

COMPORTAREA LA OBOSEALĂ ÎN MEDIU COROSIV A MATERIALELOR PENTRU ȚEVI DE EXTRAȚIE

Ioan POPA, Lavinia Silvia STANCIU

Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești, ipopa@upg-ploiesti.ro

Cuvinte cheie: rezistența la oboseală, mediu corosiv, țevi de extracție

Abstract: In this work, the authors present the experimental results regarding the fatigue resistance in corrosive environments for a sucking rod material. There is a concise presentation of the device, the experimental proceeding and also of the apparatus and of the obtained results. They analyse the different factors' influence on the fatigue resistance in corrosive environments.

1. ASPECTE GENERALE

Studiul comportării la oboseală în mediu corosiv a materialului țevelor de extracție s-a realizează experimental pe o mașină originală, special realizată în cadrul unui contract de cercetare științifică, a cărei schemă este prezentată în figura 1.

Principalele cerințe care au stat la baza conceperii mașinii de încercare la oboseală în mediu corosiv au fost:

- posibilitatea solicitării epruvetelor după un ciclu alternant asimetric de întindere, ambele limite ale tensiunii ciclului fiind pozitive;
- înregistrarea continuă a numărului de cicluri de solicitare efectuate pe epruvetă;
- posibilitatea modificării frecvenței de solicitare, putându-se efectua încercarea chiar la frecvența la care lucrează țeava de extracție;
- epruveta să fie solicitată în aer sau în contact permanent cu un mediu corosiv;
- posibilitatea recirculării mediului corosiv având temperaturi de până la 50°C cu sau fără barbotarea acestuia cu dioxid de carbon;
- prefisurarea epruvetelor destinate cercetării coroziunii sub tensiune pentru determinarea factorului de intensitate a tensiunii în condițiile stării plane de deformare, (K_I), tenacității la rupere în condițiile stării plane de deformare (K_{IC}) și a factorului de intensitate al tensiunii limită pentru susceptibilitatea la coroziune fisurantă sub tensiune (K_{ISCC}).

În medii corosive ruperea prin oboseală a pieselor se produce mai rapid decât în aer și acest fapt se datorează procesului complex de solicitare variabilă însoțit de acțiunea electrochimică a mediului.

Prin solicitare variabilă ciclică o serie de cristale sau de grupuri de cristale, dispuse pe suprafața unei piese, ajung în stadiul de deformare plastică. În timp, procesul de coroziune se concentrează asupra cristalelor sau grupurilor de cristale care au atins stadiul de deformare plastică și aici sunt create condițiile favorabile de formare a unor fisuri.

În faza de deschidere lichidul corosiv pătrunde în fisură. În faza următoare, de închidere, lichidul nu are posibilitatea de a ieși în totalitate din fisură deoarece vâscozitatea acestuia crește rapid cu presiunea. În aceste condiții, pe durata închiderii fisurii, lichidul reținut acționează ca pană hidraulică. Totodată, la presiuni mari, se intensifică agresivitatea lichidului la vârful fisurii.

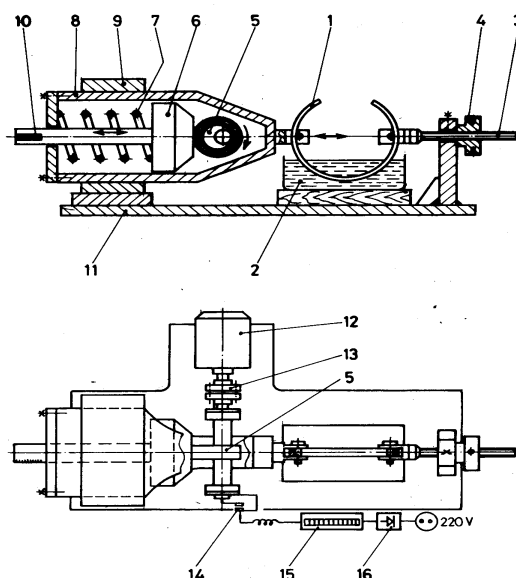


Fig.1. Schema mașini de încercare. 1-epruvetă; 2-lichid corosiv; 3-șurub; 4-piuliță; 5-ecentric; 6-piesă tip piston; 7-arc; 8-corp metalic; 9-bucșă; 10-ax de ghidare- 11-suport; 12-motor electric; 13-cuplaj elastic; 14-traductor; 15-contor electric de turație

Adânciturile sau plăgile de coroziune pot fi considerate ca puncte de amorsare a fisurilor de rupere prin oboseală și, prin forma geometrică specifică, au un efect puternic de concentrator de tensiune. Pe suprafață se formează numeroase zone sensibile la oboseală și coroziune iar la ruperea prin oboseală în medii corosive concură un front de fisuri și nu o singură fisură ca în cazul mediilor neutre.

2. Comportarea țevelor de extracție la presiune interioară variabilă

Țevile de extracție care intră în componența sistemului de exploatare cu pompe cu piston ale instalațiilor de extracție a petrolului sunt solicitate la presiune interioară variabilă. Oscilațiile verticale ale pistonului produc variații importante de presiune, care conduc la fisurarea după generatoare a țevelor de extracție.

Numărul de pulsații de presiune până la amorsarea fisurii este dependent de agresivitatea apei de zăcământ și de starea pe care o prezintă suprafața interioară a țevii de extracție.

Adânciturile și pitting-urile de coroziune orientate după generatoare constituie puternici concentratori de tensiune.

Încercările experimentale s-au efectuat pe inele închise sau de tip C decupate din corpul prăjinii de extracție (fig. 2 și 3). Pe mașina de încercare nu se pot realiza presiuni interioare variabile ci solicitări variabile la tracțiune. Din acest motiv este necesară stabilirea unei echivalențe între solicitarea propriu-zisă a epruvetei și solicitarea reală, astfel încât în punctele cele mai solicitate să se asigure același nivel al tensiunilor.

Cu relațiile cunoscute din Rezistența materialelor pentru un tub cu pereți groși supus la presiune interioară se pot determina tensiunile echivalente din punctele de la interiorul tubului care, conform teoriei lui Mohr, au expresiile:

$$\sigma_{ech} = p \left(\frac{1+k^2}{1-k^2} + \nu \right)$$

în care k reprezintă raportul între raza exterioară și cea interioară a tubului iar ν este coeficientul lui Poisson.

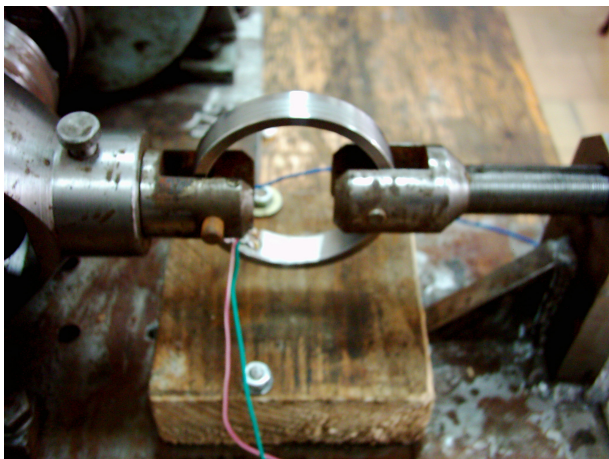


Fig.2. Inel închis solicitat de forțe diametral opuse

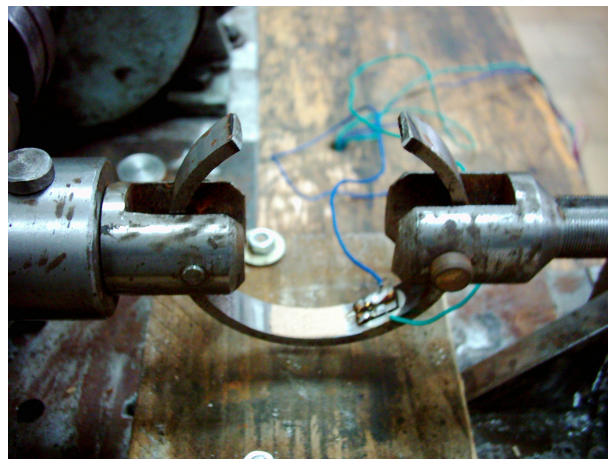


Fig.3. Inel de tip C solicitat de forțe diametral opuse

Pentru un inel de tip C decupat din țeava de extracție, solicitat de forțe diametral opuse (fig. 3), cu relațiile cunoscute de la studiul barelor cu mare curbura, tensiunea maximă se dezvoltă în secțiunea de jos a inelului în punctul de la interior, și are valoarea

$$\sigma_{\text{int}} = \frac{F}{A} \left[1 - \left(1 + \frac{1}{n} \right) \frac{e^{-\frac{h}{2}}}{r - \frac{h}{2}} \right]$$

în care $A = b \cdot h$ este aria secțiunii transversale dreptunghiulare a inelului; e – poziția razei neutre față de raza medie a inelului; r – raza medie a inelului; $n = e/(r - e)$; h – grosimea secțiunii inelului.

Se consideră echivalentă solicitarea la presiune interioară a tubului cu cea realizată practic de mașina de încercare atunci când tensiunea σ_{ech} (dată de relația (1)) este egal cu tensiunea σ_{int} (dată de relația 2) pentru inelul de tip C. În aceste condiții din egalitatea relațiilor (1) și (2) a rezultat forța cu care trebuie solicitat inelul pentru ca, în punctul cel mai solicitat, să se realizeze același nivel al tensiunilor ca și cel dat de o presiune interioară reală întâlnită în exploatarea țevii de extracție.

Similar s-a procedat și pentru cazul inelului închis, stabilindu-se o relație de legătură între forța dezvoltată de mașina de încercare, elementele geometrice ale inelului și presiunea interioară.

Determinările experimentale referitoare la comportarea la oboseală a materialului țevilor s-a făcut pe inele de tip C sau inele închise fără și cu defecte provocate la interiorul epruvetei care să simuleze defectele reale care apar în timpul exploatării sondelor de extracție (fig.4).

Pentru cazul inelelor cu defecte s-a determinat starea de tensiuni din vecinătatea defectelor prin metoda elementului finit, cu un program de calcul specializat, pentru cazul când în țeava de extracție există presiune interioară și pentru cazul când solicitarea este dată de forțele diametral opuse. Acest fapt a permis stabilirea unei valori a forței care solicită inelul pe mașina de încercare și care să creeze în zona cu defect o stare de tensiuni echivalentă celei dată de presiune interioară reala din exploatare.

Rezultatele calculelor analitice (prin metoda elementului finit) au fost apoi verificate experimental. În zona cea mai solicitată a inelului s-a lipit o marcă tensometrică (fig. 2 și 3) pentru a măsura variația în timp a deformațiilor specifice și implicit a tensiunilor mecanice. De asemenea s-a măsurat, cu un traductor de deplasare, variația în timp a deplasării

relative. În acest scop s-a folosit un aparat de achiziții și prelucrări de date dinamice ESAM TRAVALLER 2, care poate prelua semnale, concomitent de la opt puncte de măsură, cu o rată de achiziție de maxim 100 000 de citiri pe secundă.

În figura 5 este prezentat, pentru exemplificare, graficul de variație în timp a tensiunii mecanice din punctul cel mai solicitat al unui inel închis, nepretensionat, corespunzător unei frecvențe de solicitare variabilă de 3,51 Hz.

Se constată că variația tensiunii mecanice, din punctul în care este lipită marca tensometrică, este uniformă și are valoare $\Delta\sigma = 105,42 \text{ MPa}$.

În figura 6 este prezentat graficul de variație în timp a deplasării relative a punctelor de aplicare a forțelor diametral opuse, pentru același inel închis, nepretensionat, corespunzător aceleași frecvențe de solicitare variabilă de 3,51 Hz. Deplasarea relativă a acestor puncte este de 0,364 mm.

Înregistrarea graficelor de forma celor prezentate în figura 5 are ca scop determinarea variației efective a tensiunilor în timpul solicitării variabile a epruvetelor prelevate din țeava de extracție.

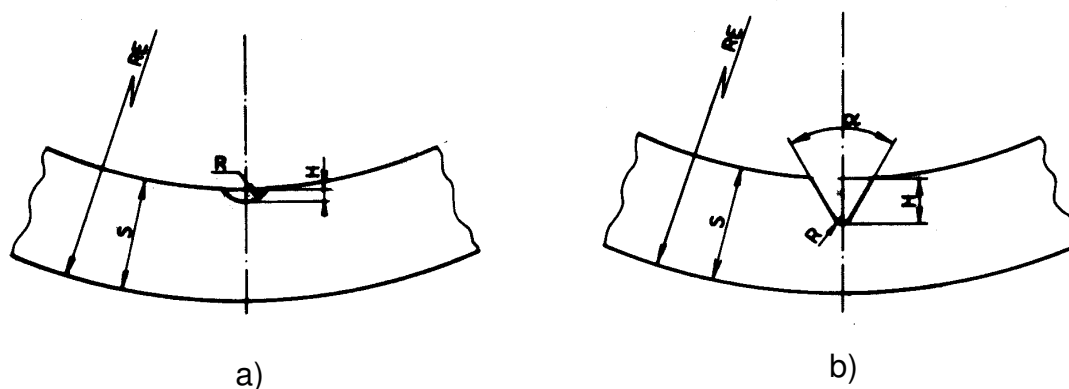


Fig. 4. Scheme ale defectelor centrale de la interiorul inelului.

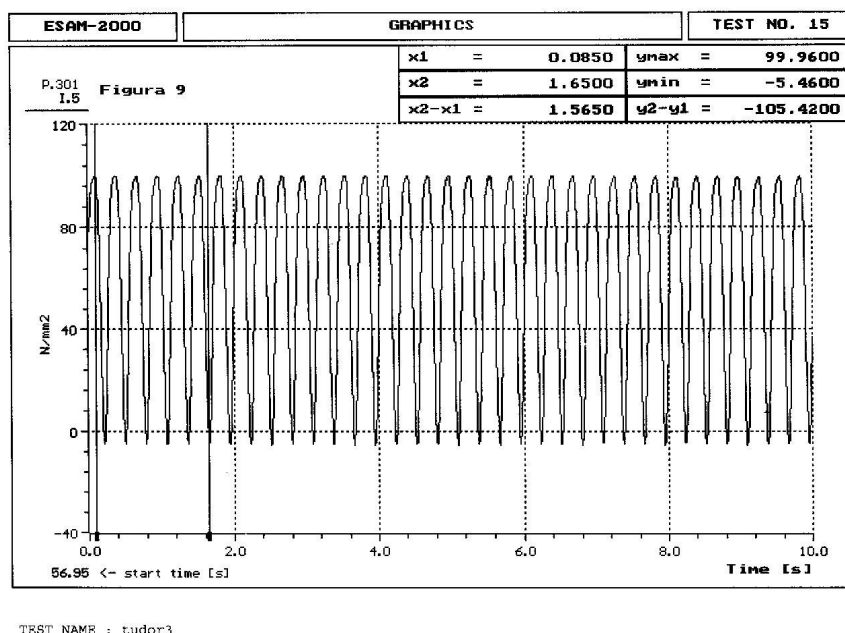


Fig. 5. Graficul de variație în timp a tensiunii mecanice maxime pentru un inel închis

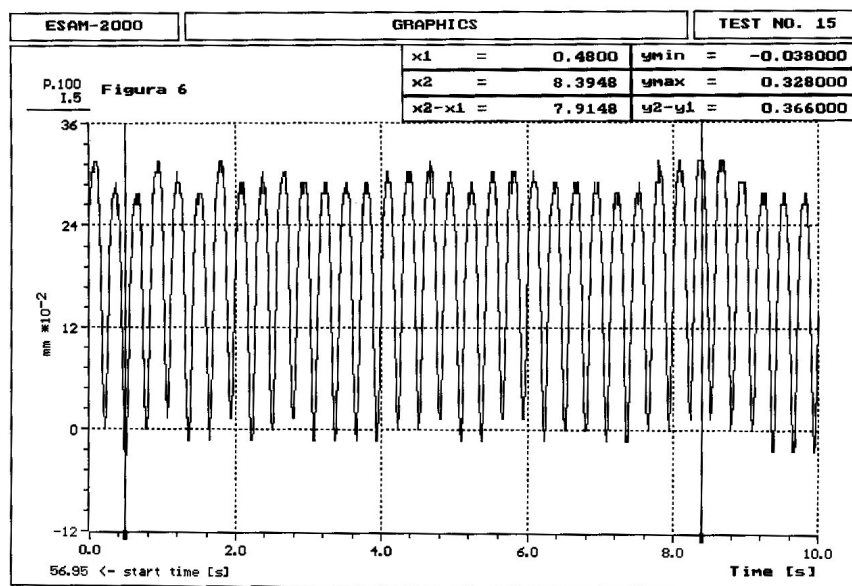


Fig. 5. Graficul de variație în timp a deplasării relative a punctelor de aplicare a forțelor

Scopul final al determinărilor experimentale a fost acela de a obține numărul maxim de cicluri de solicitare variabilă la care rezistă materialul din care se execută țevile de extracție și de a analiza influențele diferiților factori asupra numărului maxim de cicluri.

S-au realizat mai multe determinări experimentale, pe inele închise sau de tip C, prelevate din țevi de extracție dintr-un anumit material, cu anumite grade de prelucrare mecanică, imersate sau nu în diferiți agenți corosivi, cu sau fără defecte de tipul celor prezentate în figura 4, realizate în zonele de solicitare maximă.

Încercarea la oboseală efectuată pe un inel închis s-a realizat pentru o epruvetă prelevată dintr-o țeavă de extracție din oțelul specific țevelor de extracție J 55. Țeava din care s-au executat inelele a avut următoarele caracteristici dimensionale și mecanice stabilite pe trei epruvete: diametrul nominal $2\frac{7}{8}$ in; diametrul exterior $D = 78,6$ mm; grosimea de perete $h = 5,5$ mm; rezistența medie la rupere prin tracțiune $R_m = 625$ MPa; limita medie de curgere $R_{p0.2} = 352$ MPa; alungirea medie la rupere $A = 17,3$ %.

Epruvetele inel tip C au avut următoarele dimensiuni: lățimea inelului $b = 15$ mm; unghiul la centru al deschiderii decupării $\varphi = 60^\circ$; grosimea de perete cu suprafețele interioară și exterioară în stare laminată $s_l = 5,5$ mm; grosimea de perete cu suprafața exterioară strunjită $s_{es} = 5,1$ mm; grosimea de perete cu suprafața interioară strunjită $s_{is} = 5,1$ mm; grosimea de perete cu suprafețele interioară și exterioară strunjite $s_{eis} = 4,8$ mm.

Pentru inelele în stare laminată s-au efectuat încercări și cu adâncituri centrale (defecte de tipul celor prezentate în figura 5) în zona de maximă solicitare, executate prin frezare cu freză deget având adâncimea de $0,2$ mm, respectiv $0,5$ mm, cu raza de 4 mm și lungimea de 9 mm. Aceste încercări pun în evidență influența adânciturilor longitudinale rezultate prin coroziune.

Mediul corosiv folosit a fost apa de zăcământ din clasa cloruri la temperatura ambiantă.

Frecvența ciclurilor de solicitare a fost de 400 cicluri/min ($6,66$ Hz).

O parte din rezultatele încercărilor experimentale pentru inele de tip C sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Rezultatele încercărilor la oboseală în apă de zăcământ a inelelor tip C

Starea inelului	Variația tensiunii mecanice [MPa]		
	10 - 85	20 - 95	30 - 105
	Numărul de cicluri până la rupere		
Laminată	666.074	211.806	72.405
Strunjit exterior	873.348	421.583	114.615
Strunjit interior	2.380.682	1.816.658	682.014
Strunjit exterior și interior	4.886.345	3.105.387	1.214.052
Laminată, cu o adâncitură centrală având raza de 4 mm, adâncimea de 0,2 mm și lungimea de 9 mm	531.040	202.914	59.083
Laminată, cu o adâncitură centrală având raza de 4 mm, adâncimea de 0,5 mm și lungimea de 9 mm	386.751	180.311	19.312

Din datele prezentate în tabel rezultă următoarele concluzii:

- rezistența maximă la oboseală în mediu corosiv, exprimată prin numărul de cicluri de solicitare variabilă până la ruperea epruvetei, este maximă când suprafețele sunt lipsite de defectele specifice laminării la cald;
- în prezența unei adâncituri rezistența la oboseală scade considerabil ca urmare a efectului de concentrator de tensiune pe care îl prezintă;
- numărul de cicluri de solicitare variabilă scade, în toate cazurile analizate, odată cu creșterea variației tensiunii mecanice din zona de maximă solicitare;
- gradul de prelucrare mecanică, la interior sau la exterior, a țevii de extracție influențează în mod considerabil rezistența la oboseală în mediu corosiv.

Din zona fisurată a mai multor inele s-au pregătit eșantioane metalografice care au fost examinate la microscop. S-a constatat că fisura principală se dezvoltă în profunzime intercristalin și pe lângă fisura principală epruvetele mai prezintă și fisuri secundare, insuficient dezvoltate, plasate în apropierea fisurii principale sau într-o zonă mai îndepărtată, fenomen specific ruperii prin oboseală în medii corosive.

BIBLIOGRAFIE

1. Brinegar, D.W., Crews, S., T., „Using Large Drill Collars Successfully”, JPT, August, 1970
2. Popa, I. – Rezistența materialelor, Editura Universității Petrol-gaze din Ploiești, 2002,
3. Sarge, J., Stiller, E., Vogel, P., Marx, C., „Determination of Stresses and Displacements in Premium Shouldered Connection under Axial Load”, Erdöl Erdgas Khole, Heft 2 u. 3, 1986
4. Sorin Șt., „Cercetări privind creșterea durabilității prăjinilor de pompare prin ecruisare superficială, tratament termic și construcții combinate”, Teză de doctorat, Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești, 1998.
5. Tudor, I. Rîpeanu, R.G. Ingineria coroziunii. Vol. I și II. Ed. Universității din Ploiești. 2002.