



A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2017

METODE EXPERIMENTALE PENTRU DETERMINAREA REZISTENȚEI LA EROZIUNE ABRAZIVĂ A MATERIALELOR FOLOSITE ÎN FABRICAȚIA MAȘINILOR HIDRAULICE

Elena Crina CRÎNGAȘU, Carmen Anca SAFTA, Brândușa GHIBAN

EXPERIMENTAL METHODS FOR TESTING OF THE ABRASIVE EROSION RESISTANT MATERIALS USED IN HYDRAULIC MACHINES MANUFACTURING

In the paper are reviewed the known methods applied to test the resistance of a metallic material to abrasive erosion with application to hydraulic machines especially hydraulic pumps. Are mentioned the methods in the conformity with international standards. Article highlights the method which can be used to test and to measure the abrasive resistance of the materials used in the manufacturing of a hydraulic machine.

Keywords: abrasion erosion, test, wear

Cuvinte cheie: eroziune abrazivă, încercare, uzură

1. Introducere

În general, eroziunea abrazivă este un proces de uzare de natură mecanică și se manifestă la impactul unei particule solide dure cu o suprafață solidă, având o duritate mai mică, în prezența sau absența unui mediu fluid (gaz sau lichid). Din punct de vedere tribologic, la mecanismul de eroziune abrazivă a mașinilor hidraulice, cupla de frecare se formează între suprafața solidă a elementelor abrazive, și suprafața solidă a palelor (rotorului, elicei), conductei sau

alte suprafețe care lucrează în mediul fluid cu particule în suspensie, [1, 2].

În cazul mașinilor hidraulice utilizate ca echipamente energetice, respectiv turbine hidraulice, particulele solide din apa turbinată sunt particule de nisip silicos care au o duritate 7 pe scara Mohs. Pentru ca materialele de bază din componența mașinilor hidraulice să reziste la eroziune abrazivă, duritatea lor ar trebui să fie mai mare decât a particulei abrazive, [3].



Fig. 1 Mecanismul eroziunii abrazive. Suprafața a inelului superior al aparatului director al unei turbine hidraulice, [4]

Mecanismul eroziunii abrazive depinde de mărimea particulei abrazive, unghiul de atac α , viteza pe care o are la impact particula abrazivă, V , și nu în ultimul rând natura materialului supus eroziunii abrazive. În figura 1 se prezintă suprafața unui inel de aparat director supusă eroziunii abrazive și câteva mărimi de care depinde mecanismul eroziunii abrazive.

În lucrarea de față sunt prezentate metodele de determinare a rezistenței la eroziune abrazivă a materialelor metalice în general, și a materialelor din care sunt realizate elementele active ale mașinilor hidraulice, respectiv turbine hidraulice, în particular.

2. Metode standardizate de determinare a rezistenței la eroziune abrazivă

Standardul internațional ASTM G195 - *Standard Guide for Conducting Wear Tests Using a Rotary Platform Abraser* reglementează procedura de determinare a materialelor privind uzura, la eroziune abrazivă. Dispozitivul care are ca mod de lucru procedura stabilită prin ASTM G195 este TABER® Rotary Platform Abraser, figura 2. Conform procedurii, materiale abrazive sunt sub formă de roți abrazive, de compoziție diferită, (particule dure și liant) iar mostrele de material supus încercării sunt sub formă de suprafețe pătrate sau rotunde având latura (diametrul) de 100 mm și având o grosime mai mică de 12,5 mm. Mostrele de material se rotesc împreună cu suprafața de prindere și în același timp sunt supuse acțiunii perechii de roți abrazive a căror forță de apăsare poate să fie de 250 g, 500 g și 1000 g.

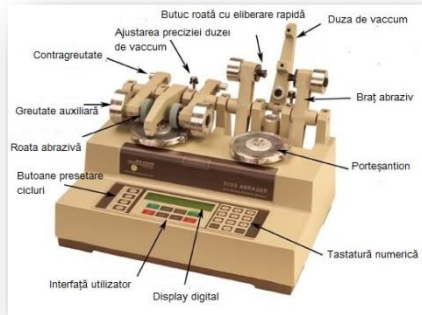


Fig. 2 Platformă abrazivă de tip TABER® Rotary Platform Abraser, <http://www.abrasiontesting.com/abrasion-testing-instruments/taber-rotary-platform-abraser-abrader/> [15]

Pentru a aprecia rezistența la abraziune se calculează raportul dintre masa mostrei după 1000 de cicluri de testare față de masa mostrei înainte de testare și se obține un indice de uzură ("Taber Wear Index") specific fiecărui material în parte. Cu cât indicele de uzură se apropie de 1 cu atât materialul are o rezistență mai mare la eroziune abrazivă, deoarece masa pierdută prin eroziune este mai mică.

Standardul Internațional ASTM C779/C779M-12, *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces*, se referă la încercarea materialelor din beton, material care nu face scopul analizei de față.

Standardul internațional ASTM G65 - *Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus*, se adresează oricărui tip de material a cărui rezistență la abraziune vrem să o determinăm. Pentru această procedură se recomandă schema de principiu din figura 3, în care mișcarea de rotație a unei roți de cauciuc se face în prezența unui nisip uscat aflat în mișcare continuă prin cădere liberă. Materialul abraziv este antrenat pe suprafața mostrei de material aflată în repaus și apăsată pe roata de cauciuc cu o anumită greutate.

La efectuarea testului conform ASTM G65 se recomandă ca durata expunerii mostrei la mișcare cu material abraziv să fie de 40 minute la o viteză de rotație a discului de 200 rot/min și o încărcare normală între $45 \div 200$ N. Materialul abraziv este nisip cu diametre ce variază între $212 \div 300$ μm . Dispozitivul folosit are o rată de abraziune de $300 \div 600$ g/min iar dimensiunile probei sunt de 25 mm \times 75 mm.

Având la bază metodologia de încercare reglementată prin ASTM G65, au fost propuse metode avansate. Astfel, "High Temperature Erosion Test (HT-ET) - 2 body erosion", se adresează încercărilor la eroziune pentru materialele care lucrează la temperaturi

ridicate. Dispozitivul folosit are în construcția sa un accelerator centrifugal cu 4 canale în care pot fi expuse simultan mai mult de 20 de probe de material în aceleași condiții de lucru, figura 4. Viteza de eroziune se determină ca raport între volumul de material pierdut al probelor țintă și masa particulelor abrazive ce lovesc probele (mm^3/kg). Fiecare test de uzură se repetă de trei ori în condiții de dimensiuni ale particulelor abrazive de $0,1 \div 0,3 \text{ mm}$. Unghiurile de impact sunt de 30° și 90° și temperaturile de $300, 500$ și $650 \text{ }^\circ\text{C}$.

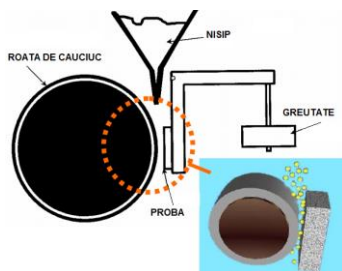


Fig. 3 Schema de principiu pentru dispozitivul de încercare conform ASTM G65, [5]

O altă variantă a acestui procedeu de testare este HI-CIAT, "High Temperature Continuous Impact Abrasion Test-3 body impact abrasion" dezvoltat de AC²T (Austrian Excellence Center for Tribology), [5].

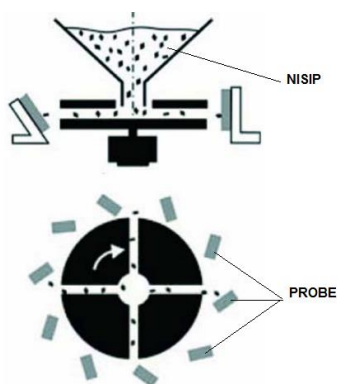


Fig.4 Dispozitiv utilizat în încercarea rezistenței la eroziune a materialelor la temperaturi ridicate, [5]

Dispozitivul de determinarea comportării materialelor la impact abraziv continuu are o carcasă exterioră mobilă și în interior un rotor având o viteză de rotație de 650 rot/min . Se asigură o viteză de impact de 10 m/s cu un timp de expunere a probelor de 20 min .

Din prezentarea metodelor standardizate se observă că pentru determinarea rezistenței la eroziune abrazivă a unui material este necesară asigurarea unei interacțiuni între materialul abraziv și materialul de încercat pentru o perioadă de timp bine determinată și în condiții cinematice, dinamice și de ambient (de exemplu temperatură). Perioada de timp trebuie menținută aceeași indiferent de natura materialului probei. Probele se cântăresc înainte și după încercare, sau periodic în timpul încercării. Masa de material pierdută în timpul încercării este un indicator privind viteza procesului de degradare a materialului respectiv.

3. Determinarea rezistenței la eroziune abrazivă prin metode nestandardizate cu aplicație la mașini hidraulice

Studiul experimental al mecanismului de degradare prin eroziune abrazivă a suprafețelor pieselor active din componența turbinelor hidraulice este util nu atât pentru găsirea unor materiale cu o rezistență bună (atât la eroziunea cavitațională, cât și la eroziunea abrazivă), cât și pentru a îmbunătății soluțiile de proiectare pentru reducerea costurilor în exploatare. De aceea, în cercetarea documentară privind fenomenul de eroziune abrazivă la mașini hidraulice, Padhy și Saini [6] prezintă și cercetările experimentale pentru modelarea fenomenului de eroziune abrazivă și de încercare a diferitelor materiale specifice construcției turbinelor hidraulice. Instalațiile de încercare sunt realizate astfel încât pot reproduce curgerea în turbina hidraulică având în vedere indicațiile standardului de proiectare IEC 62364 [7].

În figura 5 se prezintă standul propus de Thapa și Brekke [8] cu ajutorul căruia se modelează curgerea abrazivă cu jet similară curgerii injector-cupă rotor Pelton. Au fost folosite particule de nisip cu dimensiuni între 0,174÷0,256 mm iar experimentările au arătat cum sunt dispuse pe probele de material suprafețele vulnerabile la eroziune abrazivă. Probele de material aveau diferite geometrii asemănătoare cupelor de turbină Pelton.

Cercetări experimentale privind mecanismul fenomenului de eroziune abrazivă la turbine hidraulice au fost realizate și in situ, pentru a obține un model experimental pentru turbina Francis [9] sau turbina Pelton [10].

Amarendra [11] a pus în evidență agresivitatea fenomenului de uzură atunci când cauzele sunt asociate fenomenelor de eroziune abrazivă și cavitație.

Pentru experimentări a fost folosit un recipient în care se află un amestec de apă cu particule abrazive.

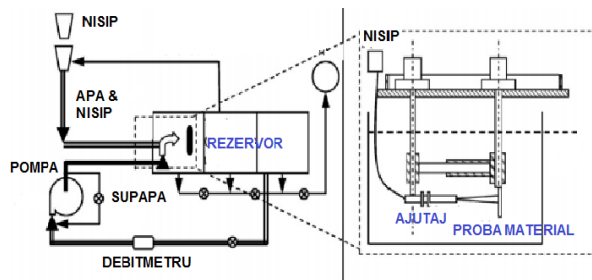


Fig. 5 Schema standului încercări abraziune model injector-cupă Pelton, [7]

În centrul recipientului este un dispozitiv rotund

tip sandviș, format din două plăci circulare între care se află probele de material și elementele geometrice de inducere a fenomenului de cavitație.

Dispozitivul tip sandviș este fixat de axul unui arbore ale căruia viteze de rotație sunt de 500, 900, și 1400 rot/min. Între fundul recipientului, pereții laterali și dispozitivul sandviș distanțele sunt de 32 mm. Pentru diminuarea efectului forței centrifuge și menținerea particulelor de nisip în suspensie sunt folosite 4 șicane montate echidistant pe pereții interiori ai recipientului. Încercările se fac în condiții obișnuite de temperatură (20 °C), cu o viteză liniară de 3,66 m/s timp de 20 de ore. La fiecare 5 ore se măsoară pierderea de masă a probelor. Mărimea particulelor este de $0,210 \pm 0,354$ mm iar concentrația de nisip în apă este de 10 %, [11].

După cum se observă chiar și atunci când determinarea rezistenței la eroziune abrazivă a unui material se face în contextul unei aplicații tehnice (turbina hidraulică, cazul de față) principul de lucru rămâne cel specificat în ASTM G 65.

Plecând de la experimentele lui Harvey [12], care a modelat procesul de eroziune abrazivă-coroziune folosind un recipient cu apă și particule solide abrazive în suspensie, Rajahram [13] a adaptat dispozitivul și la investigații electrochimice prin montarea unei perechi de electrozi. Dispozitivul este format dintr-un recipient închis etanș cu rol de bazin amestec apă și particule solide. În bazin se imersează un cilindru rotitor pe pereții căruia se montează probele de material metalic. Menținerea în suspensie a particulelor solide se face cu ajutorul unor șicane montate pe pereții interiori ai recipientului în care se desfășoară procesul de eroziune-coroziune. Pentru procesul de eroziune abrazivă s-a observat că degradarea materialului depinde de creșterea vitezei particulei solide.

Experimentele din cadrul Laboratorului de Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului (din cadrul Departamentului de Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului a Facultății de Energetică a UPB, www.energ.ro), elaborate la nivelul anilor '80 de Prof. Dr. Ing. Gh. Băran [14] au folosit o instalație cu disc rotitor, cu ax orizontal având probele amplasate la periferia discului rotitor.

Mișcarea de rotație a discului se face într-o carcasă închisă, în prezența apei cu particule abrazive în concentrație de $7 \div 8$ % și dimensiuni ale particulelor de 0,200 mm.

Încercările s-au făcut pe materialele prezentate în figura 6. Se observă că odată cu creșterea vitezei periferice crește și cantitatea de masă erodată.

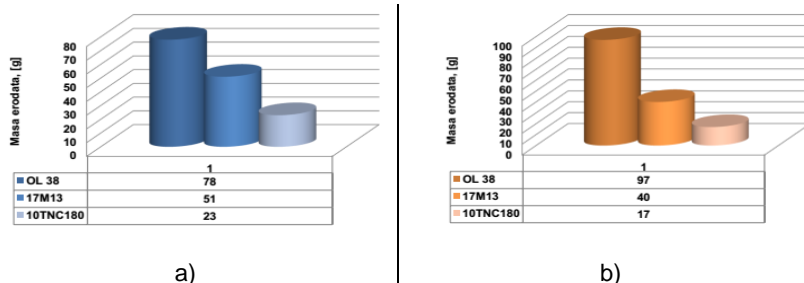


Fig. 6 Masa pierdută prin eroziune abrazivă pentru diferite materiale în diferite condiții de lucru: a) viteză periferică 14,5 m/s și timp de eroziune 12 ore; b) viteză periferică 29 m/s și timp de eroziune diferit (pentru OL 38, 7 ore; 17M13, 5 ore; 10TNC180, 4 ore)

4. Concluzii

- Determinarea rezistenței la eroziune abrazivă a materialelor metalice se fac cu nisip uscat, potrivit ASTM G65 și ASTM G195. Pentru aplicațiile specifice domeniului hidroenergetic, respectiv turbine hidraulice, au fost dezvoltate instalații care răspund condițiilor de funcționare specifice turbinei hidraulice.

- De asemeni, pentru punerea în evidență a sinergiei eroziune abrazivă și eroziune cavitațională sau coroziune, au fost dezvoltate instalații în care încercările se fac în prezența unei soluții de apă cu particule solide. Principiul care stă la baza oricărei instalații este de a folosi fie un disc rotitor, fie un jet de apă cu particule abrazive. Pentru încercări este utilă monitorizarea debitului de apă, debitul de nisip, viteza periferică a discului rotitor, unghiul sub care particulele abrazive lovesc probele de material.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Karelin, V., Ya., Denisov, A.I., Wu, Y.L., *Fundamentals of Hydroabrasive Erosion Theory*. Book series on Hydraulic machinery, Vol. 2, edited by Duan C. G. and Karelin V. Y., 2002.
- [2] Vlase, M., Savaniu, M., *Câteva aspecte privind abraziunea ce apare în procesul de pompare și transport a pastelor și suspensiilor abrazive*, <http://www.sinuc.utilajutcb.ro/SINUC-2014/SECTIA-I/Sl.12.pdf>
- [3] Ghiban, B., Safta, C-A., Crîngașu, C-E., Specific Materials Used In Manufacturing Hydraulic Turbines And Their Behavior To Erosion, A XVI- a Conferință internațională multidisciplinară „Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești” – Sebeș, (10-11) iunie 2016, publicat în "Știință și Inginerie", 2016, vol. 29, pag 335-344, ISSN 2067-7138.

- [4] Thapa, B., Chaudhary, P., Dahlhaug, G.O., Upadhyay, P., *Study of combined effect of sand erosion and cavitation in hydraulic turbines*, Int. Conference on Small Hydropower - Hydro Sri Lanka, 22-24 October 2007.
- [5] Franek, F., Badisch, E., Kirchgäßner, M., *Advanced Methods for Characterisation of Abrasion/Erosion Resistance of Wear Protection Materials*, FME Transactions (2009) 37, 61-70, http://www.mas.bg.ac.rs/_media/istrazivanje/fme/vol37/2/02_ffranek.pdf
- [6] Padhy, M.K., Saini, R.P., *A review on silt erosion in hydro turbines*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2008;12:1974-87.
- [7] * * * IEC 62364-2009, *Hydraulic machines e guide for dealing with abrasive erosion in water*. Ed. 1.0.
- [8] Thapa, B., Brekke, H., Effect of sand particle size and surface curvature on erosion of hydraulic turbine, 22nd IAHR Symposium on hydraulic machinery and systems 2004, Stockholm.
- [9] Thapa, B.S., Dahlhaug, G.O., Bhola, Thapa, B., *Sediment erosion in hydro turbines and its effect on the flow around guide vanes of Francis turbine*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 49 (2015) 1100–1113.
- [10] Padhy, M.K., R.P. Saini, *Effect of size and concentration of silt particles on erosion of Pelton turbine buckets*, Energy 34 (2009) 1477–1483.
- [11] Amarendra, H.J., Chaudhari, G.P., Nath, S.K., *Synergy of cavitation and slurry erosion in the slurry pot tester*, Wear 290–291 (2012) 25–31.
- [12] Harvey, T.J., Wharton, J.A., K. Wood, R.J., *Development of synergy model for erosion–corrosion of carbon steel in a slurry pot*, Tribology - Materials Surfaces & Interfaces, March 2007, DOI: 10.1179/175158407X181471.
- [13] Rajahram, S.S., Harvey, T.J., Wood, R.J.K., *Electrochemical investigation of erosion–corrosion using a slurry pot erosion tester*, Tribology International 44 (2011) 232–240.
- [14] Băran, Gh., Ciocânea, A., *Curgeri cavitaționale și abrazive*, Ed. Printech, 2005.
- [15] * * * ASTM G195 - *Standard Guide for Conducting Wear Tests Using a Rotary Platform Abraser* <https://www.astm.org/Standards/G195.htm>
- [16] * * * ASTM C779/C779M-12 *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces* <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C779C779M-12>
- [17] * * * ASTM G65 - *Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus* <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?G65>

Drd. Ing. Elena Crina CRÎNGAȘU
 Facultatea de Energetică, Școala Doctorală,
 e-mail: crIngasuelenacrina@gmail.com
 Prof.Habil.Dr.Ing. Carmen Anca SAFTA
 Departamentul de Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului,
 e-mail: safta.carmenanca@gmail.com
 Prof. Habil.Dr. Ing. Brânsușa Ghiban
 Departamentul Știința Materialelor și Metalurgie Fizică,
 e-mail: ghibanbrandusa@yahoo.com, brandusa.ghibana@upb.ro
 Universitatea Politehnica București