A XIII-a Conferinţă Naţională multidisciplinară – cu participare internaţională,
*"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti"*,
SEBEŞ, 2013

# CONSIDERAŢII PRIVIND EFECTELE COROZIUNII ASUPRA COMPORTAMENTULUI DINAMIC AL GRINZILOR

Daniel BOBOŞ, Zeno-Iosif PRAISACH, Gilbert-Rainer GILLICH

# CONSIDERATIONS REGARDING CORROSION EFFECTS ON BEAMS DYNAMIC BEHAVIOR

Negative effects caused by corrosion are significant, both economically and in terms of public safety, so incipient detection of corroded areas is necessary to take in real-time measures to prevent the occurrence of dangerous situations. This paper presents types of corrosion and various actual methods used to detect corroded areas together with a new approach in damage detection based on vibration measurements. While the proposed method base on frequency changes, to understand the dynamic behaviour of beams subjected to corrosion is a first step. It permits establishing appropriate mathematical models and development of damage detection methods implying the monitoring and analyzes of beams natural frequencies.

Cuvinte cheie: coroziune, detectarea defectelor, frecvenţe proprii
Keywords: corrosion, damage detection, natural frequency

## 1. Introducere

Procesul de coroziune al metalelor este un proces de degradare lentă şi progresivă a acestora sub acţiunea diverselor medii chimice active [1], care porneşte în general de la suprafaţă spre interior. Acest fenomen este de obicei nedorit, afectând structura, forma şi aspectul elementelor supuse corodării.

Procesul de coroziune se produce sub influenţa a diverşi factori cum ar fi: tipul de material supus coroziunii, natura mediului coroziv, concentraţia, temperatura şi presiunea mediului coroziv, durata de contact dintre material şi mediul coroziv etc.

Efectele negative provocate de coroziune sunt semnificative, atât din punct de vedere economic, cât şi din punct de vedere al siguranţei populaţiei motiv pentru care este necesară detectarea în stare incipientă a zonelor corodate şi luarea de măsuri pentru prevenirea apariţiei unor situaţii periculoase.

## 2. Tipuri de coroziune şi efectele acesteia asupra comportamentului dinamic al grinzilor

La o primă clasificare a procesului de coroziune în funcţie de natura proceselor după care se produce, se disting următoarele trei tipuri de coroziune [2]:

- coroziunea chimică ce reprezintă procesul de degradare a materialelor în general datorită reacţiilor chimice dintre material şi mediul coroziv în timpul cărora nu se semnalează transport de sarcini electrice;
- coroziunea electrochimică care reprezintă procesul de degradare a materialelor metalice datorită reacţiilor chimice dintre material şi mediul coroziv, reacţii însoţite de transport de sarcini electrice;
- coroziunea microbiologică determinată de acţiunea unor microorganisme asupra obiectului metalic.

În funcţie de natura mediilor corozive, se disting următoarele tipuri de coroziune [2], [3]:

- coroziune atmosferică;
- coroziune în sol;
- coroziune în gaze;
- coroziune în lichide.

La rândul ei, coroziunea în lichide poate fi de mai multe feluri după cum urmează:

- coroziune în acizi (acidă);
- coroziune în baze (alcalină);
- coroziune în săruri;
- coroziune în apă de mare (marină);
- coroziune în apă de râu;
- coroziune în produse petroliere.

Din punct de vedere al aspectului macroscopic şi microscopic al zonelor corodate, se disting următoarele tipuri de coroziune [4], [5]:

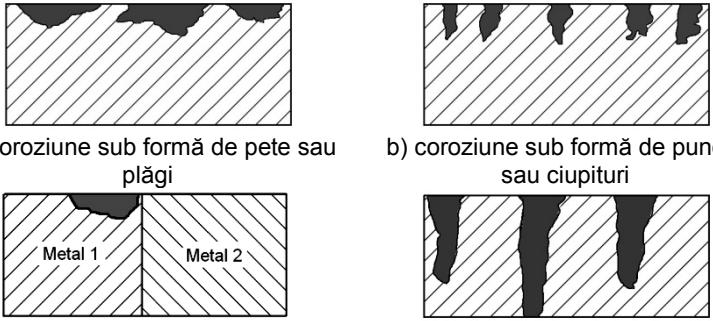
- coroziune de suprafaţă (superficială);
- coroziune în profunzime.

Coroziunea de suprafaţă poate fi continuă (uniformă sau neuniformă) sau locală (discontinuă).

a) coroziune uniformă b) coroziune neuniformă

Fig. 1 Tipuri de coroziune continuă

Coroziunea locală poate fi de mai multe feluri; se disting:
- coroziune sub formă de pete sau de plăgi;
- coroziune în puncte sau cu ciupituri;
- coroziune sub formă de caverne;
- coroziune perforantă;
- coroziune prin contact (coroziune galvanică).




a) coroziune sub formă de pete sau plăgi b) coroziune sub formă de puncte sau ciupituri

c) coroziune prin contact d) coroziune perforantă

Fig. 2 Tipuri de coroziune locală

Coroziunea în profunzime poate fi la rândul ei de mai multe feluri după cum urmează:
- coroziune intercristalină;
- coroziune fisurantă sub sarcină (transcristalină);
- coroziune eroziv ă;
- coroziune de cavitaţie;
- coroziune prin oboseală;
- coroziune selectivă: de component sau de structură etc.

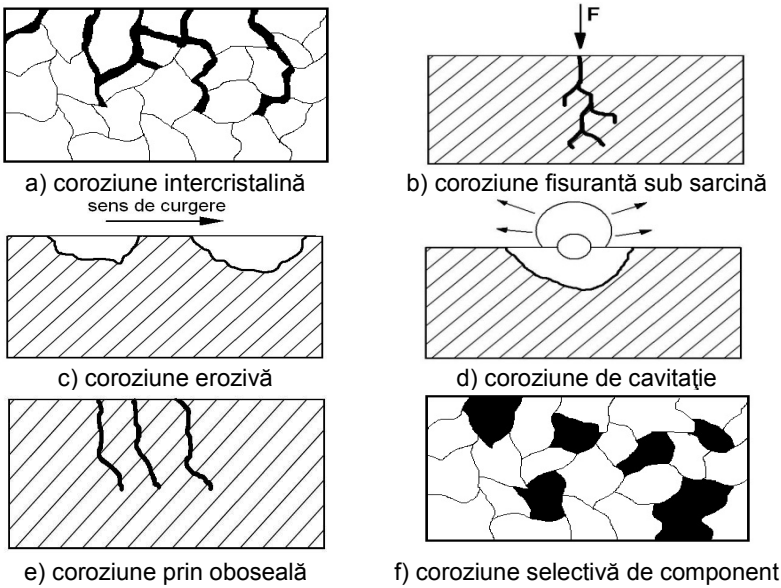



Fig. 3 Diferite forme de coroziune în profunzime

În cadrul procesului de coroziune, se formează produse de coroziune cu o masă mai mică decât cea a materialului de bază, ceea ce duce la pierderea în greutate a pieselor corodate. În timp, stratul corodat se îngroaşă şi la un moment dat poate să se desprindă, lucru ce duce la slăbirea secţiunii şi a rigidităţii produsului corodat concomitent cu reducerea masei acestuia.

Din punct de vedere al comportamentului dinamic al corpului metalic supus coroziunii, reducerea secţiunii acestuia duce la scăderea frecvenţelor proprii, în timp ce scăderea masei acestuia conduce la creşterea frecvenţelor proprii ale acestuia [6], [7].

## 3. Metode de detectare a zonelor corodate

Pentru detectarea zonelor corodate, în prezent sunt folosite diverse metode, fiecare dintre acestea prezentând avantaje şi dezavantaje. Metodele pot fi locale, când controlul se efectuează într-o zonă restrânsă şi este necesar accesul direct la zona controlată, sau globale, bazate pe caracteristicile dinamice ale structurii controlate, caz în care se detectează zona afectată fără a fi necesar accesul direct la aceasta.

În continuare sunt enumerate diverse metode folosite pentru detectarea zonelor corodate [1]:

- controlul vizual;
- control cu lichide penetrante;
- control cu pulberi magnetice;
- control ultrasonic;
- control radiografic (control cu raze X sau cu raze gamma);
- control cu ajutorul curenţilor turbionari (curenţi Foucault);
- control cu ajutorul emisiilor acustice;
- control prin metoda amprentei câmpului electromagnetic etc.

În ultima vreme sunt efectuate cercetări pentru punerea la punct a unei metode eficiente de detectare a defectelor şi implicit a zonelor corodate prin monitorizarea frecvenţelor naturale şi a formei modurilor de vibraţie ale diverselor structuri metalice.

Această metodă ţine cont de faptul că frecvenţele proprii de vibraţie ale unui corp sunt în funcţie de forma geometrică a sa, de numărul gradelor de libertate pe care acesta le are, în funcţie de masa proprie şi de forţele ce acţionează asupra lui etc.

Orice modificare asupra formei geometrice a corpului, pentru aceleaşi condiţii de încărcare date, se reflectă prin modificarea frecvenţelor proprii ale acestuia.

Prin compararea frecvenţelor proprii ale corpului cu defect, cu frecvenţele proprii iniţiale ale corpului fără defect, se pot obţine informaţii privind poziţia defectului şi mărimea acestuia.

În continuare sunt prezentate comparativ efectele asupra frecvenţei proprii pentru modul 1 de vibraţie ale unei grinzi încastrate fără defect, respectiv ale unei bare încastrate supuse unui atac coroziv de suprafaţă localizat (grinda prezintă o reducere a secţiunii în zona atacată şi o reducere a masei proprii).

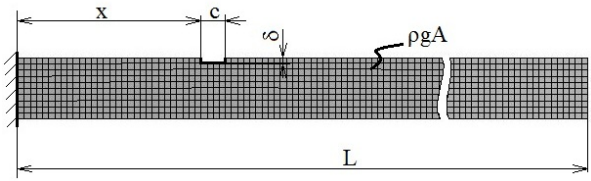



Fig. 4 Modelul de grindă supusă unui atac coroziv de suprafaţă localzat

Datele de intrare folosite pentru compararea efectelor asupra frecvenţelor proprii de vibraţie a grinzii încastrate sunt: lungimea grinzii $L = 600\ mm$; lăţimea grinzii $B = 50\ mm$; grosimea grinzii $H = 5\ mm$; secţiunea transversală pentru grinda fără defect $A = 250 \cdot 10^{-6}\ m^2$;

momentul de inerţie axial $I = 520.833 \cdot 10^{-12}\ m^4$; modulul de elasticitate longitudinal $E = 2.0 \cdot 10^{11}\ N/m^2$; densitatea grinzii $\rho = 7850\ kg/m^3$; coeficientul lui Poisson $\mu = 0,3$; acceleraţia gravitaţională $g = 9,806\ m/s^2$; masa grinzii m $= 1,1775\ kg$; lăţimea zonei corodate $c = 10\ mm$; adâncimea zonei corodate $\delta = 0,5\ mm$.

Pentru determinarea efectului coroziunii asupra comportamentului dinamic al unei grinzi s-au efectuat simulări cu ajutorul programului de analiză cu elemente finite ANSYS asupra acesteia în starea fără defect respectiv cu defect, înregistrându-se valorile aferente frecvenţelor proprii pentru 11 moduri de vibraţie.

Pentru grinda fără defect s-au parcurs următorii paşi:

- definirea modelului geometric;
- alegerea materialului barei;
- stabilirea modului de rezemare al barei (bară încastrată la un capăt şi liberă la celălalt capăt);
- stabilirea sarcinilor ce acţionează asupra barei (sarcină uniform distribuită generată de masa proprie a barei);
- stabilirea mărimii medii a elementului finit utilizat în analiza FEM (mărimea elementului finit de 2 mm);
- generarea studiului cu elemente finite;
- înregistrarea rezultatelor.

Pentru realizarea analizei cu elemente finite asupra grinzii supuse unui atac coroziv localizat s-au parcurs paşii descrişi anterior cu menţiunea că la definirea modelului geometric, s-a practicat un defect de dimensiuni prezentate mai sus (lăţimea zonei corodate $c = 10\ mm$; adâncimea zonei corodate $\delta = 0,5\ mm$) şi la o distanţă $x$ faţă de suprafaţa încastrată a grinzii. Prin modificarea distanţei dintre zona corodată şi încastrarea grinzii s-au obţinut valorile frecvenţei proprii funcţie de poziţia defectului pentru întreaga lungime a grinzii.

În tabelul 1 sunt prezentate valorile frecvenţelor proprii aferente modului 1 de vibraţie pentru o grindă fără defect respectiv pentru una corodată în 11 puncte diferite situate de-a lungul barei considerate separat. În figura 5 sunt reprezentate grafic valorilor obţinute în urma simulărilor pentru un număr semnificativ de puncte, între care se regăsesc şi cele prezentate în tabelul 1. Poziţia porţiunii corodate, exprimată procentual, indică centrul zonei afectate, în care se remarcă o scădere a rigidităţii datorate reducerii momentului de inerţie axial $I$, respectiv scăderea masei grinzii datorită pierderii de masă. Se remarcă faptul că pentru zona situată în vecinătatea încastrării efectul reducerii rigidităţii este marcant, pe când în porţiunea situată în vecinătatea capătului liber efectul major este dat de reducerea de masă.

Tabelul 1

| Procentul din lungimea barei [%] | Valoare frecvenţă proprie pentru bara fără defect [Hz] | Valoare frecvenţă proprie pentru bara cu defect [Hz] |
|---|---|---|
| 0 | 11.38394989 | 11.24244212 |
| 10 | | 11.26995013 |
| 20 | | 11.30263772 |
| 30 | | 11.33035594 |
| 40 | | 11.35273715 |
| 50 | | 11.37023754 |
| 60 | | 11.38369518 |
| 70 | | 11.39427133 |
| 80 | | 11.40334193 |
| 90 | | 11.41228369 |
| 100 | | 11.42112709 |

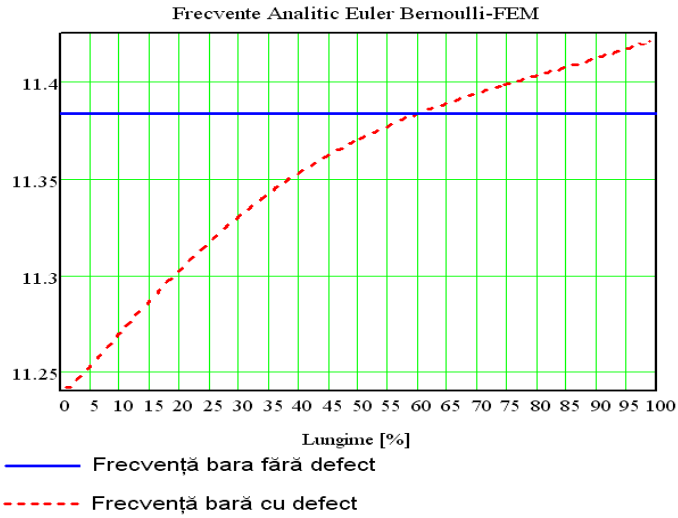



Fig. 5 Curba frecvenţelor proprii pentru modul 1 de vibraţie pentru o grindă încastrată fără defect respectiv cu defect

## 4. Concluzii

■ În urma simulării numerice privind efectele coroziunii asupra comportamentului dinamic al grinzilor încastrate s-a constatat o modificare a frecvenţelor proprii în sensul că reducerea secţiunii barei

determină scăderea frecvenţelor proprii în timp ce reducerea masei determină creşterea frecvenţelor proprii.

■ Astfel, dacă coroziunea apare în zona dinspre capătul încastrat, la modul întâi de vibraţie frecvenţa proprie a grinzii scade, deoarece efectul scăderii masei este nesemnificativ pe când cel al reducerii secţiunii este important; cu cât ne depărtăm de încastrare ponderea efectelor se schimbă, la capătul liber frecvenţa grinzii corodate fiind mai mare decât cea a grinzii fără defect.

## BIBLIOGRAFIE


[1] Stoian, N., Palfalvi, A., Vintilă, N., Alexandra, M., *Tehnologia materialelor*, Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1980.

[2] Rusu, A., *Tendinţe, realizări şi perspective în domeniul protecţiei anticorozive a echipamentelor hidroenergetice*, Conferinţa naţională Think Hydro, Reşiţa, 2 – 4 noiembrie 2011, pag. 61-75.

[3] * * * SR EN ISO 8044:2000, *Coroziunea metalelor şi aliajelor. Termeni de bază şi definiţii*.

[4] Roberge, P.R., *Handbook of corrosion*, McGraw-Hill Companies, Inc., 1999.

[5] Landolfo, R., Cascini, L., Portioli, F., *Modeling of Metal Structure Corrosion Damage: A State of the Art Report*, Sustainability 2010, 2, pag. 2163-2175.

[6] Gillich, G.R, Minda. P.F., Praisach, Z.I., Minda. A.A., *Natural frequencies of damaged beams - a new approach*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, Vol. IX, Issue 2/2012, pag.101-108.

[7] Gillich, G.R, Praisach, Z.I., Iavornic, C.M., *Reliable method to detect and assess damages in beams based on frequency changes*, Proceedings of the ASME 2012 International Design Engineering Technical Conference, Chicago (IL), USA, August 12-15, 2012, Article Number: DETC2012-70094.



Drd.Ing. Daniel BOBOŞ
Universitatea ”Eftimie Murgu” Reşiţa
e-mail: d.bobos@uem.ro
Dr.Ing. Zeno-Iosif PRAISACH
Universitatea ”Eftimie Murgu” Reşiţa
e-mail: zpraisach@yahoo.com
Prof.Univ.Dr.Ing.Ec. Gilbert-Rainer GILLICH
Universitatea ”Eftimie Murgu” Reşiţa
e-mail: gr.gillich@uem.ro