



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

CONSIDERAȚII PRIVIND CRITERIILE DE EVALUARE A REZISTENȚEI MATERIALELOR LA EROZIUNEA PRIN CAVITAȚIE

Ilare BORDEAȘU, Rodica BĂDĂRĂU, Octavian OANCĂ

CONSIDERATIONS UPON EVALATION CRITERIONS OF MATERIALS RESISTANCE ON CAVITAȚIONAL EROSION

This paper presents the using criterions to estimate the behavior and cavitațional resistance of materials. The materials were testing in laboratory installations. Also are analyses how can it apply and calculate.

Cuvinte cheie: cavitație, rezistență, criteriu, parametru, viteza de eroziune cavitațională

Keywords: cavitations, resistance criteria, parameters, cavitațional erosion rate

1. Introducere

Depistarea unor materiale care să aibă un preț de cost scăzut și rezistență mare la eroziune cavitațională, a dus la realizarea instalațiilor de laborator, ce permit o analiză mai sistematică a comportării materialelor la atacul cavitațional.

Marele dezavantaj al acestor instalații îl constituie durata de atac cavitațional, care trebuie să fie foarte mare pentru materiale cu structuri fine și caracteristici mecanice ridicate, de tipul oțelurilor inoxidabile [2]. Însă, acest dezavantaj este eliminat de către aparatele vibratorii care prezintă dezavantajul creării unui proces cavitațional totalmente diferit de cel real (din mașina industrială).

Aprecierea comportamentului materialelor, respectiv estimarea rezistenței acestora, la eroziune cavitațională se face pe baza curbelor caracteristice sau a valorilor diverșilor parametri.

În lucrare se prezintă criteriile utilizate în aprecierea comportamentului și estimării rezistenței materialelor solicitate la eroziunea cavitațională produsă în instalațiile de laborator. Totodată se face o analiză asupra domeniului lor de aplicabilitate și se arată modul lor de definire și de calcul.

2.Criterii de apreciere a comportării și evaluare a rezistenței materialelor la eroziune cavitațională

Ordonarea și evaluarea rezistenței materialelor la eroziune cavitațională se face după unul din criteriile:

- a. panta curbelor de pierdere masică $m(t)$, volumică $V(t)$ sau gravimetrică din zona de stabilizare, $\text{tg}\alpha$, [1], [4], [2],
- b. valoarea spre care viteza de eroziune cavitațională tinde să se stabilizeze, v_s , [4], [2], [3],
- c. valoarea maximă a vitezei de eroziune la cavitație, v_{\max} [2], [3],
- d. rezistența normalizată la cavitație R_n [2],
- e. viteza adâncimii medii sau maxime de pătrundere a eroziunii, MDPR respectiv MDPR_{\max} , (sau inversul acestora $1/\text{MDPR}$, respectiv $1/\text{MDPR}_{\max}$) [2], [5], [9],
- f. timpul de incubație, t_i , [1], [9],
- g. durata necesară obținerii unei pierderi volumice sau masice date [1], [9],
- h. durata necesară realizării unei anumite adâncimi de pătrundere [1], [8].

În figura 1 se prezintă curbele caracteristice și indicatorii sus menționați, definiți de aceste curbe.

Deoarece rezultatele experimentale sunt influențate de parametri tehnico-funcționali ai stațiunii, permițând un grad de subiectivitate, în stadiul actual nu există o metodă de estimare a rezistenței unanim acceptată de către specialiștii în cavitație [3], [9].

Normele ASTM [9] recomandă parametrii 1, 2, 3 și 4, iar Thiruvengadam [8] recomandă viteza de stabilizare a eroziunii. Pentru viteza maximă de eroziune cavitațională, normele ASTM [9] recomandă acea valoare după care viteza devine descrescătoare. Se face această recomandare, deoarece valorile ridicate, din primele minute ale atacului cavitațional, (obținute cu precădere în aparatele

vibratorii) sunt puternic afectate de praful abraziv și nivelul rugozității din suprafața atacată [2].

2.1 Ordonarea și evaluarea rezistenței materialelor la eroziune cavitațională după panta curbelor de pierdere masică, volumică sau gravimetrică

Curbele de pierdere masică, volumică sau gravimetrică, cumulate, aproximează punctele experimentale, obținute prin măsurători și sunt descrise de ecuații exponențiale. Forma acestor ecuații poate fi:

1. pentru curbele de pierdere masică:

$$m(t) = Ate^{-Bt} \quad (1)$$

$$m(t) = At(1 - e^{-Bt})$$

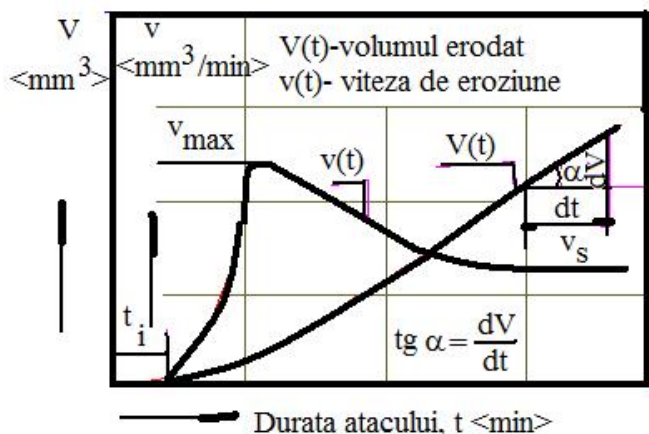


Fig. 1 Curbele și mărimile caracteristice utilizate în estimarea comportamentului și a rezistenței la eroziune cavitațională

- pentru pierderile volumice

$$V(t) = \frac{m(t)}{\rho} \quad (2)$$

- pentru pierderile gravimetrice

$$G(t) = g \cdot m(t) \quad (3)$$

unde: $g = 9,80065 \text{ m/s}^2$ este accelerația gravitațională,
 ρ - reprezintă densitatea materialului.

Se precizează că toate pierderile din relațiile (1), (2) și (3) sunt pierderi cumulate.

Panta necesară aprecierii rezistenței cavitaționale a materialului și comparării sale cu alte materiale se determină grafic sau analitic, pentru ultima porțiune a curbei (zona aproximativ liniară), cu una din relațiile :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dm}{dt} \quad \text{sau} \quad \frac{dV}{dt} \quad \text{sau} \quad \frac{dG}{dt} \quad (4)$$

Pentru același material testat în două stațiuni diferite cu parametri sau principii de funcționare diferite, panta curbilor reliefează diferențele dintre intensitățile de distrugere cavitațională ale celor două stațiuni. Cu cât panta este mai mare cu atât intensitatea de distrugere a aparatului este mai mare.

Pentru materialele testate în aceeași stațiune și în condiții identice de creare ale atacului cavitațional, panta curbilor evidențiază diferențele dintre rezistențele materialelor la eroziune cavitațională. Cu cât panta este mai mică cu atât materialul are o rezistență, la distrugere cavitațională, mai mare.

2.2 Ordonarea și evaluarea rezistenței materialelor la eroziune cavitațională după valoarea vitezei de eroziune a cavitației, v_s sau v_{\max}

Curbele ce exprimă vitezele de eroziune cavitațională prezintă mai multe moduri de variație. În figura 2 se prezintă cele mai frecvente curbe $v(t)$, ce dau variația vitezei de eroziune cu timpul de atac al cavitației. În aceste figuri sunt evidențiate și perioadele de incubație a eroziunii cavitaționale.

Cercetările realizate în Laboratorul de Mașini Hidraulice din Timișoara arată că în aparatele vibratorii perioada de incubație este foarte redusă, încât se poate neglija. Acest fenomen se datorează intensității ridicate de distrugere pe care aceste aparate o au. Astfel, s-a constatat că în primele minute ale atacului cavitațional se elimină praful abraziv și vârfurile microasperităților de pe suprafața atacată. Din această cauză și vitezele de eroziune au, în această perioadă, valori foarte mari.

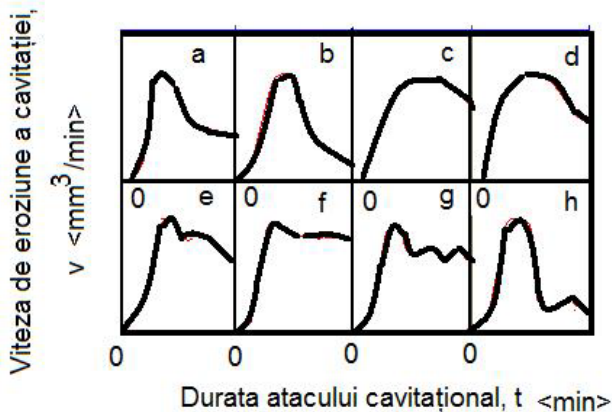


Fig. 2 Tipuri de curbe ale vitezelor de eroziune cavitațională

Curbele din figura 2 caracterizează tendințele de comportament cavitațional pentru următoarele materiale [3]:

1. materiale fragile (fonte) și cu structuri neomogene și grosolane (specifice aliajelor metalice turnate), figurile 2 a, b, g;
2. oțeluri și bronzuri înalt aliate, cu bună și foarte bună rezistență cavitațională, cu structura fină și tenace, cu capacități ridicate la ecruisare, figurile 2 c, d, f;
3. fonte, metale monofazice (fierul, alama) și cu proprietăți mecanice scăzute, figura 2 h,
4. aliaje fier carbon și bronzuri de înaltă rezistență obținute prin turnare, cu foarte bună rezistență cavitațională, figurile 2 f, g;
5. materiale cu comportament cavitațional aleator cu defecte structurale și proprietăți mecanice neomogene în structură, figura 2, e.

Pentru construirea curbelor $v(t)$ este necesar calculul vitezelor de eroziune cavitațională medii, pentru fiecare perioadă de atac, cu una din relațiile:

$$v = \frac{\Delta m}{\Delta t} \text{ sau } \frac{\Delta V}{\Delta t} \text{ sau } \frac{\Delta G}{\Delta t} \quad (5)$$

unde Δm , ΔV , ΔG - reprezintă pierderile masice, volumice sau gravimetrice realizate în perioada Δt de atac cavitațional.

Pierderile masice se determină prin cântărire, iar cele volumice și gravimetrice, în general, se calculează.

Viteza de stabilizare (staționară) a eroziunii v_s este definită de Thiruvengadam [8] ca fiind viteza finală de palier care se atinge, sau spre care se tinde asimptotic, după ce viteza a descrescut de la valoarea ei maximă.

Viteza maximă a eroziunii cavitaționale v_{max} este definită sub următoarele forme: viteza de eroziune instantanee maximă, obținută experimental, după care viteza de eroziune devine descrescătoare, recomandată de normele ASTM [9]. Principalele tendințe ale vitezelor de eroziune, ale materialelor solicitate cavitațional, sunt:

- stabilizarea vitezei de eroziune la valoarea maximă v_{max} ;
- stabilizarea vitezei de eroziune la o valoare v_s mai mică decât valoarea maximă realizată anterior.

Avantajul utilizării vitezei v_s este dat de utilizarea ultimei părți a curbei $v(t)$, când toți factorii ce contribuie la definirea rezistenței la cavitație a materialului (tehnologici, fizici și mecanici) sunt bine evidențiați. Astfel, se pot compara materiale solicitate cavitațional în aparate de același tip și cu parametri funcționali apropiați.

Alegerea uneia din viteze, v_s sau v_{max} , ca parametru de evaluare a rezistenței cavitaționale rămâne la latitudinea specialistului.

2.3 Ordonarea și evaluarea rezistenței materialelor la eroziune cavitațională după rezistența normalizată la cavitație R_n

Rezistența normalizată la cavitație este definită de următoarele rapoarte: $R_{nmax} = v_{max}/v_{maxe}$, respectiv $R_{ns} = v_s/v_{se}$. Mărimile cu indicele "e" se referă la oțelul etalon, considerat cu bună rezistență la cavitație.

Deși este recomandată de normele ASTM [9], utilizarea sa este redusă din cauza inexistenței unui material etalon pentru toate laboratoarele din lume [1], [9]. Pentru LMHT sunt două oțeluri OH12NDL și 40Cr10. Acest parametru, fiind adimensional, poate constitui baza conceperii și realizării unei relații de legătură între caracteristicile cavitaționale și mecanice ale materialelor și parametrii funcționali ai stațiunii utilizate.

2.4 Ordonarea și evaluarea rezistenței materialelor la eroziune cavitațională după adâncimea medie de pătrundere MDP sau vitezele adâncimii medii MDP și maxime $MDPR_{max}$ de pătrundere a eroziunii

Principiile determinării parametrilor MDP și $MDPR_{max}$, precizate în literatura de specialitate sunt foarte diferite și confuze.

Normele americane ASTM [9] definesc parametrul MDP, astfel: "Se determină adâncimea medie de pătrundere MDP prin împărțirea pierderii de masă la densitatea materialului și aria suprafeței erodate cavitațional. MDP se calculează prin împărțirea adâncimii medii de pătrundere, MDP, la durata totală a atacului cavitațional".

Însă, pentru rapiditatea calculului parametrului MDP, pentru materialele testate în aparatele vibratorii, tot normele ASTM recomandă "utilizarea ariei suprafeței frontale a probelor, expusă atacului cavitațional ($\pi d^2/4$; d - diametrul probei)". Această metodă de calcul nu evidențiază foarte bine diferențele dintre materialele cu rezistențe cavitaționale apropiate.

J.Steller [7] și Garcia [3] determină parametrul $MDPR_{max}$ prin împărțirea lui MDP_{max} la durata maximă a atacului cavitațional.

Atât Garcia [3] cât și Hammitt [4, 5] utilizează, la calculul parametrului MDP, aria suprafeței frontale a probei ($\pi d^2/4$; d = 14 mm, $d_{real} = 14,3$ mm).

Prelucrarea rezultatelor experimentale, obținute pe mai multe materiale testate la cavitație în LMHT, a dus la concluzia că pentru calculul parametrilor MDP sau $MDPR_{max}$ trebuie să se utilizeze aria suprafeței erodate cavitațional [1]. Astfel, pentru determinarea vitezei adâncimii medii de pătrundere se propune următoarea relație de calcul:

$$MDPR = \frac{4V\tau}{\pi d_{pata}^2} \frac{60}{\tau} \quad <mm/h > \quad (6)$$

unde: τ - durata totală a atacului cavitațional.

V - volumul total erodat în timpul τ de atac cavitațional.

d_{pata} - diametrul echivalent al suprafeței erodate cavitațional.

Dacă calculul se face pentru fiecare perioadă de atac cavitațional, atunci în relația (6) în locul duratei totale τ se introduce durata perioadei respective.

3. Concluzii

■ Alegerea criteriului care să evidențieze cât mai bine comportamentul și rezistența materialelor la eroziune cavitațională depinde de ce se dorește a se evidenția și de tipul stațiunii de laborator utilizate.

■ Pentru urmărirea comportamentului materialului pe timpul atacului cavitațional se recomandă a se utiliza curbele caracteristice,

care dau variația pierderilor cumulate (masice, volumice sau gravimetrice) sau vitezelor de eroziune cu durata atacului cavitațional.

■ Pentru compararea materialelor, după rezistența la eroziune cavitațională, se recomandă folosirea unuia dintre criteriile $A \div E$.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bordeășu, I., *Distrușeri cavitaționale*, Editura MicroSOFT, Timișoara, 1998.
- [2] Franc, J.P.,ș.a., *La Cavitation, Mecanismes phisiques et aspects industriels*, Press Universitaires de Grenoble, 1995.
- [3] Garcia, R., Hammitt, F.G., Nystrom, R.E., *Corelation of cavitation damagewith other material and fluid properties*, Erosion by Cavitation or Impingement, ASTM, STP 408 Atlantic City, 1960.
- [4] Hammitt, F.G., De M., He, J, Okada, T., Sun, B.H., *Scale effects of cavitation including damage scale effects*, Report No. UMICH, 014456 - 75 - I, Conf. Cavitation, Michigan, 1980, pp.187.
- [5] Hammitt, F.G., *Cavitation and Multiphase Flow Phenomena*, McGraw Hill International Book Company, 1980.
- [6] Popoviciu, M., Bordeășu, I., *A standard material for cavitation erosion tests, Hydraulic Machinery and Hydrodinamics*, Vol II, Timisoara, 1994, pag. 95.
- [7] Steller, K., *Prediction of cavitation damage in hydraulic turbomachinery*, Proc of the seventh Conference on Fluid Machinery, Vol 2, Budapest, 1983.
- [8] Thiruvengadam, A., *Cavitation erosion*, Applaid Mechanic, Vol 24, Nr. 3, 1971.
- [9] * * * Standard method of vibratory cavitation erosion test ASTM, Standard G32- 2010.

Prof.Dr.Ing. Ilare BORDEAȘU
șef Colectiv Mașini Hidraulice
Universitatea „Politehnica” din Timișoara, membru AGIR
e-mail: ilarica59@gmail.com
Asist.Dr.Ing. Rodica BĂDĂRĂU
Universitatea „Politehnica” din Timișoara, membru AGIR
e-mail: badarau_r@yahoo.com
Drd. Ing. Octavian OANCĂ
Universitatea „Politehnica” din Timișoara, membru AGIR
e-mail: octavian.oanca@isim.ro