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

METODĂ DE CONTROL NEDISTRUCTIV AL VASELOR DE PRESIUNE RIDICATĂ

Ioan SZÁVA, Pál Botond GÁLFI

NDT METHOD FOR HIGH-PRESSURE VESSELS

The high-pressure vessels are widely used in technique. Their safe-operating without damage represents a major demand. Taking for example the Oxygen-, Nitrogen-, or natural gas vessels, one of their main cause/motive of damage consists of the punt-corrosion (bottom-corrosion), which leads to the drastically reduction (shortening) of their life-time, respectively it will compromise their working in safety conditions. The widely-used periodical testing methods, mainly in advance of their refilling with the working agent, are nor sure, nor efficiently. The authors propose a simply new NDT testing protocol, based on the Moiré-Fringe Method, but it can be applied successfully using the Digital Correlation one. There are also described two original testing benches. The proposed methodology will assure a high-efficiently monitoring and good traceability of the tested vessels, respectively such controlling method, which will not diminish their initial life-times.

Cuvinte cheie: control nedistructiv, vase de presiune, metoda franjelor moiré

Keywords: NDT, high-pressure vessel, moiré-fringe method

1. Introducere

Utilizarea în condiţii de maximă siguranţă a vaselor de înaltă presiune reprezintă o cerinţă primordială pentru industrie. Dacă ne gândim numai la buteliile de oxigen, de azot sau chiar de aragaz, această cerinţă este pe deplin justificată.

Una dintre cauzele principale ale deteriorării acestora este coroziunea fundului.

Aceasta conduce la subţierea locală a materialului, iar în funcţie de forma şi dimensiunile acestei cavităţi produse, vom avea de a face cu un concentrator de tensiuni mai însemnat sau mai puţin periculos.

Metodele actuale de inspectare a gradului de deteriorare au în vedere de obicei:

- *fie o inspecţie prin endoscopie* a zonei interioare a fundului,
- fie *o probă de presiune înainte de reumplere*.

Prima metodă *doar constată existenţa unei deteriorări de o anumită dimensiune*, fără a oferi o corelaţie fermă între starea reală de tensiune şi forma -, respectiv dimensiunile acestei cavităţi produse.

În inginerie este bine-cunoscut faptul că, o aceeaşi cavitaţie de o anumită mărime, în funcţie de forma conturului (având muchii mai mult sau mai puţin ascuţite) şi de tipul de material (tenace sau casant) în care s-a produs această cavitaţie, poate reprezenta, fie o deteriorare periculoasă, fie una nesemnificativă, dacă se ţine seama de concentratorii de tensiuni.

Ceea de-a doua metodă (efectuată, la o presiune mult mai ridicată decât aceea maximă de funcţionare), *oferă posibilitatea constatării, fie a unei deteriorări finale, ireversibile, a vasului printr-o explozie, fie rămânerea aparent intactă a vasului*.

Din punctul de vedere al Rezistenţei Materialelor şi Teoriei Elasticităţii, o asemenea suprasarcină, chiar dacă momentan nu a produs efecte vizibile de deteriorare, însă poate reprezenta iniţierea unei fisuri.

Aceasta, la rândul ei, poate conduce în orice moment al funcţionării la o explozie, care va cauza daune umane şi/sau materiale.

De aceea, aceste tipuri de controale nu pot reprezenta analize sigure, iar vasele reumplute nu vor prezenta nici o garanţie pentru utilizatori.

Ţinând seama de aceste neajunsuri, autorii şi-au elaborat o metodologie sigură de verificare/control nedistructiv/ al acestor vase de importanţă majoră, oferind totodată şi două standuri simple şi eficiente în acest sens.

Trebuie menţionat şi faptul că, o metodă de control poate deveni eficientă în aceste cazuri numai dacă sunt îndeplinite următoarele condiţii/criterii de bază:

- să fie perfect reproductibilă/repetabilă la sute de vase supuse unor asemenea controale;

- să fie sensibilă (să poată evidenţia fie starea de tensiuni, fie aceea de deformaţii la sarcini/presiuni/ aplicate relativ mici şi astfel să nu conducă la apariţia unor amorse de fisuri);
- să asigure o stocare şi prelucrare ulterioară a datelor, dar şi o trasabilitate (urmărirea în timp) a vaselor supuse inspecţiei;
- să servească drept bază sigură de date în preconizarea duratei de viaţă a vaselor inspectate (a funcţionării lor sigure, fără defecţiuni).

Rezultatele acestor investigaţii primare sunt prezentate în cele ce urmează.

2. Aspecte de bază privind Metoda Franjelor Moiré

Metoda Franjelor Moiré reprezintă o metodă nedistructivă de evidenţiere a câmpului de deformaţii al unui corp solid supus la solicitări mecanice şi/sau termice [3].

Pentru evaluarea câmpului de deplasări, respectiv de deformaţii, după direcţia perpendiculară pe planul obiectului analizat se utilizează versiunea ***Moiré-ului de Umbre (Shadow Moiré)***, al cărui principiu este redat în figura 1.

Din sursa de lumină ***LS***, fasciculul luminos colimat de colimatorul $\boldsymbol{L_1}$ va ajunge sub unghiul de incidenţă α la reţeaua ***MG***, iar de acolo la corpul solicitat ***B*** (simbolizat aici prin intermediul unei grinzi) de către forţa ***F***.

De pe suprafaţa acestuia, sub unghiul de reflexie β, trecând din nou peste reţeaua ***MG***, respectiv colimatorul $\boldsymbol{L_2}$, fasciculul luminos va ajunge la camera (sau observatorul).

Aici, peste imaginea corpului se va suprapune o reţea de franje moiré, care de fapt reprezintă nişte linii de nivel, având magnitudinea (deci deplasarea *w* perpendiculară pe suprafaţa corpului analizat) dată de relaţia (1), după [3]:

$$w = \frac{N \cdot p}{tg\alpha + tg\beta}, \qquad (1)$$

unde: *N* este ordinul franjei, iar
p- pasul reţelei.

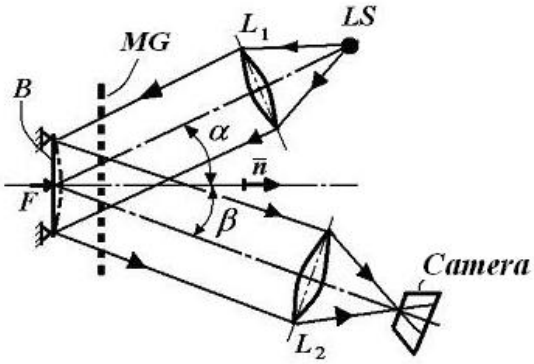

Fig. 1 Schema de principiu a moiré-ului de umbră [3]

În cazul studierii unor obiecte/suprafeţe mai mari, decât mărimea reţelei, se utilizează aşa-numita ***Tehnica Proiecţiei Reţelei (Fringe Projection Technique)***, aplicată prima dată de Brooks şi Herfinger în 1969 [3], unde relaţia (1) rămâne de asemenea valabilă.

Observaţii:

- Relaţia (1) a fost dedusă pentru cazul reţelei formată din linii drepte paralele;
- Sensibilitatea maximă se obţine pentru $\alpha + \beta = 90^0$, însă în acest caz vor rezulta şi o serie de umbre parazite, care vor îngreuna evaluarea corectă a câmpului de franje;
- Prin modificarea continuă a cantităţii $(\alpha + \beta)$ va rezulta mărimea ei optimă, care asigură un câmp de franje cu un bun contrast şi cu un număr suficient de franje, elemente necesare unei evaluări cât mai precise a deformaţiilor suferite de corp;
- Condiţia de bază este

$$\alpha + \beta = \text{const.}, \tag{2}$$

care poate fi particularizată pentru

$$\beta = 0, \ \alpha + \beta = 45^0, \tag{3}$$

şi astfel din relaţia (1) va rezulta

$$w = \frac{N \cdot p}{tg\alpha}, \qquad (4)$$

aplicată de altfel şi la standul prezentat mai jos;

- O altă modalitate de analiză se bazează pe reţele de cercuri concentrice, aplicată prima dată în 1953 de Lehman şi Wiemer [1], a cărei bază teoretică a fost perfecţionată în 1966 de Theocaris şi Kuo [2], care însă nu este prezentată în cele ce urmează.

3. Prezentarea standului pentru calibrarea defectelor

În principiu acest stand este format din două capace (funduri de butelii): capacul intact (***3***), fără defecţiuni şi o serie de capace (***1***) prevăzute pe rând cu câte un defect tipic datorat coroziunii – figura 2.

Zona cilindrică (***2***) este prevăzută cu o joncţiune (ştuţ) pentru introducerea presiunii dorite *p* în recipientul astfel constituit, iar elementele (***4***), (***5***) şi (***6***) asigură fixarea rigidă într-o poziţie dorită a sistemului.

Cu ajutorul acestui stand se pot testa, atât diferite sensibilităţi ale sistemului optic, cât şi răspunsul în franje moiré (cu densitate, poziţie etc.) la diferitele tipuri de defecte de coroziune.

Ulterior, pe baza acestor imagini tip, chiar şi un lucrător cu pregătire medie poate desfăşura fără dificultăţi activitatea de verificare a recipienţilor (buteliilor).

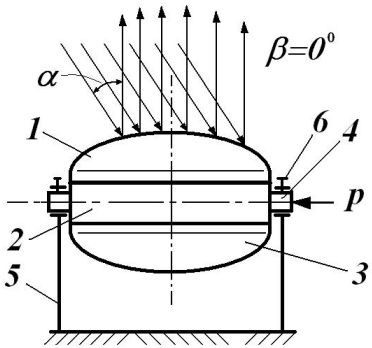

Fig. 2
Schema de principiu a standului destinat calibrării defectelor

4. Prezentare stand destinat monitorizării stării buteliilor

În acest caz, pe inelul rigid (***2***) se fixează cât mai precis reproductibil vasul (***1***) supus verificării (evident, cu fundul întors în sus, cum este arătat şi în figura 3), iar prin ştuţul (***3***) este introdusă presiunea preconizată testului.

Personalul va efectua doar o comparare a defectelor (iregularităţilor observate în câmpul de franje) cu cele critice (considerate a fi periculoase pe baza investigaţiilor minuţioase efectuate cu standul de calibrare, efectuate de către un personal superior calificat), iar imaginile obţinute la diferite presiuni *p* vor fi stocate pe fotografii.

În consecinţă, fiecare vas va avea un "istoric", iar monitorizarea progresării acestor defecţiuni la următoarele verificări periodice va permite stabilirea duratei sigure de viaţă rămase.

5. Consideraţii finale

Metodologia prezentată succint va asigura eliminarea unor neajunsuri ale sistemelor actuale de verificare, printre care se pot menţiona:

- Dacă vasul are o presiune de lucru de 2...7 *bar*, atunci testul de presiune recomandat este la circa 25 *bar*, care după cum s-a menţionat mai înainte, poate fi deosebit de periculos pentru funcţionarea ulterioară a acestuia;
- În cele mai multe cazuri, aceste probe de presiune sunt efectuate prin utilizarea unui alt fluid (spre exemplu: apă), ceea ce va necesita în mod obligatoriu şi o curăţire ulterioară a vasului după acest test, în vederea reumplerii cu agentul iniţial (gaz);
- Testele actuale necesită un consum de timp relativ mare pentru fiecare vas.

Faţă de acestea, metoda propusă de autori:

- va utiliza drept agent (pentru testul de presiune) fluidul iniţial;
- sistemul optic propus necesită doar nişte suprapresiuni minimale (faţă de starea de "vas golit") de ordinul 0,5 *bar*;

- se elimină în totalitate manopera de curăţire a vasului după proba de presiune, putând trece direct la reumplerea vasului, dacă a corespuns acestui test;

- necesită un personal mediu-calificat pentru aceste operaţii, care nu sunt nici complicate şi nici scumpe.

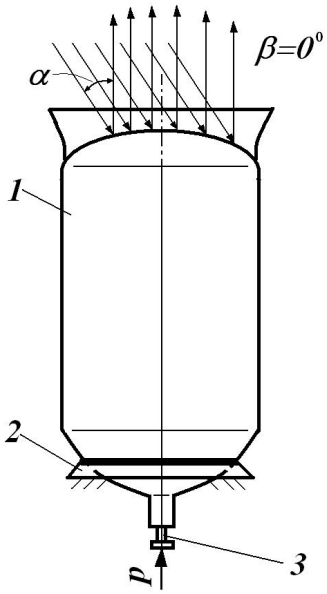

Fig. 3 Schema de principiu a standului destinat testării buteliilor

După părerea autorilor, metodologia prezentată ar putea constitui un pas important în creşterea siguranţei acestor vase, dar totodată şi un mijloc eficient şi sigur în monitorizarea funcţionării lor.

Dacă se ia în consideraţie numai numărul buteliilor de aragaz aflate în circuitul gospodăresc, iar exploziile acestora - din păcate - este un fenomen destul de frecvent, atunci se justifică pe deplin impunerea unei monitorizări severe a acestora.

Un fenomen similar poate fi constatat şi în cazul celor de oxigen sau de azot, unde pericolul este şi mai mare, ţinând seama de mediile industriale, unde acestea sunt utilizate.

Autorii şi-au propus continuarea acestor investigaţii, incluzând, atât metode mai sensibile de monitorizare, cât şi analiza altor tipuri de defecte.

BIBLIOGRAFIE

[1] Lehman, R., Wiemer, A., Feingeräte-Technik 2 (5), 199, 1953.
[2] Theocaris, S.P., Kuo, H.H., Z., Angewdte. Math. Phys., 17 (1) 336, 1966.
[3] Theocaris, S.P., *Moiré fringes in Strain Analysis.* Pergamon Press, Oxford, London, 1969.

Prof.Dr.Ing. Ioan SZÁVA
Departamentul de Inginerie Mecanică,
Universitatea “Transilvania” din Braşov, membru AGIR
e-mail: janoska@clicknet.ro
Dr.Ing. Pál Botond GÁLFI, şef laborator,
SC Autoliv Braşov, membru AGIR
e-mail: bgalfi@yahoo.com