



**Conferința Națională Multidisciplinară
„PROFESORUL ION D. LĂZĂRESCU
FONDATORUL ȘCOLII ROMÂNEȘTI
DE TEORIA AȘCHIERII”
Ediția a VIII-a
Cugir, 13 decembrie 2024**

ÎNCERCĂRI DE OBOSEALĂ LA ÎNCOVOIERE DIAGRAMA WÖHLER

Ion Dantes ZAHARIE

BENDING FATIGUE TESTS WÖHLER DIAGRAM

The laboratory activity in the discipline "Machine Organs" contributes to training and development of experimental work and calculation skills, in parallel with the creative application of theoretical knowledge.

The objectives pursued are:

- knowledge of constructive solutions;
- exemplifying the main ways of destruction of organs machines, establishing the causes and proposing solutions capable of prevents the deterioration process;
- development of assessment skills through measurements of principals constructive parameters;
- developing the skills to develop a program experimental;
- critical analysis of measurement and test results;
- training and development of engineering-specific calculation skills mechanics, using the facilities offered by MATLAB;
- developing the ability to work in a team.

The subject of the work is the fatigue of rotary bending and follow drawing Wöhler diagrams, highlighting the complex of factors that intervene in the assessment of the fatigue resistance limit for a part the real.

Cuvinte cheie: *organe de mașini, dezvoltare, piesa.*

1. Scopul lucrării

Determinarea experimentală a limitei de rezistență la oboseală. Trasarea diagramei Wöhler.

2. Elemente teoretice

2.1. Cicluri de solicitări variabile

Un *ciclu de solicitare variabilă*, figura 1, este definit prin următoarele mărimi, [1], [2]:

– tensiunea maximă σ_{\max} și tensiunea minimă σ_{\min} – se determină cu relațiile din „Rezistența materialelor”;

– tensiunea medie

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (1)$$

– *amplitudinea tensiunii*

$$\sigma_v = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (2)$$

– *caracteristica ciclului (coeficient de asimetrie)*

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (3)$$

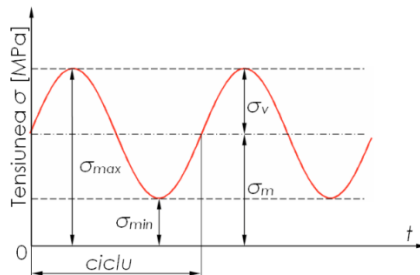


Fig. 1. Mărimi definitorii pentru solicitarea variabilă

Dacă tensiunile variază între aceleași valori σ_{\min} și σ_{\max} pe toată durata de aplicare a solicitării variabile *ciclu* se numește staționar.

Solicitările variabile, indiferent de tipul ciclului, determină apariția fenomenului de oboseală a materialului, care reprezintă cea mai

frecventă cauză de deteriorare și ieșire din funcțiune a organelor de mașini. Ruperea prin oboseală se produce după un anumit număr de cicluri pentru tensiuni mai mici decât tensiunile care produc deteriorarea prin rupere statică. În funcție de răspunsul (comportarea) metalului la solicitarea variabilă periodică se deosebesc două situații, [3].

Oboseala în domeniul durabilităților mari (peste 106 cicluri de solicitare) se dezvoltă în condițiile unor solicitări variabile la care tensiunea maximă și amplitudinea tensiunii au valori mici comparativ cu caracteristicile statice de rezistență ale metalului, iar deformațiile metalului solicitat sunt în domeniul elastic.

Oboseala în domeniul durabilităților mici rezultă în condițiile unor solicitări variabile cu vârfuri și amplitudini de tensiune de valori mari care determină deformații locale elasto-plastice.

2.2. Ruperea prin oboseală

Fenomenul fizic al ruperii prin oboseală este complex și diferit de cel al ruperii la solicitări statice. Ruperea prin oboseală nu se produce brusc în întreaga secțiune a unei piese, ci parcurge trei etape (stadii) principale reprezentate în figura 2:

- inițierea fisurii are loc în zona unui concentrator (geometric, rugozitate, de material) care perturbă omogenitatea câmpului de tensiune determinând modificarea stării de tensiune (distribuția reală prezintă vârfuri de tensiune);
- propagarea microfisurii are loc continuu datorită condițiilor favorabile de evoluție a microfisurilor și de coalescența lor în macrofisuri;

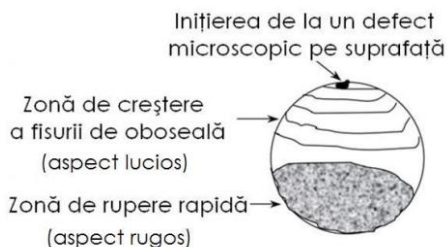


Fig. 2 Stadiile dezvoltării deteriorării prin oboseală.

– ruperea finală are loc la atingerea dimensiunii critice de către una dintre fisuri, când se declanșează o rupere fragilă prin suprasolicitarea materialului din secțiunea rămasă.

Apariția și dezvoltarea fisurii de oboseală pot fi evidențiate în secțiunea de rupere a unei piese, figura 3 în care se indică și zona de inițiere a fisurii de oboseală. Se observă două zone de oboseală care se propagă pe aproximativ 33 % din suprafața de rupere înainte de suprasolicitatea de torsiune, iar în zona 2 apar urme de oboseală și oxidare.



Fig. 3 Suprafața tipică de rupere prin oboseală.

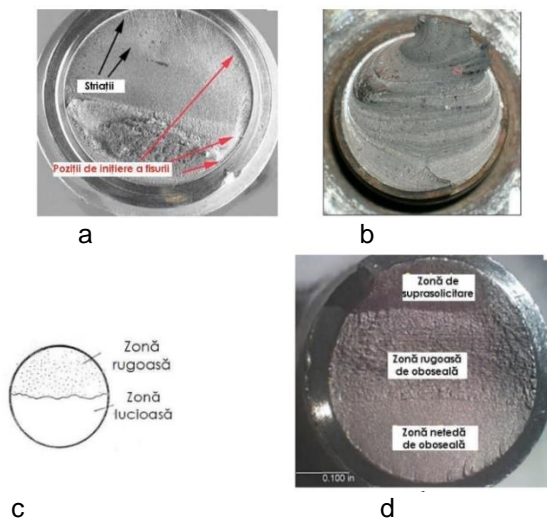


Fig. 4 Aspectul secțiunii de rupere prin oboseală

Ruptura prin oboseală a metalelor tenace are un aspect caracteristic, ca în figura 4, care permite să fie ușor identificată:

– tensiunea variabilă având amplitudini relativ mici, nu determină deformaii plastice accentuate (fără gătuirea ce precede ruperea statică), iar metalul se rupe similar celui fragil (figura 4.a);

– adeseori fisura de oboseală nu se propagă continuu, cu aceeași viteză, ci cu intermitențe (datorită perioadelor de oprire a mașinii sau de solicitare redusă care fac ca fisura să nu avanseze) cum arată figura 4.b;
 – în secțiunea piesei apar două sau trei zone distincte (figura 4.c, 4.d): una lucioasă (netedă) – datorită frecării materialului în timpul dezvoltării fisurii și una grăunțoasă (rugoasă) în partea în care are loc rupura finală. Figura 5 exemplifică organe de mașini cu distrugereri prin oboseală.

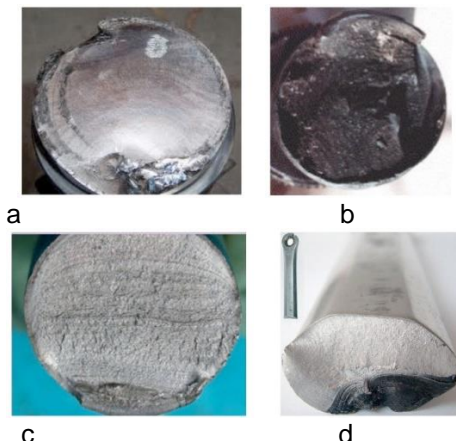


Fig. 5 Exemple de rupere prin oboseală:
a – arbore, b – ax de turbină, c – șurub, d – bielă

2.3. Evaluarea comportării la oboseală

Principala metodă de evaluare a comportării la oboseală a materialelor o constituie încercarea pe epruvete netede la solicitări ciclice, de regulă alternant–simetrice, cu amplitudine constantă (Wihler).

Forma și dimensiunile epruvetelor utilizate la încercările de oboseală sunt reprezentate în figura 6.

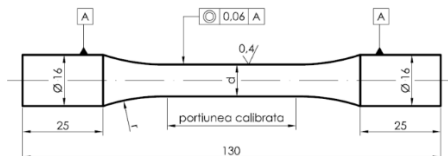


Fig. 6 Forma constructivă a epruvetei

Spre deosebire de caracteristicile de rezistență statică, care au valori bine determinate, orice material are o infinitate de rezistențe la oboseală,

după valoarea coeficientului R de asimetrie a ciclului și după tipul de solicitare (σ_{RN} sau T_{RN}), dependente de numărul de cicluri de solicitare.

Prin reprezentarea grafică a numărului N de cicluri de solicitare și rezistența la oboseală σ_{RN} corespunzătoare, se obține *curba caracteristică de oboseală* sau *curba Wihler*, figura 7.

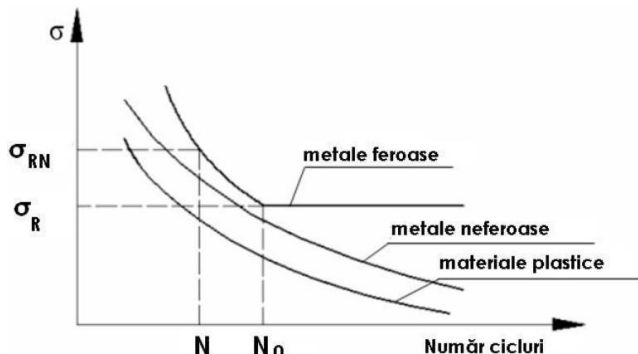


Fig. 7 Curba caracteristică Wihler (de durabilitate la oboseală)

În forma tradițională, tensiunile sunt reprezentate la scară liniară, iar durabilitățile N la scară logaritmică (sistem de coordonate semilogaritmice).

Tensiunea maximă pe care o epruvetă supusă unei solicitări variabile cu caracteristica R în condiții ideale de încercare, o poate suporta fără apariția fenomenului de deteriorare prin oboseală se numește *limită de rezistență la oboseală* (*fatigue limit*, *limite de fatigue*, *Ermüdungsfestigkeit*, *predel ustalosti*) a materialului epruvetei pentru solicitarea în cauză.

Limita de rezistență la oboseală are notația standard σ_R , (T_R și este dependentă de material, tipul solicitării și forma geometrică, valori pentru câteva oțeluri fiind date în tabelul 1, [3].

Tabelul 1 Caracteristici de rezistență la oțeluri.

Marca oțelului	Tratamentul termic	R_m N/mm ²	$R_{p0,2}$ N/mm ²	σ_{-1} N/mm ²
1C35 (OLC 35)	Normalizare	511 - 594	310 - 383	269 - 308
	Îmbunătățire	604 - 882	475 - 772	337 - 431
1C45 (OLC 45)	Normalizare	608 - 680	348 - 409	279 - 343
	Îmbunătățire	672 - 852	441 - 660	350 - 431
1C60 (OLC 60)	Normalizare	687 - 748	360 - 445	308 - 333
	Îmbunătățire	712 - 937	521 - 663	392 - 450

3. Date experimentale

3.1. Masina de încercat la oboseală

Analiza experimentală a influenței solicitărilor variabile asupra rezistenței metalelor se face prin încercări de oboseală realizate în condiții de laborator, folosind epruvete cu forme și dimensiuni normalizate și supuse unor solicitări cunoscute, cu variație continuă.

Mașinile de încercat la oboseală trebuie să realizeze:

- variația solicitării, în timp, între limitele maximă și minimă după unul din tipurile de cicluri descrise anterior;
- modificarea tensiunilor σ_{\min} și σ_{\max} la schimbarea epruvetei;
- eventual, schimbarea coeficientului de asimetrie a ciclului de solicitare (pentru a realiza diferite încercări la oboseală).

În cadrul lucrării experimentale se efectuează pe o mașină pentru încercări de oboseală la încovoiere rotativă, marca MEFETRM (Ungaria).

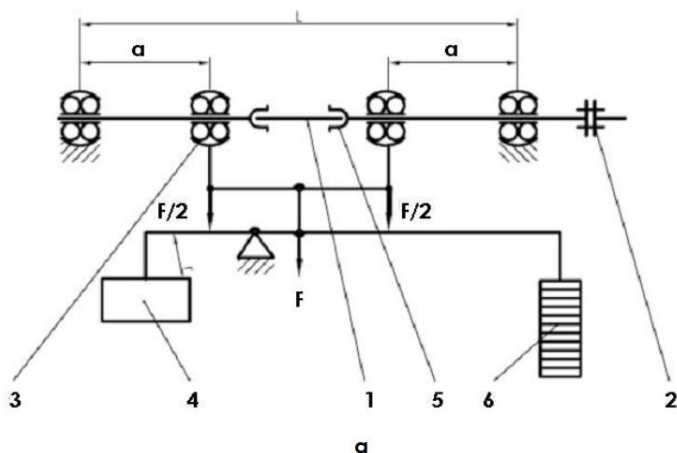


Fig. 8 Mașina pentru încercări de încovoiere rotativă

Schema mașinii [4] este prezentată în figura 8.a cu următoarele elemente constructive: 1 – epruveta, 2 – cuplaj elastic, care face legătura cu motorul electric de acționare, 3 – rulment oscilant de încărcare, 4 – contragreutate, 5 – mandrina pentru prinderea epruvetei, 6 – greutăți de încărcare. Mașina de încercări la oboseală este prevăzută cu un contor de ture care înregistrează numărul de cicluri până la ruperea epruvetei.

Mașina folosește epruvete de secțiune circulară pe două reazeme, în mișcare de rotație cu turație constantă (2890 rot/min).

3.2. Procedura de efectuare a încercărilor

Metoda de determinare a limitei de rezistență la oboseală constă în trasarea, pe bază de date experimentale, a curbei Wihler:

$$\sigma_{RN} = \sigma(N) \quad (13)$$

unde:

- σ_{RN} este tensiunea maximă la care se rupe epruveta,
- N este numărul de cicluri de solicitare corespunzător ruperii.

Pentru încercare (stabilirea comportării materialului la solicitare variabilă) sunt necesare un număr minim de 6 – 8 epruvete, din același material, obținute prin același procedeu tehnologic, cu aceleași dimensiuni. Încercările trebuie efectuate pe aceeași mașină cu păstrarea condițiilor de încercare (sarcină, turație).

Prima treaptă de solicitare se recomandă să fie:

- pentru oțeluri $\sigma_{\max} = 6,0 \cdot R_m$
- pentru aliaje neferoase $\sigma_{\max} = 4,0 \cdot R_m$

în care R_m este rezistența de rupere statică a materialului.

Repartizarea următoarelor trepte de solicitare se face astfel:

- în zona solicitărilor mari: treptele de tensiune să difere cu 30 – 60 MPa;
- în zona limitei de oboseală: treptele de tensiune să fie 10 – 20 MPa.

Se păstrează una sau două epruvete ca rezervă pentru eventualele repetări ale încercărilor care au condus la puncte prea îndepărtate de curba medie.

Se continuă încercările la oboseală până când se ajunge ca cel puțin o epruvetă să nu se rupă. Numărul de cicluri N_0 după care epruvetele nu se mai rup poate avea valori între:

- $2 \cdot 10^6$ – $2 \cdot 10^7$ pentru oțeluri;
- $2 \cdot 10^7$ – $2 \cdot 10^8$ pentru aliaje ușoare.

În funcție de numărul de epruvete disponibile se pot încerca, la fiecare treaptă de tensiune, una sau mai multe epruvete.

3.3. Prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale

Întrucât încercările la oboseală sunt de durată a sute de ore, se vor folosi, pentru prelucrare și interpretare, date experimentale obținute prealabil (ANEXA 2 „Încercări de oboseală – rezultate experimentale”).

Pentru exemplificare s-au considerat epruvetele din 1C45 (OLC 45) normalizat (tabelul 3).

a) Utilizând softul MATLAB, [5],[6] se trasează curba de oboseală în coordonate rectangulare (N , ca în figura 9 și se determină σ_{RN}) limita de rezistență la oboseală.

b) Se trasează curba de oboseală în coordonate dublu logaritmice (\lg ca în figura 10 și se determină exponentul N , $\lg \sigma_{RN}$) m direct din graphic (panta) sau folosind relația (4).

Pe baza graficului obținut (figura 9) se determină limita de rezistență la oboseală a materialului 1C45 normalizat,

$\sigma_{-1} = 320$ MPa.

Tabelul 3 Rezultate experimentale - Lotul1 1C45 (OLC 45) normalizat

σ_{-1N} [MPa]	525	490	455	420	403	386	370	353	336	330	325	320
N [10 ⁶]	0,11	0,21	0,42	0,86	1,24	1,82	2,70	4,09	6,33	7,58	8,69	10,0

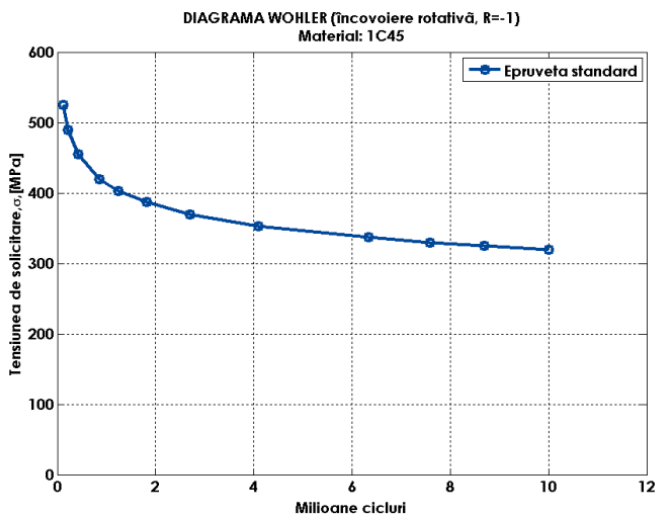


Fig. 9 Trasarea curbei de rezistență la oboseală (Wihler)

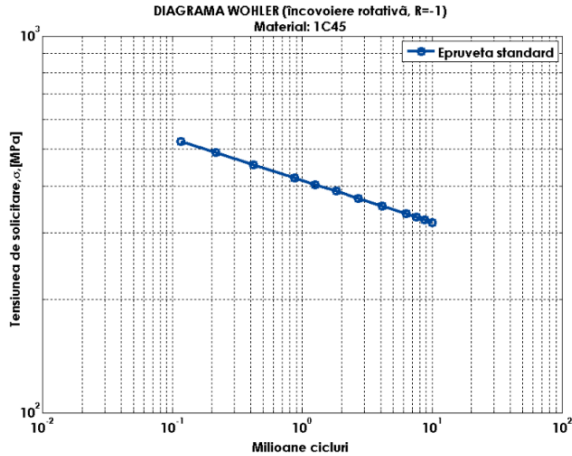


Fig. 10 Curba de rezistență la oboseală în coordonate logaritmice.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Collins, J.A., 2003, Mechanical Design of Machine Elements and Machines. A Failure Prevention Perspective, John Wiley & Sons. Inc., USA.
- [2]. Gafițanu, M., Crețu, S., Pavelescu, D., ș.a., 1981, Organe de mașini, vol. I, Ed. Tehnică, București.
- [3]. Rusu, O., Teodorescu, M., Lașcu-Simion, N., 1992, Oboseala materialelor, I, II, Ed. Tehnică, București.
- [4]. Gafițanu, M., Crețu, S., Bariz, Gh., Olaru, D., Racocea, C., Hațiu, Gh., Oancea, I., Știrbu, C., Ivănică, Grigoraș, Ș., 1985, Organe de mașini. Îndrumar de laborator, Rotaprint, Iași.
- [5]. Crețu, S, Balan M., Benghea M, Tufescu A., Stamate C.2013 Organe de masini, Iasi.
- [6].http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/getstart
Pdf.

Prof.ing.Ion Dantes ZAHARIE Liceul Tehnologic „Alexandru Domșa” Alba Iulia,
e-mail: zahadan@yahoo.com