

# FENOMENUL DE OBOSEALĂ ÎN STRUCTURILE DE AVIAȚIE

## Ing. Sebastian Ghe. CÂNDULEȚ

Absolvent al Universității „Transilvania” din Brașov, Secția construcții aerospațiale. Specializare de 6 luni în Anglia, Swindon în Sisteme moderne de depozitare.



## Ing. Daniel ANTONEAC

Absolvent al Universității „Transilvania” din Brașov, Secția construcții aerospațiale.



## Prof. dr. ing. Ioan GOIA

Universitatea „Transilvania” din Brașov

A absolvit Facultatea de Mecanică la Institutul Politehnic din Brașov, 1957; doctoratul în domeniul rezistenței materialelor la Institutul Politehnic București, în 1971. A ocupat, pe rând, la Universitatea „Transilvania” din Brașov, posturile de asistent, șef lucrări, conferențiar și profesor. Conducător de doctorat din 1990 (sub îndrumarea sa și-au dobândit doctoratul 10 ingineri). Specializări la Gesamthochschule Wuppertal, 1992; visiting professor la Sheffield University, 1994. A publicat peste 200 de lucrări, 5 cărți și 12 cursuri, manuale și culegeri pentru studenți.



### REZUMAT

În cadrul lucrării autorii prezintă o introducere în calculul de oboseală al unei aripi de avion. Lucrarea se bazează pe un studiu de caz în care este calculată durata de viață a unui lonjeron, folosind criteriul Palmgren-Miner.

### ABSTRACT

In this paper the authors describe an introduction in a fatigue calculus for an aircraft wing. A numerical example is presented and a calculus of life prediction is made using Palmer-Miner criterion.

## 1. INTRODUCERE

Fenomenul de oboseală constă în modificarea proprietăților și caracteristicilor unui material supus la solicitări repetate. Modificarea proprietăților unui material este numită **degradare**. În structura materialului pot să apară fisuri datorate fenomenului de oboseală care pot provoca ruperea elementului.

Procedurile de testare la oboseală pentru proiectarea structurilor moderne au la bază tehnici care au fost descoperite de-a lungul a 100 de ani de cercetare. Primele atestări cu privire la acest fenomen de oboseală au fost raportate în Germania, inginerul german W. A. S. Albert conducând, în 1829, primele încercări la oboseală asupra unui lanț de oțel. Dezvoltarea rapidă a industriei căilor ferate la mijlocul secolului XIX aduce noi provocări în studierea fenomenului de oboseală, mai ales din cauza cedărilor axurilor anumitor vagoane de transport, acestea

fiind la originea unor accidente soldate cu pierderi de vieți omenești și materiale. Acest fenomen a început să devină tot mai cunoscut, datorită importanței sale majore. S-au făcut numeroase cercetări pentru studierea și implementarea unor metode de calcul pentru fenomenul de oboseală, studii de pionierat în acest domeniu fiind efectuate de cercetători precum: Wöhler (1858); Griffin (1920); Palmgren (1924); Langer (1937); Miner (1945).

## 2. ACCIDENTE AVIATICE DATORATE FENOMENULUI DE OBOSEALĂ

- În 1954, două accidente aviatice în care a fost implicat primul avion comercial, **De Haviland Comet**, au adus cuvintele „**oboseala metalului**” pe primele pagini ale ziarelor și în atenția opiniei publice. Avionul, de altfel unul dintre primele avioane cu cabină presurizată, avea

ferestre de formă pătrată. Presurizarea combinată cu încărcările repetate din timpul zborurilor a dus la apariția unor fisuri în colțurile ferestrelor, fisuri care s-au propagat până la dezmembrarea cabinei .

● În 1977, un Boeing 707-300C se pregătea de aterizare, când i s-au desprins stabilizatorul și profundorul dreapta, destabilizând aeronava, care, în cele din urmă, se prăbușește la aproximativ 3 km înaintea pistei, provocând o catastrofă. Anumite părți structurale au fost proiectate utilizându-se conceptul „Fail Safe”, în prealabil nefăcându-se o testare completă la oboseală.

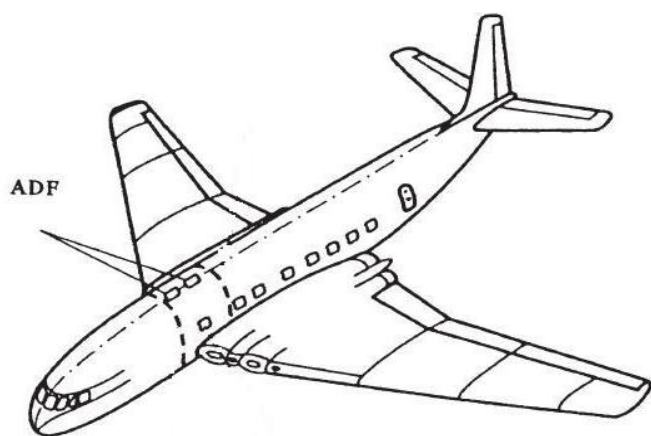


Fig. 1

În figura 1 se observă avionul De Havilland, cele două săgeți arătând zona în care au apărut fisurile în fuselaj, care au dus la depresurizarea cabinei și, în cele din urmă, la ruperea fuselajului.

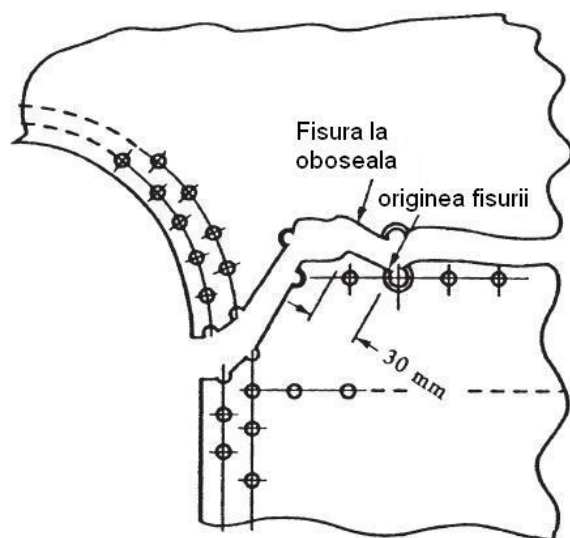


Fig. 2,a

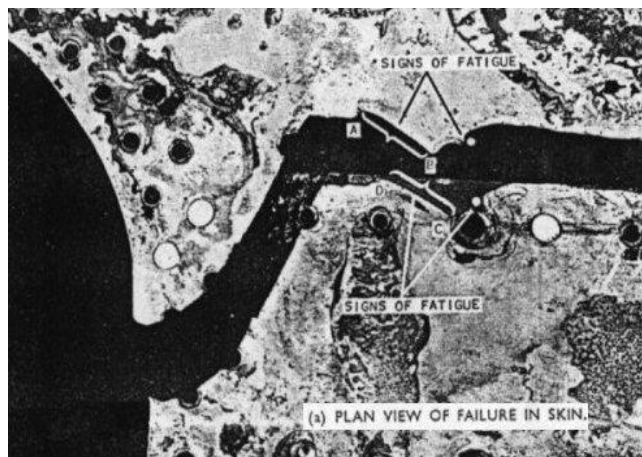


Fig. 2,b

În figura 2,a se prezintă mai în detaliu zona de apariție a fisurii. După cum se observă, fisura a apărut la asamblarea nituită. A plecat de la marginea exterioră a găurii de nituire și a avansat până s-a produs ruperea sau cedarea. În figura 2,b se prezintă poza extrasă din raportul de investigare al accidentului.

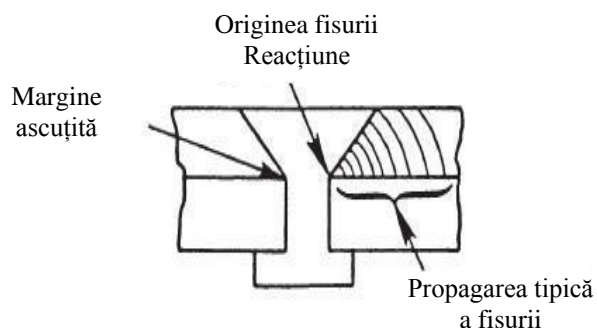
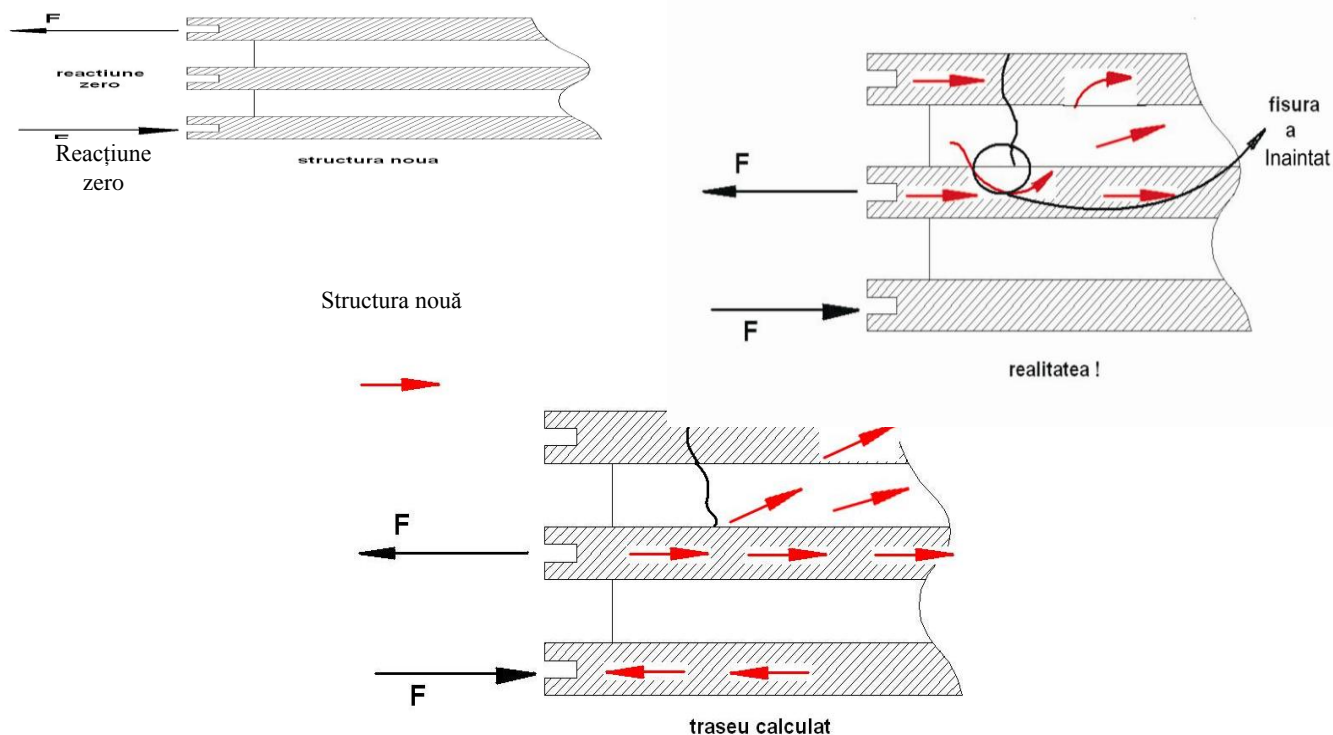


Fig. 2,c

În figura 2,c avem o vedere de sus a asamblării nituite, cu locul de apariție a fisurii. După cum se observă, fisura a apărut pe muchia ascuțită din cauza tensiunilor mari din structură, urmând apoi să avanseze în timp, ca urmare a solicitărilor ciclice.

Următoarele desene prezintă, pe înțelesul tuturor, pașii care au dus la producerea accidentului.



**Parametrii care influențează rezistența la oboseală (durata de viață) sunt:**

- caracteristicile geometrice ale piesei;
- condițiile de aplicare a sarcinilor alternative;
- starea metalurgică a pieselor solicitate;
- starea suprafeței pieselor.

**Concluzii**

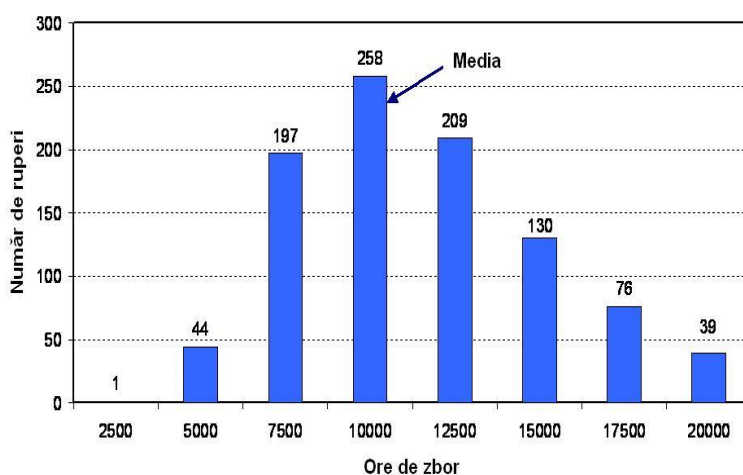
● Aceste accidente au avut un rol esențial în dezvoltarea teoriilor de oboseală. Datorită lor, **fenomenul de oboseală** nu avea să mai fie neglijat, constatându-se ca

acesta este la originea defectelor apărute în interiorul diferitelor componente și structuri.

**3. STUDIU DE CAZ**

**Calculul la oboseală al lonjeronului principal al aripii avionului**

- Fenomenul de oboseală are o natură probabilistică.



**Fig. 4**

Din histograma din figura 4 putem observa natura probabilistică a acestui fenomen de oboseală. Aceasta ne prezintă încărcarea a 1000 de lonjeroane ale avionului

Cessna. Se observă că cele mai multe ruperi au intervenit cam la 10 000 de ore de zbor, acestea reprezentând durata medie de viață a lonjeronului principal.

Tabelul 1

Serie avion	Ore de zbor	Data descoperirii fisurii	Felul de cedare
402-0295	8057	1978	Cedarea completă a tălpii-aripa stânga
402A-0043	13824	1990	Fisura de 0.05" la echip. NDI
402-0101	16000	1992	Cedare completă a tălpii aripa stânga
402A-0080	13773	1992	Cedare completă a tălpii aripa stânga
402-0216	9012	1992	Cedare completă a tălpii aripa stânga

În tabelul 1 sunt prezentate mai multe tipuri de aeronave, notate în funcție de seria acestora, care au fost supuse la teste de oboseală. Pentru fiecare observăm

numărul de ore după care au apărut cedări sau fisuri în structură și tipul acestora.

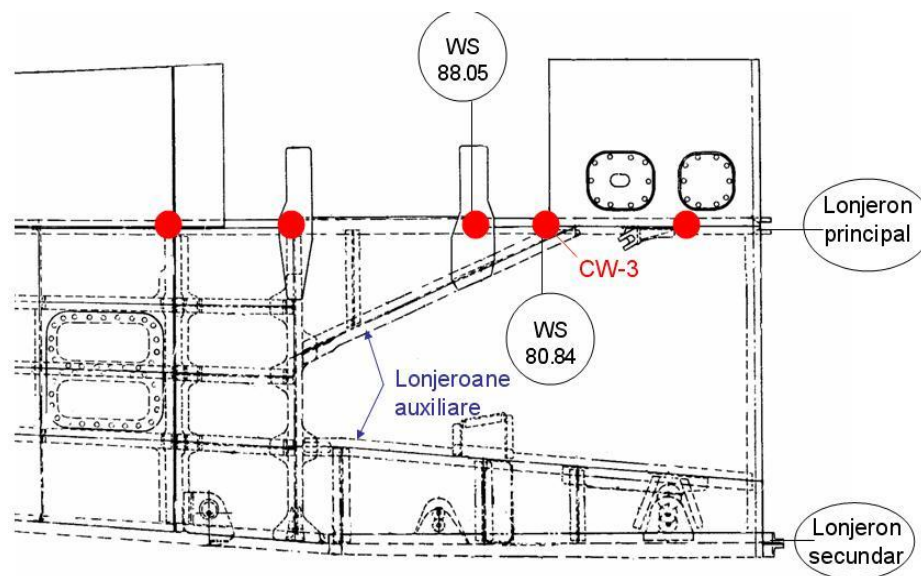


Fig. 5

În figura 5 vedem aripa avionului Cessna 402 împreună cu ansamblul părților componente (lonjeronul principal și

cel secundar), punctele reprezentând locul în care au apărut fisuri sau chiar ruperi în timpul testărilor la oboseală.

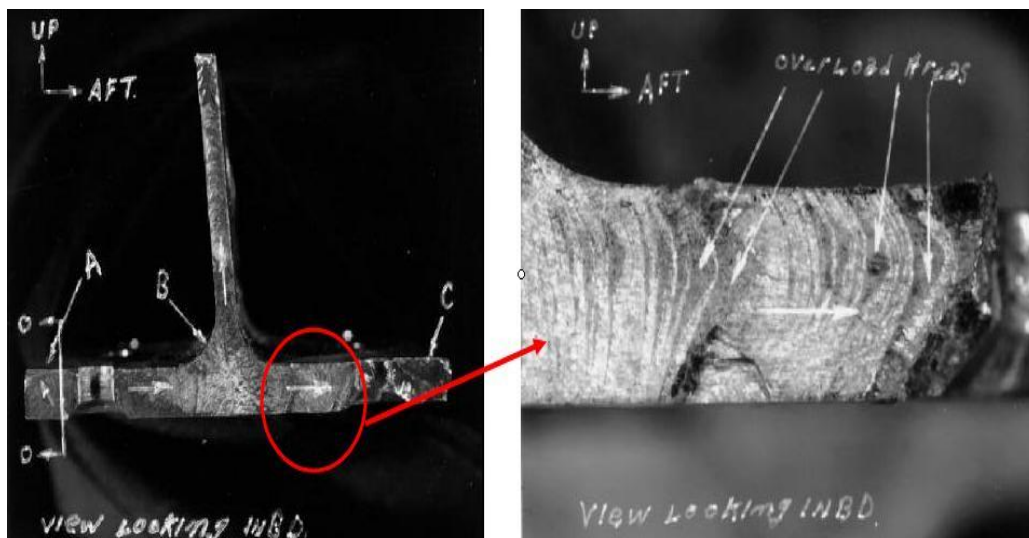


Fig. 6

Cele două poze din figura 6 sunt radiografiile ce reprezintă talpa lonjeronului principal și locul apariției fisurii, săgețile arătând direcția de propagare a tensiunilor din interiorul lonjeronului.

**Ciclul de solicitări în timpul unei ore de zbor**

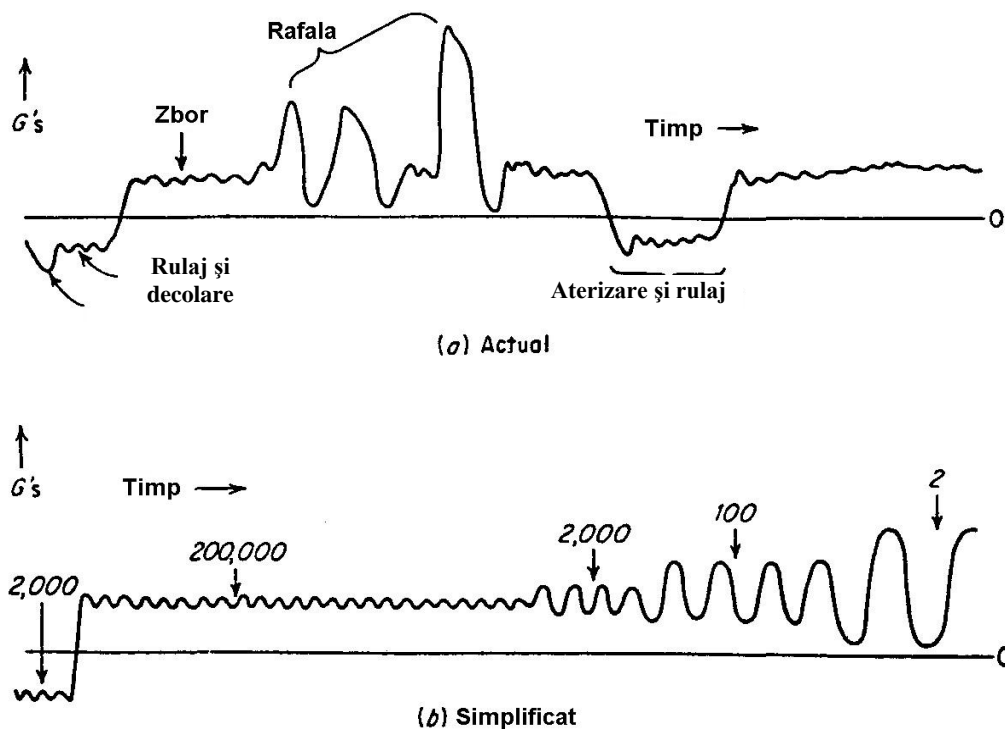


Fig. 7

În figura 7 sunt prezentate etapele zborului, plecând de la rulaj, decolare până la aterizare, și efectul forțelor ce acționează asupra aeronavei în timpul zborului.

În figura 7,b este prezentată schema simplificată a acestor cicluri de solicitări.

Tabelul 2

CICLU	1	2	3	4	5	UM
$\sigma_{max}$	-182	182	231	273	364	MPa
$\sigma_{min}$	-154	54	140	126	105	MPa
$\sigma_a$	-68	68	185.5	199.5	234.5	MPa
N	$94.6 \cdot 10^{12}$	$94.6 \cdot 10^{12}$	$802 \cdot 10^6$	$11 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^5$	cicluri

- Aliajul de **Aluminiu 7075** se rupe la **517 MPa**.
  - Încercările lonjeronului aripii s-au efectuat la **+3,8 G** care este 100% limita de încărcare.
  - Ruperea se produce la 150% din sarcina limită, adică **~5,7 G**.
  - Dacă se va considera o rafală **+/- 3G (de la -2 G la +4 G)**, tensiunea în lonjeron este de la -182 la 364 MPa în rafală.
- Conform diagramei S-N din figura 8, ar însemna că lonjeronul rezista la **40 000** de cicluri.

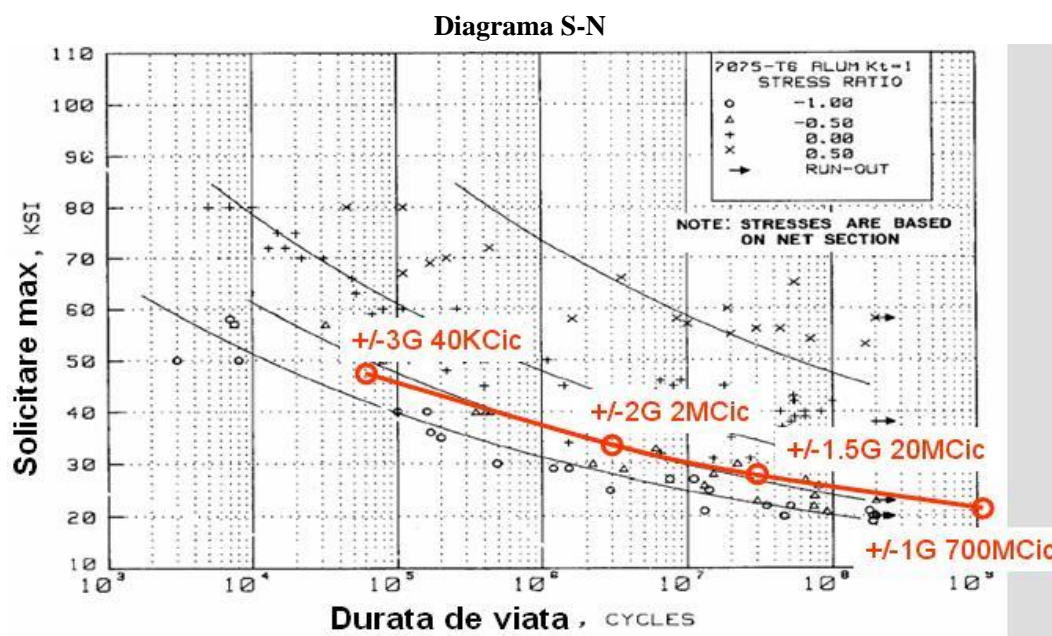


Fig. 8

- Dacă desenăm profilul tensiunilor pe curba S-N după variația spontană a rafalei suportate de avion, avem:
  - +/-3G: 364 MPa, raport -0,5;
  - +/-2G: 273MPa, raport -0,33;
  - +/-1.5G: 234 MPa, raport -0,20;
  - +/-1G: 182 MPa, raport 0,0.

Dacă se reduce încărcarea cu 10% în timpul rafalei, variația ciclică pe lonjeron va fi între 161 și 329 MPa.

Conform diagramei S-N, lonjeronul rezistă la **130 000 cicluri**. Calculul duratei de viață se poate face cu ajutorul criteriului de calcul, prezentat în cele ce urmează.

### Criteriul Palmgren-Miner

Criteriul Palmgren – Miner este unul dintre cele mai utilizate criterii de cumulare a degradărilor și se bazează pe următoarele considerații:

- ➔ fiecare grupă de sinusoidă produce o degradare egală cu raportul dintre numărul de cicluri din grupă și numărul de cicluri la care s-ar produce ruperea la oboseală, păstrând constant nivelul de solicitare  $\sigma_i$  al grupei;
- ➔ degradarea produsă de orice grupă de sinusoidă nu depinde de poziția grupei în cadrul programului de solicitare;
- ➔ degradarea totală este egală cu suma degradărilor produse de fiecare grupă de sinusoidă.

Notăm cu  $D_i$  degradarea produsă de grupul de  $n_i$  sinusoide corespunzător nivelului  $\sigma_i$ ; rezultă (fig. 9):

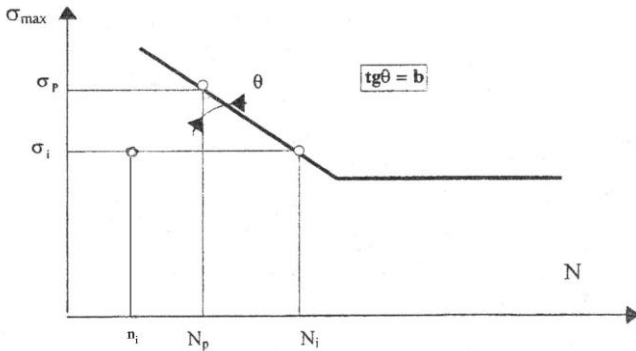


Fig. 9

$$\overline{D_i} = \frac{\overline{n_i}}{N_i}$$

Degradarea produsă de programul de solicitare format din  $q$  grupe va fi:

$$D_p = \sum_1^q \overline{D_i} = \sum_1^q \frac{\overline{n_i}}{N_i} \quad (1)$$

În cazul repetării programului de  $n_p$  ori, degradarea totală  $D$  devine:

$$D = n_p \cdot D_p = n_p \cdot \sum_1^q \frac{\overline{n_i}}{N_i} \quad (2)$$

Având în vedere relația (1) rezultă:

$$D = n_p \cdot \sum_1^q \frac{\overline{n_i}}{N_i} = \sum_1^q \frac{n_i}{N_i} \quad (3)$$

Conform acestei teorii, în momentul ruperii  $D = 1$ , de unde rezultă:

$$\sum_1^q \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad (4)$$

Din ecuațiile anterioare rezultă:

$$\sum_1^q \frac{\alpha_i \cdot n_i}{N_i} = 1 \quad (5)$$

de unde se obține numărul total de cicluri necesar programului cu mai multe nivele pentru a produce ruperea:

$$N_r = \frac{1}{\sum_i^{i=q} \frac{\alpha_i}{N_i}} = \left( \sum_i^{i=q} \frac{\alpha_i}{N_i} \right)^{-1} \quad (6)$$

Dacă se pornește de la ecuația curbei Wohler  $\sigma^b N = \text{const.}$  și se ia un nivel de referință  $\sigma_p$ , căruia îi este asociat numărul de cicluri  $N_p$ , atunci rezultă:

$$\begin{aligned} \sigma_p^b N_p &= \text{const.} \\ \sigma_i^b N_i &= \text{const.} \end{aligned}$$

de unde:

$$\frac{N_i}{N_p} = \left( \frac{\sigma_p}{\sigma_i} \right)^b \quad (7)$$

în care  $b$  este panta curbei Wohler în coordonate  $\log \sigma_{max} - \log N$ .

Înlocuind pe  $N_i$  din (7) în ecuația (6), rezultă:

$$N_r = \left[ \sum_i^{i=q} \frac{\alpha_i}{N_p} \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_p} \right)^b \right]^{-1} \quad (8)$$

Se poate observa că:

- la suprasarcini foarte mari, reducerea tensiunii cu **10%** înseamnă de **3 ori viața**, reducerea cu **20%** înseamnă de **10 ori viața**;
- calculul deteriorării pentru un zbor, aplicând criteriul **Palmgren-Miner**, conduce la:

$$D_p = \sum_1^q \overline{D_i} = \sum_1^q \frac{\overline{n_i}}{N_i}$$

$$d = \frac{2000}{94,6 \cdot 10^{12}} + \frac{200000}{94,6 \cdot 10^{12}} + \frac{2000}{802 \cdot 10^9} + \frac{100}{11 \cdot 10^6} \cdot \frac{2}{4 \cdot 10^5}$$

$$d = 1,41 \cdot 10^{-5} \quad n_{ore} = \frac{1}{d} \quad n_{ore} = 7,094 \cdot 10^4$$

## BIBLIOGRAFIE

1. **Buzdugan Gh.** *Rezistența materialelor*, Ed. Academiei, București, 1986.
2. **Dowling E. Norman.** *Mechanical Behaviour of Materials*, Ed. Prentice Hall International, INC., Englewood Cliffs, 1993.
3. **Goia A. Ioan.** *Rezistența materialelor*, Vol II, Ed. Universitatea Brașov, 1981.
4. **Grosu Ion.** *Calculul și construcția avionului*, Vol. I, II, Ed. Didactică și Pedagogică, București 1965.
5. **Petre Augustin.** *Proiectarea structurilor de aero-astronave*, Ed. Academiei Române, 1999.