucleare etc. se manifestă în ultimii ani o tendință accentuată de abordare a fenomenului de oboseală la scară mesoscopică [12], [13], [14], [15].

Cele mai multe studii la scară mesoscopică se referă în special la elucidarea unor aspecte ale oboselii de contact în condiții de multiaxialitate a tensiunilor. După cum se știe, în asemenea cazuri sarcinile foarte mari aplicate pe zone restrânse determină o puternică concentrare a tensiunilor în volume limitate de material, situate sub suprafața de contact. Cele de mai sus sunt exemplificate în figura 8, unde se prezintă într-o diagramă V. D. traiectoria încărcării la o șină de cale ferată într-un punct situat sub suprafața de contact [16].

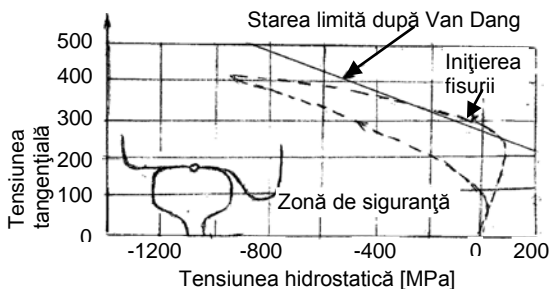


Fig. 8 Aplicarea criteriului Van Dang pentru o șină

Analiza la nivel mesoscopic s-a concentrat la nivelul unor grăunți situați în vecinătatea punctului în care tensiunea tangențială maximă calculată, după criteriul Tresca, a fost atinsă. Din figura 8 se vede că există o porțiune în care traiectoria încărcării depășește zona de siguranță, putând astfel să apară fisuri de oboseală în interiorul șinei la o anumită distanță sub zona de contact.

7. Observații și concluzii

- În cadrul lucrării se evidențiază scările (nivelurile) de abordare a oboselii structurilor cu particularitățile lor pentru diferitele domenii ale durabilității. O atenție deosebită s-a acordat scării mesoscopice care în prezent este folosită tot mai frecvent pentru evaluarea durabilității unor componente mecanice de mare importanță în construcția de mașini.

■ De asemenea, se face o prezentare a criteriului mesoscopic de bază, respectiv criteriul Van Dang (V. D.), aplicat în prezent în industria de automobile din Franța.

■ Pentru evidențierea particularității criteriilor mesoscopice, față de cele macroscopice, se analizează rezultatele unuia dintre cele mai complete studii privind modelarea numerică și simularea fenomenului de oboseală la nivelul unor grăunți cristalini.

■ În finalul lucrării, se exemplifică aplicabilitatea criteriului Van Dang pentru elucidarea unor aspecte particulare ale oboselii de contact luând în considerare multiaxialitatea tensiunilor din zonele învecinate punctului de contact roată-șină.

BIBLIOGRAFIE

[10] Hofmann, F., Bertolino, G., Constantinescu, A., Ferjani, M., *Numerical exploration of the Van Dang high Cycle fatigue criterion: Application to gradient effects*. Journal of Mechanical of Materials and Structures, Vol. 4, No. 2, pag. 293-308, 2009.

[11] Charkaluk, E., Constantinescu, A., Maïtournam, H., Dang Van, K., *Revisiting the Dang Van criterion*. Procedia Engineering, No. 1, pag. 143-146, 2009.

[12] Dang Van, K., *A unified fatigue modelling for structural applications based on a multiscale approach and shakedown hypothesis*. Workshop: Optimal Design. Laboratoire de Mecanique des Solides Ecole Polytechnique Palaiseau, France, nov. 26-28, 2003.

[13] Arrieta, H.V., Wackers, P., *Modelling attempts to predict fretting-fatigue life on turbine component*. Paper presented at the RTO AVT Specialists Meeting on „The Control and Reduction of Wear in Military Platforms”, 7-9 Jan. 2003, Publishid in RTO-MP-AVT-109, USA.

[14] Araujo, J.A., Mamiya, E. N., *The application of a mesoscopic scale approach in fretting fatigue*. J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng., Vol. 25, No.1, 2003.

[15] Ciavarella, M., Monno, F., Demilio, G., *Maps for the Dang Van fatigue limit in rolling contact fatigue*. Private communication, 2010.

[16] Peixoto, D. F. C., Ferreisa, L. A. A., P. M. S. T. de Castro, *Application of the Dang Van Fatigue Criterion to the Rail/Whell Contact Problem*. Material Science Forum, Vol. 636-637, pag. 1178-1185, 2010.

Prof.Dr.Ing. Ion DUMITRU,

e-mail: dion@clicknet.ro

Prof.Dr.Ing. Pavel TRIPA,

e-mail: ptripa@yahoo.com; pavel.tripa@mec.upt.ro

Drd.Ing. Lorand KUN, e-mail:

kunlori@yahoo.com

Universitatea "POLITEHNICA" Timișoara,

membri AGIR