



A XVI-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”  
SEBEȘ, 2016

## **CERCETĂRI EXPERIMENTALE DE EROZIUNE CAVITAȚIONALĂ PE UN OȚEL ALIAT DE ÎMBUNĂTĂȚIRE CU UN CONȚINUT DE 97,2 % FIER**

Lidia NEDELONI, Luminița HAȚIEGAN, Adrian PELLAC,  
Diana MICLIUC, Sorin-Laurențiu BOGDAN, Ionela PELEA

### **CAVITATION EROSION EXPERIMENTAL RESEARCH ON AN IMPROVEMENT ALLOY STEEL WITH 97.2% IRON CONTENT**

This paper presents the cavitation erosion experimental research on an improvement alloy steel. The chemical compositions, also the name of this steel, were identified using a spectrometer. After this analysis, iron content was 97.2 % and the name of this steel has been identified as 41Cr4. The results are in tabular, by graphic, as well as images and macrostructures presented and compared.

Keywords: cavitation erosion, 97,2 % Fe, macrostructure

Cuvinte cheie: eroziune cavitațională, 97,2 % Fe, macrostructură

#### **1. Introducere**

În mediile unde există lichide în mișcare, cum ar fi spre exemplu la rotoarele turbinelor hidraulice ș.a., se produce fenomenul de cavitație [19].

Pentru a face față acestui fenomen, care în timp, distruge materialele prin eroziune cavitațională, în institutele și laboratoarele de cercetare științifică, se testează materiale metalice în general, privind rezistența acestora la eroziune cavitațională [11, 13 și 21].

Testele respectiv cercetările experimentale, sunt întocmite pe standuri experimentale, cum ar fi și aparatele vibratorii, care simulează fenomenul de cavitație [17, 20 și 22].

Prin intermediul aparatelor vibratorii, materialele metalice din componența mașinilor hidraulice [1, 2, 6, 8, 9 și 10], sunt testate într-un timp scurt și sunt obținute rezultate bune privind în special masa erodată funcție de timp.

Standul de cavitație utilizat pentru cercetările propriu-zise, se compune dintr-un generatorul de ultrasunete DG-2000, un traductor piezoelectric-acustic, transformator mecanic, sonotroda și proba de lucru.

Pe acest stand, s-au făcut în timp, diverse cercetări experimentale și s-au obținut rezultate privind: funcționarea sonotrodelor la frecvența proprie de  $20 \pm 0,5$  kHz [3] și [16] respectiv s-au testat mai materiale, unde s-au obținut rezultate semnificative [4, 5, 7, 12, 14, 15 și 18].

## 2. Procedura de experimentare. Descrierea oțelului analizat

În lucrarea de față, cu ajutorul unui stand experimental, prin metoda indirectă de cavitație, s-a dorit testarea unui oțel aliat de îmbunătățire cu 97,2 % Fe. Pentru funcționarea acestui stand este nevoie ca frecvența proprie a acestuia, să fie în limitele  $20 \pm 0,5$  kHz, iar condițiile de lucru să fie următoarele: amplitudinea 50  $\mu$ m, temperatura lichidului  $25 \pm 2$  °C, iar distanța dintre sonotrodă și probă 0,6 mm.

Pentru materialul din care s-au făcut aceste probe, denumirea cât și compoziția chimică a acestuia, au fost identificate cu ajutorul unui spectrometru. Aceste detalii se prezintă în figurile 1 și 2, dar și în tabelul 1.



Fig. 1 Oțelul analizat cu ajutorul spectrometrului

Grade-ID	Description	Dev.
1.7035	41 Cr 4	

Fig. 2 Imagine soft spectrometru privind denumirea și compoziția chimică a oțelului marca 41Cr4

Tabelul 1

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
0,394	0,202	0,59	0,0054	0,016	0,95	0,272	0,031	0,0071
Cu	Co	Ti	Nb	V	W	Pb	Mg	B
0,230	0,019	<0,001	<0,004	0,011	<0,010	<0,003	0,0019	0,0012
Sn	Zn	As	Bi	Ca	Ce	Zr	La	<b>Fe</b>
0,017	<0,002	0,016	0,012	0,0017	0,0059	0,0028	<0,001	<b>97,2</b>

Probele de lucru au fost realizate sub formă de cilindru  $\Phi 16 \times 10$  mm. Pentru cercetările experimentale de eroziune cavitațională, a celor 2 probe de lucru (epruvete), cele 4 suprafețe ale acestora au fost supuse unui atac cavitațional a câte 180 minute fiecare (720 minute în total).

### 3. Rezultatele obținute în urma cercetărilor experimentale de eroziune cavitațională

Rezultatele experimentale obținute pe oțelul aliat de îmbunătățire 41Cr4 (Proba 1) se prezintă în tabelele 2 și 3.

Tabelul 2

Timp cumulat	Perioadă	Masă epruvetă	Masă erodată		Viteza de eroziune cavitațională
			per perioadă	cumulat	
t	$\Delta t$	m	$\Delta m$	$m_c$	$v_{ec}$
min	min	mg	mg	mg	mg/min
0	0	15165.97	0	0	0.0000
5	5	15165.81	0.16	0.16	0.0237
15	10	15165.74	0.07	0.23	0.0061
30	15	15165.67	0.07	0.3	0.0037
45	15	15165.63	0.04	0.34	0.0047
60	15	15165.53	0.1	0.44	0.0073
75	15	15165.41	0.12	0.56	0.0067
90	15	15165.33	0.08	0.64	0.0073
105	15	15165.19	0.14	0.78	0.0080
120	15	15165.09	0.1	0.88	0.0117
135	15	15164.84	0.25	1.13	0.0117
150	15	15164.74	0.1	1.23	0.0140
165	15	15164.42	0.32	1.55	0.0200
180	15	15164.14	0.28	1.83	0.0173

Tabelul 3

Timp cumulat	Perioadă	Masă epruvetă	Masă erodată		Viteza de eroziune cavitațională
			per perioadă	cumulat	
t	$\Delta t$	m	$\Delta m$	$m_c$	$v_{ec}$
min	min	mg	mg	mg	mg/min
0	0	15164.32	0	0	0.0000

5	5	15164.12	0.2	0.2	0.0310
15	10	15163.99	0.13	0.33	0.0094
30	15	15163.93	0.06	0.39	0.0097
45	15	15163.7	0.23	0.62	0.0103
60	15	15163.62	0.08	0.7	0.0077
75	15	15163.47	0.15	0.85	0.0113
90	15	15163.28	0.19	1.04	0.0137
105	15	15163.06	0.22	1.26	0.0153
120	15	15162.82	0.24	1.5	0.0183
135	15	15162.51	0.31	1.81	0.0233
150	15	15162.12	0.39	2.2	0.0237
165	15	15161.8	0.32	2.52	0.0273
180	15	15161.3	0.5	3.02	0.0393

Rezultatele experimentale obținute pentru proba 2 a aceluiași oțel 41Cr4 sunt prezentate în continuare în tabelele 4 și 5.

Tabelul 4

Timp cumulat	Perioadă	Masă epruvetă	Masă erodată		Viteza de eroziune cavitațională
			per perioadă	cumulat	
t	$\Delta t$	m	$\Delta m$	$m_c$	$V_{ec}$
min	min	mg	mg	mg	mg/min
0	0	15018.52	0	0	0.0000
5	5	15018.27	0.25	0.25	0.0363
15	10	15018.18	0.09	0.34	0.0067
30	15	15018.13	0.05	0.39	0.0030
45	15	15018.09	0.04	0.43	0.0053
60	15	15017.97	0.12	0.55	0.0057
75	15	15017.92	0.05	0.6	0.0067
90	15	15017.77	0.15	0.75	0.0080
105	15	15017.68	0.09	0.84	0.0107
120	15	15017.45	0.23	1.07	0.0197
135	15	15017.09	0.36	1.43	0.0150
150	15	15017	0.09	1.52	0.0163
165	15	15016.6	0.4	1.92	0.0210
180	15	15016.37	0.23	2.15	0.0097

Tabelul 5

Timp cumulat	Perioadă	Masă epruvetă	Masă erodată		Viteza de eroziune cavitațională
			per perioadă	cumulat	
t	$\Delta t$	m	$\Delta m$	$m_c$	$V_{ec}$
min	min	mg	mg	mg	mg/min
0	0	15016.62	0	0	0.0000
5	5	15016.03	0.59	0.59	0.0793
15	10	15016.01	0.02	0.61	0.0025
30	15	15015.96	0.05	0.66	0.0050
45	15	15015.86	0.1	0.76	0.0093
60	15	15015.68	0.18	0.94	0.0077
75	15	15015.63	0.05	0.99	0.0103
90	15	15015.37	0.26	1.25	0.0110
105	15	15015.3	0.07	1.32	0.0120
120	15	15015.01	0.29	1.61	0.0127
135	15	15014.92	0.09	1.7	0.0150
150	15	15014.56	0.36	2.06	0.0197
165	15	15014.33	0.23	2.29	0.0200
180	15	15013.96	0.37	2.66	0.0293

În tabelele 2 ÷ 5, sunt evidențiate perioadele etalon de câte 5 minute (1x), de câte 10 minute (1x) și de câte 15 minute (11x).

Graficele care se obțin din tabelele realizate în urma centralizării rezultatelor obținute sunt prezentate în figurile 3 și 4, iar media valorilor celor 4 încercări se prezintă în tabelul 6 respectiv figurile 5 și 6.

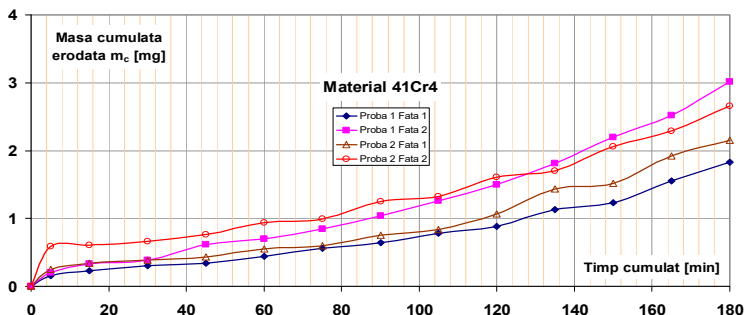


Fig. 3 Curbele pierderii de material funcție de timp

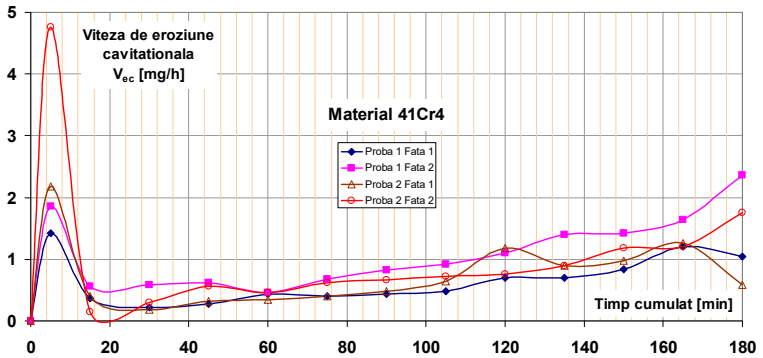


Fig. 4 Curbele vitezei de eroziune cavitațională funcție de timp

**Tabelul 6**

Timp cumulat	Masă erodată cumulată	Viteza de eroziune cavitațională
t	m <sub>c</sub>	V <sub>ec</sub>
min	mg	mg/h
0	0	0.0000
5	0.3	0.0426
15	0.4	0.0062
30	0.4	0.0054
45	0.5	0.0074
60	0.7	0.0071
75	0.8	0.0088
90	0.9	0.0100
105	1.1	0.0115
120	1.3	0.0156
135	1.5	0.0163
150	1.8	0.0184
165	2.1	0.0221
180	2.4	0.0239

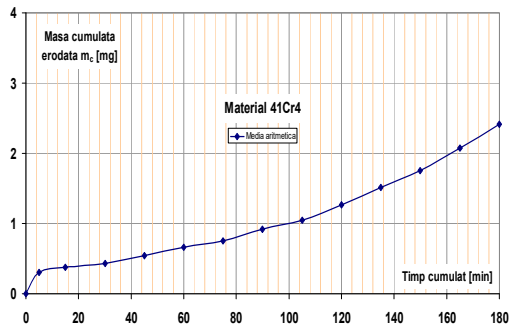


Fig. 5 Curba pierderii de material funcție de timp pentru oțelul 41Cr4 (media valorilor)

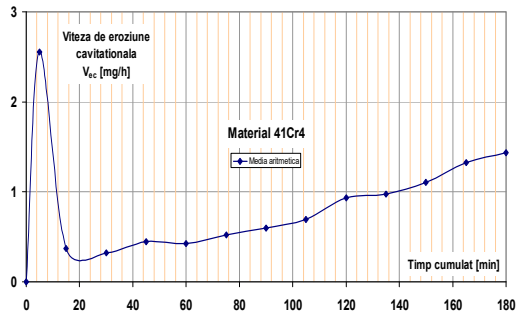
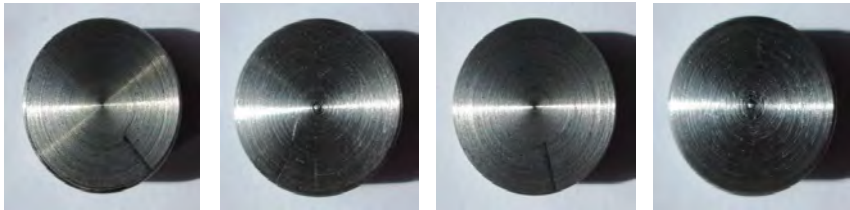


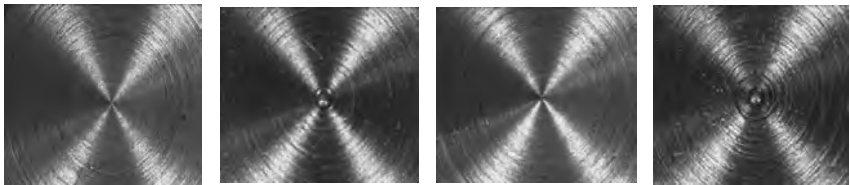
Fig. 6 Curba pierderii de material funcție de timp pentru oțelul 41Cr4 (media valorilor)

În figura 7 se prezintă și macrofotografiile pentru probele din acest material înainte și după cavitație, fotografiile realizate cu un aparat de fotografiat respectiv cu un stereomicroscop la o mărime mai mare.



Proba 1 Fața 1      Proba 1 Fața 2      Proba 2 Fața 1      Proba 2 Fața 2

*a) Imagini ale suprafețelor celor 2 probe înainte de cavitație*



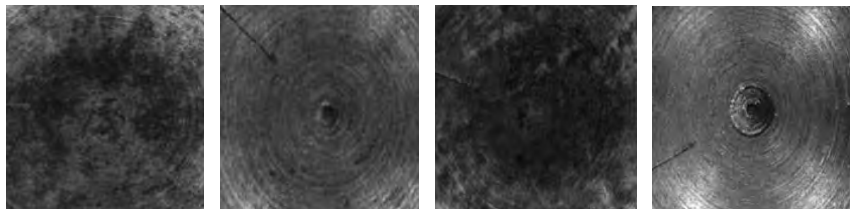
Proba 1 Fața 1      Proba 1 Fața 2      Proba 2 Fața 1      Proba 2 Fața 2

*b) Macrostructuri ale suprafețelor celor 2 probe înainte de cavitație*



Proba 1 Fața 1      Proba 1 Fața 2      Proba 2 Fața 1      Proba 2 Fața 2

*c) Imagini ale suprafețelor celor 2 probe după cavitație*



Proba 1 Fața 1      Proba 1 Fața 2      Proba 2 Fața 1      Proba 2 Fața 2

*d) Macrostructuri ale suprafețelor celor 2 probe după cavitație*

Fig. 7 Imagini și macrostructuri ale celor 2 probe din oțelul 41Cr4 înainte și după cavitație

#### 4. Concluzii

- Din analiza realizată cu ajutorul spectrometrului, au fost identificate 27 de elemente chimice ale materialului 41Cr4, dintre care, cele cu conținut mai mare sunt următoarele: Fe 97,2 %, Cr 0,95 %, Mn 0,59 %, C 0,394 %, Ni 0,272 %, Cu 0,230 %, Si 0,202 % și Mo 0,031 %;
- Suprafețele 1, 2, 3, 4 aparținând probelor 1 respectiv 2, au pierdut fiecare câte 1,83 mg (P1-S1), 3,02 mg (P1-S2), 2,15 mg (P2-S1) și 2,66 mg (P2-S2). Dintre aceste suprafețe a celor două probe a aceluiași material 41Cr4, cea mai rezistentă împotriva eroziunii cavitaționale a fost suprafața 1 a probei 1, iar cea mai slabă împotriva eroziunii cavitaționale a fost suprafața 2 a probei 1;
- De asemenea, dintre cele 4 suprafețe, în ce privește masă pierdută în cea mai mare cantitate pentru o perioadă etalon, aceasta a fost după cum urmează: 0,32 mg (P1-S1), 0,39 mg (P1-S2), 0,36 mg (P2-S1) și 0,59 mg (P2-S2);
- Potrivit cu alte rezultate experimentale din anumite referințe bibliografice ale acestei lucrări, materialul 41Cr4 din categoria oțelurilor aliate de îmbunătățire, presupune o rezistență bună împotriva eroziunii cavitaționale;
- În cele din urmă, se poate concluzia că un conținut mai mare de Cr și Ni respectiv unul mai mic de Fe, ar putea duce la o mai bună rezistență la eroziunea cavitațională a acestei mărci de oțel.

#### BIBLIOGRAFIE

[1] Amariei, D., Potoceanu, N., Fănică, C., *Metodă de îmbunătățire a durității suprafețelor prin tratamente termice aplicate cu laser oțelurilor inox*, Știință și Inginerie, Vol. 16, 2009, pag. 535-542.

[2] Amza, G., Apostolescu, Z., Ene, T., *Contributions for Setting the Technological Parameters in Ultrasonic Welding Process of Intelligent Composites with Polymeric Matrix*, Analele Universității Eftimie Murgu Reșița, Vol. 13, Nr. 1, 2006, pag. 33-44.

[3] Amza, G., Constantin, R., Ene, T., Amza, C.G., *Theoretical Research Regarding the Modeling of the Ultrasonic Piezoceramic Assembly*, Analele Universității Eftimie Murgu Reșița, Vol. 13, Nr. 1, 2006, pag. 45-56.

[4] Chirus, D., Nedeloni, M.D., *Cavitation Erosion Research for AISi12 Alloy Tested at Different Time Periods*, Analele Universității Eftimie Murgu Reșița, Vol. 20, Nr. 1, 2013, pag. 55-64.



- [5] Chirus, D., Nedeloni, M.D., *Testarea comportamentului la eroziune cavitațională a unui aliaj neferos cu 88 % aluminiu*, ȘTIINȚĂ ȘI INGINERIE, Vol. 24, 2013, pag. 83-90.
- [6] Cîndea, L., Anghel-Drugărin, C.V., Hațiegan, C., *Studiu privind reparația prin sudare a componentelor din oțel martensitic ale turbinelor hidraulice*, ȘTIINȚĂ ȘI INGINERIE, Vol. 25, 2014, pag. 391-398.
- [7] Cîndea, L., Nedeloni, M.D., Lupinca, C.I., Fănică, C., Jurcu, M., Stan, M.V., *Cavitation erosion research on C45 carbon steel. Part II: Extended duration for 900 minutes*, Annals of „Constantin Brâncuși” University of Târgu Jiu, Nr. 3, 2015, pag. 133-136.
- [8] Ene, T., Ene, C.M., Dumitriu, S.D., *Study Regarding the Behavior of 12Cr 130 (W 4006) Steel for Hydro-Energetic Applications During Welding*, Analele Universității Eftimie Murgu Reșița, Vol. 13, Nr. 1, 2006, pag. 155-166.
- [9] Ene, T., Frunzăverde, D., *Cercetări privind depunerea straturilor CERMET prin metalizare-difuzie cu flacăra de gaze pentru refacerea formei geometrice a pieselor de tip arbore uzate în exploatare*, SUDURA, 2000.
- [10] Fănică, C., Ilca, I., *Influența structurii asupra calității și rezistenței la oboseală a arborilor cotiți în exploatare*, ȘTIINȚĂ ȘI INGINERIE, Vol. 26, 2014, pag. 443-452.
- [11] Hamat, C.O., Nedeloni, M.D., Hațiegan, C., Ciubotariu, R.C., Pădureanu, I., *Cavitation erosion research on C45 carbon steel. Part I: Multiple tests of 180 minutes*, Annals of „Constantin Brâncuși” University of Târgu Jiu, Nr. 3, 2015, pag. 127-132.
- [12] Lupinca C.I., Nedeloni, M.D., *Comparative study regarding the cavitation erosion behavior of Cu and Al alloys*, International Journal of Latest Research in Science and Technology, Vol. 3, Nr. 2, 2014, pag. 95-99.
- [13] Lupinca C.I., Nedeloni, M.D., Nedelcu, D., *Gray Cast Iron Behavior in Cavitation Erosion*, Materials Science Forum, Vol. 782, 2014, pag. 269-274.
- [14] Lupinca C.I., Nedeloni, M.D., *The Study of Bronze Behaviour During Cavitation Erosion*, INDIAN JOURNAL OF APPLIED RESEARCH, Vol. 4, Nr. 5, 2014, pag. 596-600.
- [15] Nedelcu, D., Nedeloni, M.D., Lupinca C.I., *Cavitation Erosion Research on the X3CrNi13-4 Stainless Steel*, Materials Science Forum, Vol. 782, 2014, pag. 263-268.
- [16] Nedeloni, M.D., *Calibration Tests of a Sonotrode and Cavitation Erosion Research through Indirect Cavitation Method for a Steel*, Analele Universității Eftimie Murgu Reșița, Vol. 19, Nr. 1, 2012, pag. 227-234.
- [17] Nedeloni, M.D., *Cercetări privind eroziunea cavitațională pe materiale utilizate la fabricația componentelor de turbine hidraulice*, Teză de doctorat, Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița, Decembrie, 2012.
- [18] Nedeloni, M.D., Cojocar, V., Ciubotariu, R., Nedelcu, D., *Cavitation Erosion Tests Performed by Indirect Vibratory Method on Stainless Steel Welded Samples with Hardened Surface*, Analele Universității Eftimie Murgu Reșița, Vol. 19, Nr. 1, 2012, pag. 215-226.
- [19] Nedeloni, M.D., Nedelcu, D., Câmpian, V.C., Chirus, D., Avasiloaie, R.C., Danut, F., *Research regarding the cavitation erosion resistance of the stainless*

steel with the 13 % Cr and 4 % Ni used to manufacture the components of Kaplan, Francis and Pelton hydraulic turbines, Constanta Maritime University Annals, Vol. 14, Nr. 19, 2013, pag. 129-132.

[20] Nedeloni, M.D., Nedelcu, D., *Research through Direct and Indirect Cavitation Method for a Aluminum Specimen*, Analele Universității Eftimie Murgu Reșița, Vol. 19, Nr. 1, 2012, pag. 207-214.

[21] Nedeloni, M.D., Potoceanu, N., Florea, D., Chirus, D., *Research through the Stationary Specimen Method of the X20Cr13 Stainless Steel Used for Hydraulic Pumps*, Materials Science Forum, Vol. 782, 2014, pag. 251-256.

[22] Potoceanu, N., Nedeloni, M.D., Chirus, D., Florea D., *Cavitation Erosion Behavior of the Antifriction Alloy YSn83*, Materials Science Forum, Vol. 782, 2014, pag. 257-262.

Ing. Lidia NEDELONI  
Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița  
e-mail: lidia17f@yahoo.com

Ing. Luminița HAȚIEGAN  
Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița  
e-mail: liminitabio@yahoo.com

Drd. Ing. Adrian PELLAC  
Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița  
e-mail: adi80pellac@yahoo.com

Drd. Ing. Diana MICLIUC  
Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița  
e-mail: c.rudolf@uem.ro

Drd. Ing. Sorin-Laurențiu BOGDAN  
Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița, membru AGIR  
e-mail: s.bogdan@uem.ro

Drd. Ing. Ionela PELEA  
Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița, membru AGIR  
e-mail: i.pelea@uem.ro