

INFLUENȚA CURBURII GĂURII DE SONDĂ ASUPRA DURATEI DE VIAȚĂ A PRĂJINILOR AMPRENTATE

Lavinia Silvia STANCIU, Ioan POPA

Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești, alexstanciu@ploiesti.astral.ro

Cuvinte cheie: prăjină de foraj, amprentare, durabilitate

Abstract. This paper presents the results of the researches made by the authors for the purpose of determining an adequate methodology for finding the drill pipes durability during the drilling holes execution. As critical drill pipes zones, in the present paper they have been taken into account those from the pipes body, in the drill slips area, where the die-marks appear. The methodology which was elaborated in this work is based on the fracture mechanics principles, corresponding to the metallic machine parts stress behaviour with the aim of a critical analysis of drill pipes life in various conditions as those imposed by dog-legs (drilling holes deviations).

1. MECANISMUL DE AMPRENTARE A PRĂJINILOR DE FORAJ

În cele ce urmează, se va descrie pe scurt modul în care iau naștere discontinuitățile (ampretele) pe corpul prăjinilor de foraj. În timpul manevrelor, ansamblul de susținere a garniturii este cel care preia greutatea acesteia. Instalațiile de foraj trebuie dotate cu scule, dispozitive și aparaturi corespunzătoare dimensiunilor elementelor componente ale garniturii. Astfel, penele de foraj au rolul de prindere și suspendare temporară a prăjinilor, respectiv pașilor (alcătuiți din trei prăjini). Penele se sprijină direct în pătrații mari ai mesei rotative.



Fig.1. Pană de foraj



Fig.2. Eșantioane de prăjini amprentate

Sub acțiunea greutății proprii a garniturii, apare fenomenul de amprentare pe exteriorul prăjinilor a danturii bacurilor (cuțitelor) penelor de susținere (prezentate în figura 2.), într-o zonă cuprinsă pe aproximativ 300 mm, începând de la circa 700 mm de capătul mufă al acesteia (figura 3.).

Conform statisticilor efectuate privind ruperile de prăjină, ([3], [8]), s-a constatat că cele mai multe ruperi s-au produs din corpul acestora la distanțe cuprinse între 900 mm și 1200 mm față de capătul mufă, corespunzătoare zonei inferioare a prinderii în pene (figura 4.).

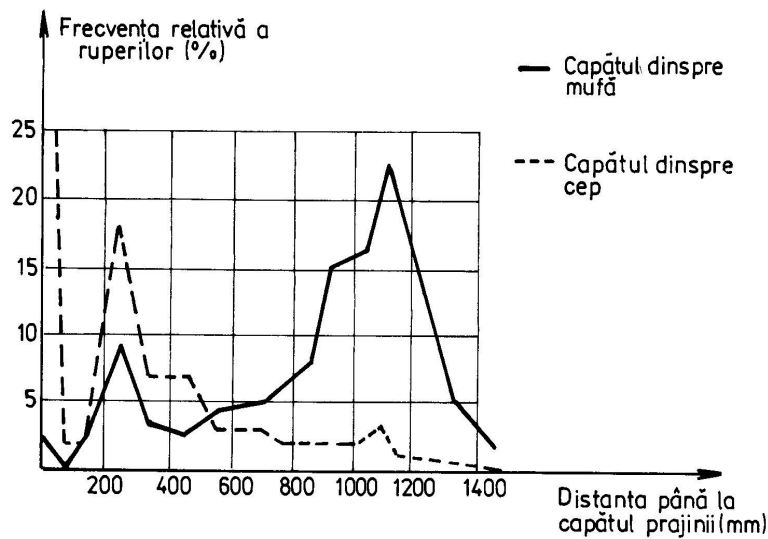


Fig.3. Zona afectată de prinderea în pene

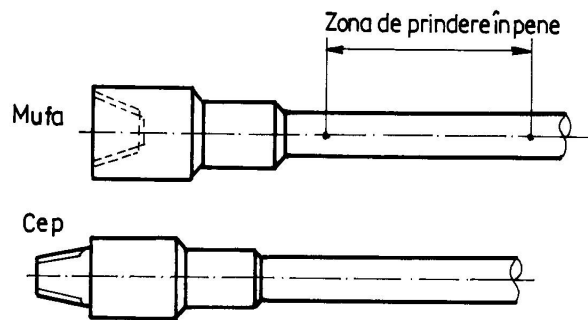


Fig.4. Frecvența ruperilor din corp a prăjinilor de foraj

Odată introduse în gaura de sondă, prăjinile afectate de acest fenomen de amprentare sunt supuse unui însemnat număr de solicitări variabile în timpul forajului, astfel încât fenomenul de oboseală al acestora poate conduce la ruperi în timpul lucrului, acest tip de avarie fiind dificil de soluționat și costisitor. Trebuie menționat că amprentarea este inevitabilă, iar inspecția tehnică periodică impusă de normativele în vigoare prin metode de control nedistructiv ([3], [9]), dă o imagine asupra amplitudinii defectului și decide încadrarea prăjinii într-o anumită clasă de uzură. Însă toate metodele convenționale de control sunt capabile să detecteze doar defectele macroscopice, astfel încât intervalele de inspecție sunt de fapt limitate și estimative, deoarece există fisuri nedetectate de acestea, formate la baza amprentelor, care se propagă în anumite condiții, precum cele provocate de existența curburilor de sondă sau de cele de coroziune.

2. MODELAREA ANALITICĂ A FENOMENULUI DE PROPAGARE A FISURII CAUZATĂ DE AMPRENTE ÎN CAZUL FORĂRII ÎN GĂURI DE SONDĂ CU DEVIERI

Modelarea analitică a acestui tip de fenomen se va face în prezenta lucrare pornind de la conceptele de bază ale mecanicii ruperii relaționate cu influențele produse de sarcinile concret aplicate, geometria amprentelor exprimată prin adâncimea de pătrundere a dinților de bac și caracteristicile de material. Relația de bază a mecanicii ruperii, care

exprima rata de creștere a vitezei de propagare a unei fisuri în dependentă de variația factorului de intensitate a tensiunilor, este:

$$\frac{d l_a}{d N} = C \cdot (\Delta K)^{m_p} \quad (1)$$

unde:

l_a este adâncimea inițială a amprentei;

N – numărul de cicluri de propagare stabilă a fisurii;

C – coeficient de solicitare la oboseală;

$$C = e^{0,02682 \cdot R_m - 52,775} \quad (2)$$

K – factorul de intensitate al tensiunilor;

m_p – exponentul de solicitare la oboseală ciclică, dat de relația:

$$m_p = 6,6 - 0,0041 R_m \quad (3)$$

Numărul de cicluri la care se produce propagarea stabilă a fisurii se calculează cu relația:

$$N = \int_{l_{ao}}^{l_{af}} \frac{d l_a}{C_p \cdot (\Delta K)^{m_p}} \quad (4)$$

în care:

l_{af} este adâncimea finală a fisurii, egală cu grosimea de perete a prăjinii de foraj,

în mm ;

l_{ao} – adâncimea inițială a amprentei, în mm .

În funcție de geometria defectului, adâncimea acestuia și variația ciclică a tensiunii, $\Delta\sigma$, ΔK este descris în literatura de specialitate ([1], [6]) de ecuația:

$$\Delta K = \Delta\sigma \sqrt{\frac{\pi l_a}{Q}} \cdot Y \quad (5)$$

În relația (5), $\Delta\sigma$ este variația ciclică a tensiunii, în N/mm^2 :

$$\Delta\sigma = 1,215 \sigma_n \cdot \frac{D - 2l_a}{D} + 0,439 \sigma_n \cdot \frac{2l_a}{D} \quad (6)$$

conform lucrării [1], în care :

σ_n este tensiunea nominală în zona cu defect, în N/mm ;

D – diametrul exterior al prăjinii, în mm .

Tensiunea nominală σ_n se poate exprima în funcție de greutatea de sub secțiunea considerată cu amprente și de solicitarea la încovoiere cauzată de curbura sondei sub forma:

$$\sigma_n = \frac{G_{pf}}{A} + \frac{EDc l_1 \cdot \sqrt{\frac{G_{pf}}{EI}}}{2 \cdot th \left(l_1 \cdot \sqrt{\frac{G_{pf}}{EI}} \right)} \quad (7)$$

unde:

$G_{pf} = \gamma \cdot l \cdot A$ este greutatea garniturii de prăjini de γ sub secțiunea considerată, în N (γ - greutatea specifică a oțelului, în N/mm^3 ; l - lungimea garniturii sub secțiunea respectivă, în mm ; A - aria transversală a prăjinii, în mm^2);

c - curbura sondei, în rad/mm ;

l_1 - jumătate din lungimea prăjinii între racorduri, în mm ;

I - momentul de inerție geometric al secțiunii prăjinii, în mm^4 ;

A - aria transversală a prăjinii, în mm^2 .

În relația (5), Q este factorul de formă al fisurii, dat de relația lui Newman [4]:

$$Q = 1 + 4,595 \cdot \left(\frac{0,4}{1 + \frac{2,54}{l_a}} \right)^{1,64} \quad (8).$$

De asemenea, Y este un factor de corecție geometrică pentru garnitura de prăjini supusă solicitărilor de încovoiere ciclică, care ține cont de diferența dintre adâncimea fisurii de suprafață și cea a fisurii pătrunse [5]:

$$Y = 1,215 \cdot \left[1 - 1,217 \cdot \frac{l_a}{D} \right] \quad (9)$$

3. REZULTATE EXPERIMENTALE ȘI INTERPRETAREA ACESTORA PRIN PRISMA DURABILITĂȚII PRĂJINILOR

Pentru a trage o concluzie privitoare la răspunsul în deformații al prăjinilor supuse acțiunii bacurilor penelor, s-a realizat amprentarea prăjinii de $3 \frac{1}{2}$ °, grad 105 (cu rezistența la rupere $R_m = (790...950) N/mm^2$) în funcție de forța normală. Este evident că forțelor normale mai mari le corespund greutateți mai mari ale garniturii. În figura 5 este reprezentată dependența dintre adâncimea de amprentare și sarcinile normale din partea bacurilor, iar în tabelul 1 sunt arătate datele experimentale obținute.

Tab. 1. Rezultate experimentale obținute urma amprentării eșantioanelor

Forța de amprentare [kN]	Greutatea corespunzătoare a garniturii [kN]	Adâncime amprentă [μm]
40	27.6	64.96
80	55.2	91.74
120	82.8	147.03
160	110.4	251.15
200	138	264.39
240	165.6	271.71
280	193.2	280.35

Pentru exemplificare modalității de obținere a numărului de cicluri până la propagarea stabilă a fisurii, N , s-a ales un exemplu de lucru pentru prăjina de $3\frac{1}{2}$ " , grad 105, având $R_m=900\text{ N/mm}^2$, $E=210000\text{ N/mm}^2$, grosime de perete de 11,4 mm, diametrul exterior $D=88,9\text{ mm}$, jumătatea lungimii prăjinii între racorduri $l_1=4514\text{ mm}$, greutate specifică $\gamma=8,3\cdot 10^{-5}\text{ N/mm}^2$, lungimea garniturii sub secțiunea considerată, l , variind între 1000 și 3000m, valoarea adâncimii inițiale a amprentei $\ell_{ao}=0,147\text{ mm}$. Pentru o astfel de situație s-au realizat curbele $N=f(l)$. S-au analizat diferite situații de lucru, în găuri cu diferite devieri, începând de la o curbura mică, de $1^\circ/30\text{ m}$ și terminând cu una severă, de $10^\circ/30\text{ m}$. Pentru comparație, s-au realizat aceleași curbe, pentru exact aceeași prăjină, având o amprentă inițială $\ell_{ao}=0,28\text{ mm}$. În figurile 6 și 7 sunt prezentate graficele acestor rezultate.

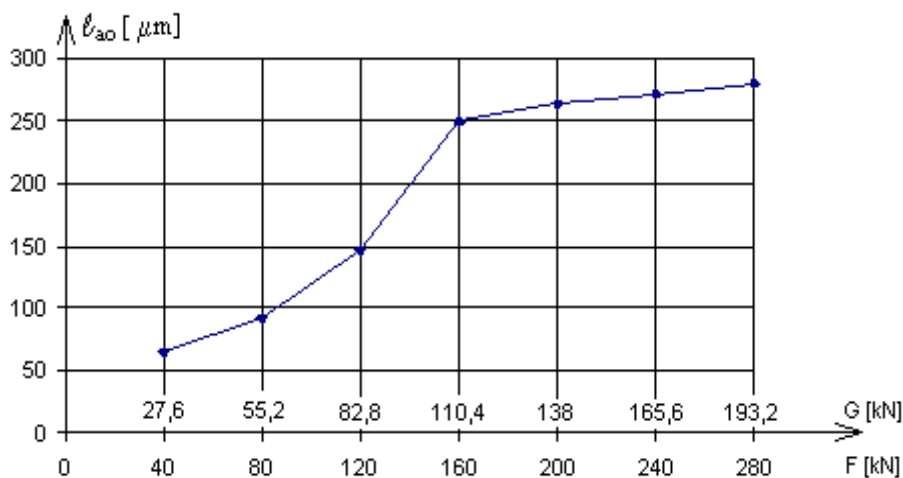


Fig. 5. Dependenta experimentală obținută între greutatea garniturii (forța de apăsare a bacurilor) și adâncimea amprentei

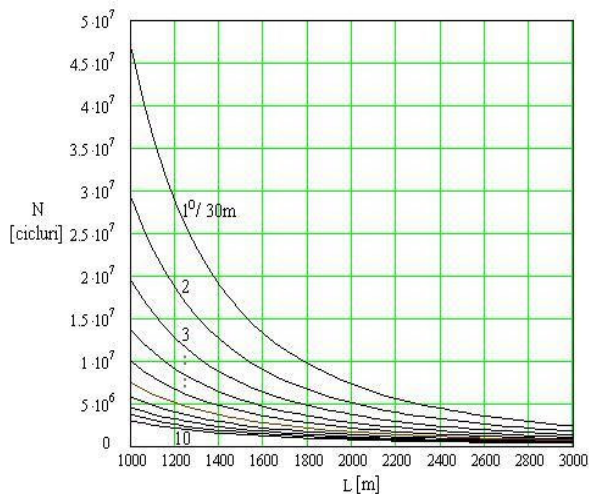


Fig. 6. Numărul de cicluri până la rupere pentru prăjina de $3\frac{1}{2}$ "X11,4mm, $\ell_{ao}=0,147\text{ mm}$

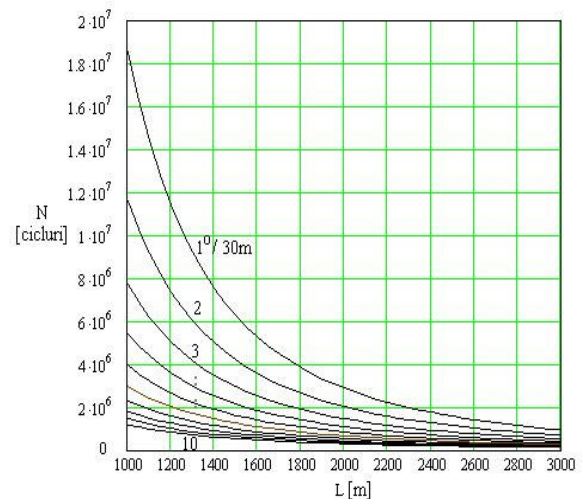


Fig. 7. Numărul de cicluri până la rupere pentru prăjina de $3\frac{1}{2}$ "X11,4mm, $\ell_{ao}=0,28\text{ mm}$

4. CONCLUZII

Din analiza rezultatelor obținute, s-a observat că, de exemplu, pentru o deviere de $1^\circ / 30 \text{ m}$ și la un rest de lungime a garniturii sub secțiunea considerată a prăjinii amprentate pe o adâncime de $0,147 \text{ mm}$, numărul de cicluri până la rupere este de $1,019 \cdot 10^7$ cicluri, iar pentru cea cu amprentă de $0,28 \text{ mm}$ este de $3,987 \cdot 10^6$ cicluri, ceea ce înseamnă o scădere drastică a durabilității de 60%. Pentru o lungime și mai mare a garniturii sub secțiunea considerată, și anume de 3000 m , numărul de cicluri până la rupere este, în primul caz, de $2,57 \cdot 10^6$, iar în al doilea de $0,941 \cdot 10^6$ cicluri, ceea ce înseamnă o scădere de 64% a durabilității. Pentru o curbura mai puternică, de $10^\circ / 30 \text{ m}$, pentru primul caz a rezultat un număr de $3,248 \cdot 10^5$ cicluri, iar pentru al doilea de $1,297 \cdot 10^5$, ceea ce reflectă severa descreștere în valoare absolută a durabilității în ambele variante. De aceea, un control nedistructiv efectuat în timp util, pentru o configurație cunoscută a găurii de sondă unde prăjinile urmează să lucreze, poate preveni deteriorarea acestora și, în mod evident, avarierea garniturii, cu scăderea costurilor pentru săparea unei sonde.

BIBLIOGRAFIE

1. Dale, B.A.- Inspection Interval Guidelines To Reduce Drillstring Failures, SPE Drillstring Engineering, Sept. 1989.
2. Hamid Krimat, Shibu John- Al Mansoori Specialized Engineering LLC, Abu Dhabi: Drill String Inspection – The Dilemma between. Oil Operating Companies, 2). Drilling Contractors and 3). Tubular Inspection Companies, The 3-rd MENDT- Middle East Nondestructive Testing Conference and Exhibition, 27-30 Nov 2005, Bahrain.
3. Lari, I., Vasilescu, D.- Sinteza de date asupra tipodimensiunilor și caracteristicilor mecanice și fizice ale elementelor garniturii de foraj, Ministerul Petrolului, 1984.
4. Newman, J. R. Jr., Raju, I. S.- An Empirical Stress- Intensity Factor Equation for Surface Crack, Engineering Fracture Mechanics, 1981, Nr. 1-2.
5. Polk, C. J. Ș.a.- Determining Fatigue Crack Propagation Rates in Lubricating Environments Through the Application of a Fracture Mechanics Technique, Trans. ASLE, 1974, Nr. 4.
6. Rahman, M. K., Hossain, M. M. And Rahman, S. S.- Survival Assessment of Die-Marked Drill Pipes: Integrated Static and Fatigue Analysis, Journal of Engineering Failure Analysis, Vol. 6 (5), 1999.
7. Vaisberg, O., Vincke, O.- Fatigue of Drill String: State of Art, Oil and Gas Science and Technology, Rev. I.F.P., Vol. 57 (2002), Editions Technip.
8. Stanciu, L. S.- Analiza stărilor de tensiuni și a durabilității prăjinilor de foraj la prinderea în pene, Teză de doctorat, Ploiești, 2003.
9. ***- Metode de control nedistructiv,. Examinări nedistructive, SR ISO 3059:1993.