



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

CONTRIBUȚII ÎN CORELAREA PARAMETRULUI EROZIUNII CAVITAȚIONALE 1/MDPR CU PARAMETRII FUNCȚIONALI AI APARATULUI DE CERCETARE

Ilare BORDEAȘU, Rodica BĂDĂRĂU, Ionel Doru BACIU,
Octavian OANĂ, Constantin BORDEAȘU

CONTRIBUTIONS DANS LA CORRELATION DU PARAMETRE D'EROSION A LA CAVITATION 1/MDPR AVEC LES PARAMETRES FONCTIONNELS D'APPAREIL DE RECHERCHE

Établir des relations pour permettre l'application des résultats des testes d'érosion de la cavitation, d'un appareil a l'autre, représente une continue préoccupation des chercheurs. À cet égard, l'ouvrage offre un model de cet type de relation, mais qui, dans cette phase, permettre la corrélation d'un petit nombre de matériaux, testé en Laboratoire de Machines Hydrauliques de Timisoara, Gdansk et Michigan.

Cuvinte cheie: rezistența la cavitație, parametri aparat vibrator, relații de corelare

Mots-clés: résistance à la cavitation, les paramètres des appareils vibrants, des relations de corrélation

1. Introducere

Distrugerea materialelor prin eroziune cavitațională este un proces complex dependent de natura hidrodinamică a procesului și de factorii ce determină natura materialului. Natura hidrodinamică a procesului depinde de tipul mașinii industriale, respectiv stațiunii de

laborator. Astfel, pentru aparatele vibratorii, cum sunt cele magnetostrictiv T1 și piezoceramic T2, din cadrul Laboratorului de Mașini Hidraulice din Timișoara (LMHT), parametrii care influențează hidrodinamica cavitației sunt: amplitudinea și frecvența vibrațiilor, temperatura și natura lichidului, diametrul probei, puterea acustică [1], [3], [6], [10].

Parametrii caracteristici materialului, cu influență puternică asupra caracterului fizico-mecanic al eroziunii cavitaționale, sunt [1], [3], [8]: limita de curgere $R_{p0,2}$, rezistența mecanică la rupere R_m , modulul de elasticitate longitudinal E , alungirea A_5 , duritatea, energia de rupere KCU, reziliența finală UR ($UR = (R_m) / (2E)$) - mărime nestandardizată, determinată analitic pe baza măsurătorilor experimentale [1], [3]).

Corelarea parametrilor caracteristici hidrodinamicii cavitației cu cei care determină natura materialului poate conduce la o ecuație generală care să modeleze distrugerea cavitațională a materialelor.

Una din direcțiile urmate în rezolvarea efectului de scară, dar nefinalizată, o constituie corelarea parametrului eroziunii cavitaționale 1/MDPR cu parametrii funcționali ai instalației, respectiv ai stațiunii de laborator.

În cadrul lucrării se dezvoltă această problemă pentru rezultatele experimentale obținute prin testele realizate în aparatele T1 și T2, din cadrul LMHT, prin stabilirea unei relații ce permite transpunerea acestor rezultate de la un aparat la altul. Totodată relațiile sunt utilizate pentru transpunerea rezultatelor la aparatul vibrator din Michigan, considerat standard de către normele americane ASTM [12].

2. Relația de corelare

2.a - Forma relației

Steller J.K. [10], [11], analizând rezultatele cavitaționale obținute pe aceleași materiale, testate în diferite laboratoare, a stabilit următoarea relație:

$$MDPR \approx A^\alpha f^\beta d^V \quad \text{cu } \alpha = 1,2 \text{ și } \beta = 0,8 \quad (1)$$

De asemenea, Steller K [9] arată că între rezistențele cavitaționale ale aceluiași material testat în două aparate vibratorii diferite, în condiții identice, exprimate prin 1/MDPR și parametrii funcționali ai aparatelor, există legătura:

$$\frac{\text{MDPR}_1}{\text{MDPR}_2} = \left[\frac{A_1}{A_2} \right]^\alpha \cdot \left[\frac{f_1}{f_2} \right]^\beta \cdot \left[\frac{d_1}{d_2} \right]^\gamma \quad (2)$$

Valorile exponenților α , β și γ depind de tipul materialului sau grupa de materiale, așa cum rezultă din [7]:

- pentru oțel inoxidabil 316 SS: $\alpha = 1,2$; $\beta = 0,58$; $\gamma = - 0,17$
- pentru 270 Ni: $\alpha = 1,55$; $\beta = 0,83$; $\gamma = - 0,53$
- pentru 6061-T651 Al: $\alpha = 1,72$; $\beta = 1,06$; $\gamma = - 0,14$

Aceste valori sunt o expresie a capacității materialului de a absorbi energia dezvoltată, în timpul cavitației, caracterizată de către parametrii A, f și d.

2.b.- Stabilirea exponenților α , β , γ , pentru aparatele din LMHT

Uzând de rezultatele obținute în aparatul vibrator magnetostrictiv cu tub de nichel T1, de Șișak, Kuzman și Potencz și Bordeașu [2], respectiv doar de Bordeașu [2], în aparatul vibrator cu cristale piezoceramice T2, folosind programe adecvate de prelucrare statistică, s-a corelat raportul $(\text{MDPR})_{T2}/(\text{MDPR})_{T1}$ cu raportul $(A^\alpha f^\beta d^\gamma)_{T2}/(A^\alpha f^\beta d^\gamma)_{T1}$, conform relației:

$$\frac{(\text{MDPR})_{T2}}{(\text{MDPR})_{T1}} = \frac{(A^\alpha \cdot f^\beta \cdot d^\gamma)_{T2}}{(A^\alpha \cdot f^\beta \cdot d^\gamma)_{T1}} \quad (3)$$

și s-au obținut următoarele valori:

$$\alpha = 4,45; \quad \beta = 1,01; \quad \gamma = 0,15 \quad (4)$$

- o nouă formă cu coeficientul γ pozitiv

În relația (3) diametrul d este valoarea medie a diametrului urmei circulare erodate cavitațional, măsurat pe două direcții perpendiculare (pentru aparatul vibrator magnetostrictiv T1, $d = 9,8$ mm, iar pentru aparatul vibrator cu cristale piezoceramice T2, $d = 11,5$ mm.

Valorile exponenților sunt o expresie a modului de participare a parametrilor A, f și d la transferul energiei către material în timpul atacului cavitațional. Valorile pozitive arată că acești parametri asigură

creșterea energiei transferate către material, iar valorile negative, din relația lui Steller, arată dispariția acestei energii. Acest aspect constituie motivul pentru care s-a căutat varianta cu toți exponenții pozitivi.

Transpunând rezultatele de la aparatul vibrator T2 la aparatul vibrator T1, tabelul 1, prin relația:

$$\left(\frac{1}{\text{MDPR}}\right)_{T2-T1} = \frac{\left(A^{4,45} \cdot f^{1,01} \cdot d^{0,15}\right)_{T2}}{\left(A^{4,45} \cdot f^{1,01} \cdot d^{0,15}\right)_{T1}} \cdot \left(\frac{1}{\text{MDPR}}\right)_{T2} \quad (5)$$

se constată că erorile (calculate cu relația (6)) se încadrează în banda de precizie, aferentă procesului cavitațional de distrugere [2]. În plus, trebuie avut în vedere că nivelul aparent ridicat al erorii de transpunere este determinat și de faptul că, pentru materialele testate în aparatul T1, valorile parametrului 1/MDPR reprezintă media a cel puțin trei valori (probe), iar în cazul aparatului vibrator T2 acestea sunt date de o singură valoare (din fiecare material testându-se o singură probă [2]).

$$a = \frac{\left(\frac{1}{\text{MDPR}}\right)_{T1} - \left(\frac{1}{\text{MDPR}}\right)_{T2-T1}}{\left(\frac{1}{\text{MDPR}}\right)_{T1}} \cdot 100 \quad \text{< \% >} \quad (6)$$

Tabelul 1

Nr. crt.	Material	$\frac{1}{\text{MDPR}}$ <ore/mm>		$\left(\frac{1}{\text{MDPR}}\right)_{T2-T1}$ <ore/mm>	a <%>
		T1	T2		
1	Inox III-RNR	76	149,55	78	-2,6
2	T07*	83	178,52	93,2	-12,3
3	T09*	79,5	148,77	77,6	2,3
4	20Cr130	39,7	94,89	49,5	-24,6
5	CuNiAl III-RNR	76,3	166,07	86,7	-13,6
6	CuNiAl I-RNR	38,2	53,5	26,9	26,9
7	Alamă navală	16,4	36,66	19,1	-16,5

T07* - oțel inoxidabil T07-CuMoMnNiCr 165-Nb;
T09* - oțel inoxidabil T09-CuMoMnNiCr 185-Ti

2.c Corelarea rezultatelor din diverse laboratoare

Admițând ca aparat vibrator standard pe cel de la Michigan [12], [4] și utilizând rezultatele lui Garcia [4] pentru șase oțeluri, tabelul 2, obținute pe acest aparat (la $f = 20$ kHz, $A = 25,4$ μm , $d = 14,3$ mm), transpunerea rezultatelor obținute în aparatele T1 și T2 pentru 6 oțeluri și a celor obținute de Steller [10] pentru două oțeluri (la $f = 8,1$ kHz, $A = 50$ μm , $d = 12,5$ mm), tabelul 3, la aparatul standard, cu relația (7), arată că rezultatele transpuse sunt în domeniul de variație, tabelul 4.

$$\left(\frac{1}{\text{MDPR}} \right)_{i=M} = \frac{\left(A^{4,45} \cdot f^{1,01} \cdot d^{0,15} \right)_i}{\left(A^{4,45} \cdot f^{1,01} \cdot d^{0,15} \right)_M} \cdot \left(\frac{1}{\text{MDPR}} \right)_i \quad (7)$$

Aici, M - semnifică aparatul vibrator standard din Michigan, $i = T1, T2, G$ - semnifică aparatele vibratoare din LMHT și Gdansk (folosit de Steller [10]).

Relația (7) poate servi, în această formă, la compararea oțelurilor testate în condiții identice, în diferite aparate vibratoare, după rezistența cavitațională.

Tabelul 2

Material	304 SS	316SS	Mo-1/2 Ti	Cb-I Zr	Cb-I Zr(A)
$\frac{1}{\text{MDPR}}$ <ore/mm>	393,7	437,44	237,44	269,54	218,72

Tabelul 3

Material	$\frac{1}{\text{MDPR}}$ <ore/mm>
OLC 45	41,66
Oțel moale	26,3

Tabelul 4

Nr. crt.	Material	$\left(\frac{1}{\text{MDPR}}\right)_{i-M}$ <ore/min> relația (7)	Bibl.
1	Inox III-RNR (T1)	405,8	[2]
2	T07-CuMoMnNiCr 165-Nb (T1)	443,1	[2]
3	T09-CuMoMnNiCr 185-Ti (T1)	424,4	[2]
4	Inox III-RNR (T2)	416,5	[2]
5	T07-CuMoMnNiCr 165-Nb (T2)	497,2	[2]
6	T09-CuMoMnNiCr 185-Ti (T2)	414,5	[2]
7	304 SS	393,7	[4]
8	316SS	437,44	[4]
9	Mo-1/2 Ti	437,44	[4]
10	Cb-I Zr	269,54	[4]
11	Cb-I Zr(A)	218,72	[4]
12	Oțel carbon	171,17	[4]
13	OLC 45	210,7	[10]
14	Oțel moale	333,7	[10]

Din tabelul 4, rezultă, că aceste relații se pretează bine la materiale cu rezistențe superioare la atacurile cavitației.

3. Concluzii

- S-a realizat o analiză mai atentă a parametrilor tehnico-funcționali ai aparatului vibrator - caracteristici procesului hidrodinamic din aparat și parametrul $1/\text{MDPR}$ caracteristic procesului mecanic al eroziunii cavitaționale a materialului.

- S-a studiat mai adânc relația lui Steller $\text{MDPR} = A \cdot f \cdot d$ și s-a aplicat la un număr de 14 materiale, dintre care 7 au fost testate în aparatele T1 și T2, din cadrul LMHT, permițând generalizarea valorilor exponenților α , β , și γ .

- Admițând aparatul vibrator de la Michigan drept aparat standard (etalon), recunoscut de normele ASTM G32, cu relația (7) s-a transpus la acest aparat mărimea $1/\text{MDPR}$, calculată pentru oțelurile testate în aparatele din Gdansk și Timișoara.

■ Relațiile (5) și (7), în această formă, pot servi la compararea oțelurilor testate în condiții identice, în diferite aparate vibratoare, după rezistența cavitațională.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Anton, I., Cavitatea, Vol I, Editura Academiei RSR, Bucuresti, 1984.
- [2] Bordeășu, I., Bordeășu, I., *Eroziunea cavitațională asupra materialelor utilizate în construcția mașinilor hidraulice și elicelor navale. Efecte de scară*, Teză de doctorat, Timișoara, 1997.
- [3] Franc, J.P., e.a., *La Cavitation, Mecanismes phisiques et aspects industriels*, Press Universitaires de Grenoble, 1995.
- [4] Garcia, R., *Comprehensive Cavitation damage Data for Water and Various Liquid Metals Including Correlațion with Material and Fluid Properties*, Technical Raport Nr. 6, The University of Michigan, 1966.
- [5] 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.
- [6] Hammitt, F.G., *Cavitation and Multiphase Flow Phenomena*, McGraw Hill International Book Company, 1980.
- [7] Knapp, R., a.o., *Cavitation*, McGraw-Hill, Book Company, Monographs, 1970.
- [8] Sakai, I., Shima, A., *On a New Representative Equatton for Cavitation Damage Resistance of materials*, Report No. 385, Tokyo, 1987.
- [9] Steller, K., Steller, J., *On prediction of cavitation and ils erozive effects in hydraulic turbomachinery*, Procedings Conference, Turboinstitut, Ljubliana, 1984.
- [10] Steller, J.K., *International cavitation erosion test - test facilities and experimental results*, 2 - emes Journees Cavitation, Paris, March, 1992.
- [11] Steller, J.K., *Dziatalnosc naukowa zakladu dinamiki cieczy*, Institutu Maszyn Przeptywowych Pan W Latach 1970 - 1972, Warszawa - Poznan, 1974.
- [12] * * * *Standard method of vibratory cavitation erosion test ASTM*, Standard G 32 - 85.

Prof.Dr.Ing. Ilare BORDEAȘU
șef Colectiv Mașini Hidraulice
Universitatea „Politehnica” din Timișoara
membru AGIR
e-mail: ilarica59@gmail.com