

ASPECTE PRIVIND CALCULUL SISTEMELOR DE CONDUCTE
LA ACTIUNEA SIMULTANA A OBOSELII OLIGOCICLICE
SI A FLUAJULUI

prof. univ. dr. ing. Nicolae GRIGORE
sef lucr. dr. ing. Ion FLOREA
sef lucr. dr. ing. Adrian CREITARU
Universitatea „PETROL-GAZE” din Ploiesti

Abstract : The paperwork describes the actual method of evaluation for running duration of pipes under the influence of duration of pipes under the influence of concomitant creep and oligocyclic fatigue.

Sistemele de conducte din instalatiile industriale sunt supuse în multe cazuri actiunii concomitente a fluajului si a oboselii provenite din exapansiunea - contractia termica (oboseala oligociclica).

Tensiunile care se iau în considerare sunt atât tensiunile secundare (care provin din expansiunea – contractia termica si care se autolimiteaza) cât si tensiunile primare (cele din actiunea presiunii si greutatii si care nu se autolimiteaza).

Modalitatea de a considera actiunea stimulanta a oboselii oligociclice si a fluajului este aceea de a estima fractiunea de viata (factorul de uzura) consumata de oboseala oligociclica $q_?$ si fractiunea de viata (factorul de uzura) consumata de fluaj q_f . Se foloseste în acest scop principiul degradarii cumulative liniare PLM (Palmer, Langer, Minner) si se pune conditia :

$$q_? + q_f = 1 \quad (1)$$

1. Consideratii generale

Notarea tensiunilor la actiunea simultana a oboselii oligociclice si a fluajului este cea prezentata în figura 1.

Notarea tensiunilor provenite din presiune poarta indicele p, adica s_{xp} si $s_{?p}$, iar nivelul tensiunilor din greutate indicele g, adica s_{xg} si t_{xqg} . Intervalul tensiunilor provenite din expansiune - contractie este afectat de indicele Δ , notat ca exponent (s_x^Δ si s_{xq}^Δ).

Conform figurii 1 starea de tensiune este plana si în aceste conditii intensitatea tensiunilor (von Mises) conform teoriei energiei de deviatie capata forma :

$$s_i = \sqrt{s_x^2 + s_?^2 - s_x s_? + 3 \frac{s_x^2}{x^2}} \quad (2)$$

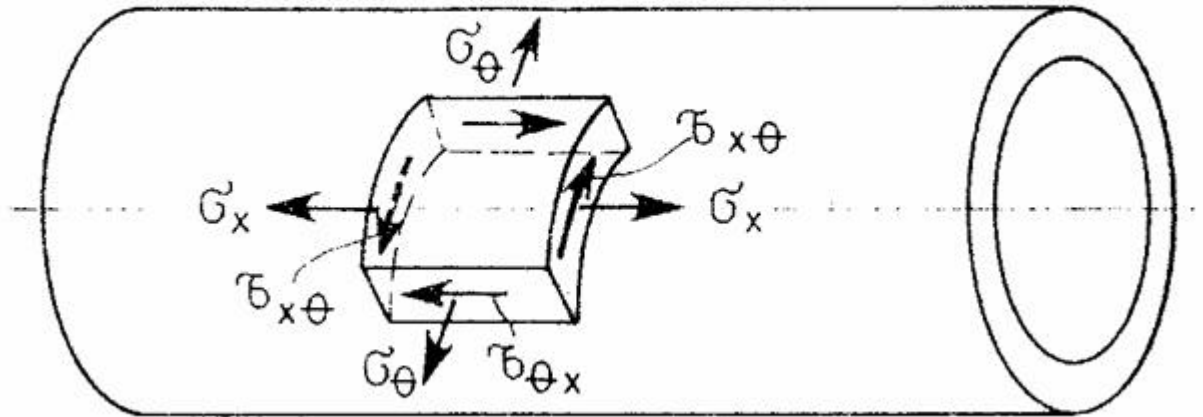


Fig. 1

Astfel intensitatea nivelului tensiunilor primare provenite din presiune, pentru tuburi subtiri ($t/D_0 \leq 0,1$) la care $s_{\theta p} = 2 s_{xp}$, este :

$$s_{ip} = \sqrt{s_{xp}^2 + s_{\theta p}^2 - s_{xp} s_{\theta p}} = \sqrt{3} \cdot s_{xp} \quad (3)$$

Intensitatea tensiunilor primare provenite din greutate, întrucât $s_{qg} = 0$, aplicând (2) este :

$$s_{ig} = \sqrt{s_{xg}^2 + 3t_{x\theta}^2} \quad (4)$$

Intensitatea intervalului tensiunilor secundare provenite din expansiunea – contractia termica, întrucât $s_{\theta}^? = 0$, este :

$$s_i^? = \sqrt{(s_x^?)^2 + 3(t_{x\theta}^?)^2} \quad (5)$$

Intensitatea tuturor tensiunilor primare s_{ipr} este :

$$s_{ipr} = \sqrt{s_{ig}^2 + s_{ip}^2} \quad (6)$$

Relatia (2) permite analiza cantitativa a fenomenelor de oboseala oligociclica si a fenomenelor de fluaj ca si cum fiecare ar actiona singure, legatura dintre ele efectuându-se prin aceasta relatie.

Dupa cum se cunoaste, fluajul poate fi stationar si nestationar. La sistemele de conducte, datorita fenomenelor de coroziune, intensitatea tensiunilor primare σ_{ipr} creste în timp, tensiunile care produc fluajul nu ramân constante în timp si deci fluajul este nestationar.

Cum problemele fluajului nestationar sunt foarte complicate, acestea se reduc la o problema de fluaj stationar, utilizând echivalarea stailor de degradare si stabilind pe aceasta cale o grosime conventionala a peretelui conductei t_m . Se obtine astfel din punctul de vedere al preciziei ingineresti de calcul acelasi rezultat ca si în cazul fluajului nestationar.

2. Calculul sistemelor de conducte la actiunea simultana a fluajului si a oboselii oligociclice

Degradarile datorita fenomenului de fluaj se evidentiaza prin doi parametrii : deformatia specifica si durata de viata.

Prescriptia tehnica ISCIR C29 – 82 prevede pentru urmarirea fluajului montarea unor repere de control, parametrul controlat fiind deformatia specifica. Aceasta metoda prezinta urmatoarele dezavantaje :

- deformatia specifica urmarita este produsa de actiunea tensiunilor primare provenite din presiune; efectul actiunii tensiunilor primare provenite din greutate nu este prins de metoda ;
- metoda ISCIR nu ia în considerare fenomenul de intensificare a tensiunilor (deformatiilor) în discontinuitatile structurale mari sau mici ;
- metoda nu poate lua în considerare efectul ciclurilor din expansiune, contractie termica, efect ce accentueaza procesul de degradare.

Urmarirea deformatiei specifice, desi în constructia de masini este deosebit de importanta, nu este complet edificatoare în cazul sistemelor de conducte [1].

Trebuie, de asemenea, mentionat ca montarea reperelor de control, dupa punerea în functiune a sistemelor de conducte, este ineficienta deoarece perioada fluajului nestabilizat a fost parcursa si deformatiile specifice acestei perioade (deformatii ce pot avea valori relativ mari) nu mai pot fi evidentiate. Dezavantajele semnalate sunt eliminate în cazul în care parametrul controlat este durata de viata. Aceasta constatare face necesar ca în domeniul sistemelor de conducte supuse fluajului, proiectarea si urmarirea sa se execute controlând durata de viata.

Asezând la baza calculului si a urmaririi fluajului durata de viata, se rezolva problema actiunii simultane a oboselii oligociclice si a fluajului.

La calculul sistemului de conducte la ciclurile de expansiune – contractie termica se stabileste un numar echivalent de cicluri N_{ef} , corespunzator unei date efective de viata H_{ef} ore.

În conditii de fluaj se determina o durata de viata t_d cu care se poate compara H_{ef} , luând în considerare momentul punerii în functiune a sistemelor de conducte.

La efectuarea calcului la fluaj si oboseala oligociclica sunt posibile urmatoarele situatii:

a. Grosimea peretelui conductei este data si se cunoaste durata de viata la oboseala oligociclica H_{ef} , fara a mai urmari egalitatea lui H_{ef} cu t_d , fiind posibile variantele :

– se determina durata de viata la fluaj t_d , durata care în general este mai mica decât H_{ef} ;

– se continua iterativ calculul mentionat mai sus pâna la realizarea egalitatii $t_d = H_{ef}$.

b. Grosimea peretelui conductei nu este cunoscuta ; se cunoaste durata de viata comuna la oboseala oligociclica si fluaj $H_{ef} = t_d$; se determina grosimea peretelui conductei, grosime ce asigura egalitatea mentionata.

c. Calculul de prelungire a vietii conductei pe baza încercarilor de laborator.

În algoritmul elaborat parametrul controlat este durata de viata atât la fluaj cât si la oboseala oligociclica. Datele experimentale pentru calculul la fluaj se obtin pe masini de încercat la fluaj de tip ZSE 2/3 sau se folosesc diagrame de fluaj conform lucrarii [2].

În calculul sistemelor de conducte supuse expansiunii termice se accepta criteriul de degradare cumulativa liniar (PLM).

Conform acestui criteriu starile de degradare S_{ij} si S_{oj} provocate de solicitarea s_i pe o durata de n_{ij} cicluri si respectiv solicitarea s_o pe o durata de n_{oj}^e cicluri sunt echivalente daca se îndeplineste conditia :

$$\frac{n_{ij}}{N_i} = \frac{n_{oj}^e}{N_o}, \quad (7)$$

unde N_i este numarul de cicluri maxime (durabilitatea) la solicitarea cu amplitudine constanta s_i ; N_o este numarul de cicluri maxim (durabilitatea) la solicitarea cu amplitudine constanta s_o .

Rapoartele (7) definesc masuri ale degradarii :

$$d_{oj} = \frac{n_{oj}^e}{N_o}; \quad d_{ij} = \frac{n_{ij}}{N_i} \quad (8)$$

la solicitari cu amplitudine s_o respectiv s_i .

Daca solicitarea la nivelul constant al amplitudinii se petrece în j secvente de la 1 la n, degradarea la acest nivel va fi :

$$\frac{\sum_{j=1}^n n_{ij}}{N_i} = \frac{n_i}{N_i}. \quad (9)$$

În cazul solicitarii pâna la rupere se obtine :

$$\frac{\sum_{j=1}^n n_i}{N_i} = \frac{\sum n_o^e}{N_o} = \frac{N_o}{N_o} = 1. \quad (10)$$

Forma generala a relatiei între intervalul efectiv al tensiunilor datorita expansiunii sau contractiei termice $s_{E?}$ si numarul de cicluri termice efective ale conductei analizate N_E este de forma :

$$\frac{i \cdot s_{E?}}{2} = m \cdot N_E^{-n}, \quad (11)$$

unde m, n sunt coeficienti care depind de calitatea materialului conductei iar i este factorul de intensificare a tensiunilor [1].

Relatia (11) se poate scrie sub forma generala :

$$s = m \cdot N^{-n}. \quad (12)$$

Cum ΔT joaca rolul unui factor de încărcare se poate scrie :

$$\frac{s_i}{s_E} = \frac{?T_i}{?T_E}. \quad (13)$$

Expresia intensitatii admisibile a intervalelor tensiunilor provenite din expansiunea – contractia termica este [1] :

$$s_{iA} = \left(\frac{7300}{N_{ef}} \right)^n \cdot [1,25 \cdot s_{ar} + 0,25 \cdot s_{ac}], \quad (14)$$

Unde se considera $n = 0,2$, iar N_{ef} este un numar de cicluri echivalent.

În conditiile în care în timpul vietii sistemului de conducte diferentele de temperatura ΔT_j , pot fi diferite de la ciclu la ciclu si intensitatea tensiunilor ce corespunde acestor diferente, $s_i^{\Delta_j}$, va diferi, asadar si degradarea va diferi.

În aceste circumstante se alege diferenta maxima ΔT_e si numarul de cicluri echivalente se obtine cu expresia :

$$N_{ef} = n_1 \cdot \left(\frac{? T_1}{? T_E} \right)^{1/n} + n_2 \cdot \left(\frac{? T_2}{? T_E} \right)^{1/n} + \dots + n_n \cdot \left(\frac{? T_n}{? T_E} \right)^{1/n}, \quad (15)$$

care pentru $n = 0,2$ (valoare unanim acceptata în reglementarile de larga circulatie internationala) devine :

$$N_{ef} = n_1 \cdot \left(\frac{? T_1}{? T_E} \right)^5 + n_2 \cdot \left(\frac{? T_2}{? T_E} \right)^5 + \dots + n_n \cdot \left(\frac{? T_n}{? T_E} \right)^5. \quad (15')$$

Se precizeaza ca dupa N_{ef} cicluri care se produc în intervalul s_{iA} , durata de viata la oboseala oligociclica se considera epuizata. Acestor N_{ef} cicluri le corespunde o durata de viata în ore H_{ef} .

Fractia de viata consumata de ciclurile provenite din expansiunea – contractia termica se poate scrie sub forma :

$$q_? = \left(\frac{s_i^?}{s_{iA}} \right)^{1/n}, \quad (16)$$

care pentru $n = 0,2$ devine :

$$q_? = \left(\frac{s_i^?}{s_{iA}} \right)^5. \quad (16')$$

Daca intensitatea intervalelor efective ale tensiunilor $s_i^?$ este egala cu s_{iA} , valoarea q_{Δ} devine 1 (relatia 16') si deci, pentru N_{ef} cicluri, durata de viata este epuizata numai de oboseala oligociclica.

Pentru a exista rezerve disponibile pentru fluaj trebuie ca :

$$s_i^? \leq s_{iA}, \quad (17)$$

si rezulta :

$$q_? \leq 1. \quad (18)$$

În aceste conditii se obtine din (1) :

$$q_{ef} = 1 - q_?,$$

unde q_{ef} este fractiunea de viata disponibila pentru fluaj.

Pentru stabilirea duratei de viata, pentru sistemele de conducte supuse fenomenului de fluaj se utilizeaza relatii de forma :

$$t_r = m \cdot s_{ipr}^{-n_1}, \quad (19)$$

în care :

t_r este durata de viata ;

m si n_1 – coeficienti care depind de material, respectiv de temperatura (fig. 2).

Prin aplicarea relatiei (19) corespunzator celor doua stari de tensiuni s_{ipr1} si s_{ipr2} la aceeasi temperatura se obtine :

$$t_1 s_{ipr1}^{n_1} = t_2 s_{ipr2}^{n_1} = \text{const.}, \quad (20)$$

si prin logaritmare rezulta :

$$n_1 = \lg \frac{t_2}{t_1} / \lg \frac{s_{ipr1}}{s_{ipr2}}. \quad (21)$$

Se utilizeaza în continuare parametrul Larson-Miller sub forma :

$$P_{LM} = (T_d^{\circ}C + 273)(C + \lg t_d), \quad (22)$$

unde T_d este temperatura de proiectare în $^{\circ}C$;

t_d - durata prevazuta în proiectare pentru fluaj ;

C – parametru care depinde de material.

Pentru otelurile feritice, $C = 15$, iar pentru cele austenitice, $C = 20$. În diagramele de fluaj din API RP 530, valoarea lui C este mentionata pentru fiecare otel, în expresia parametrului Larson – Miller din partea din dreapta de sus a fiecărei diagrame.

Pentru a permite determinarea rezistentei admisibile la rupere, pentru durata de viata, alta decât 100.000 ore, curbele de fluaj leaga parametrul Larson – Miller de tensiunea din sistem. Aceste curbe sunt obtinute din rezistenta de rupere medie si minima la fluaj dupa 100.000 de ore de functionare si pot fi utilizate pentru estimarea rezistentei admisibile la rupere pentru durate de viata între 20.000 ore si 200.000 ore.

Se atrage atentia ca în diagrame se citeste $P_{LM} / 1000$, deci valoarea citita se multiplica cu 1000.

Cunoscând intensitatea tensiunilor primare, se intra pe scara din dreapta diagramei, se merge pâna la a doua curba din dreapta, din punctul obtinut se ridica o verticala si se citeste valoarea parametrului Larson – Miller.

Timpul de proiectare obtinut ca si cum fluajul ar actiona singur se noteaza cu t'_d

Daca se cunoaste fractia de viata disponibila pentru fluaj q_f si durata efectiva de viata la fluaj în conditiile actiunii simultane ale fluajului si oboselii oligociclice t_d se obtine :

$$t'_d = t_d / q_f, \quad (23)$$

astfel ca relatia (22) devine :

$$P_{LM} = (T_d + 273)(C + \log t'_d). \quad (24)$$

Durata de proiectare t'_d se obtine din (24) de forma :

$$t'_d = 10^{\frac{P_{LM}}{T_d+273} - C}, \quad [\text{ore}] \quad (25)$$

fiind evident ca pentru actiunea simultana, fluaj si oboseala, durata de viata este :

$$t_d = t'_d \cdot q_f. \quad (26)$$

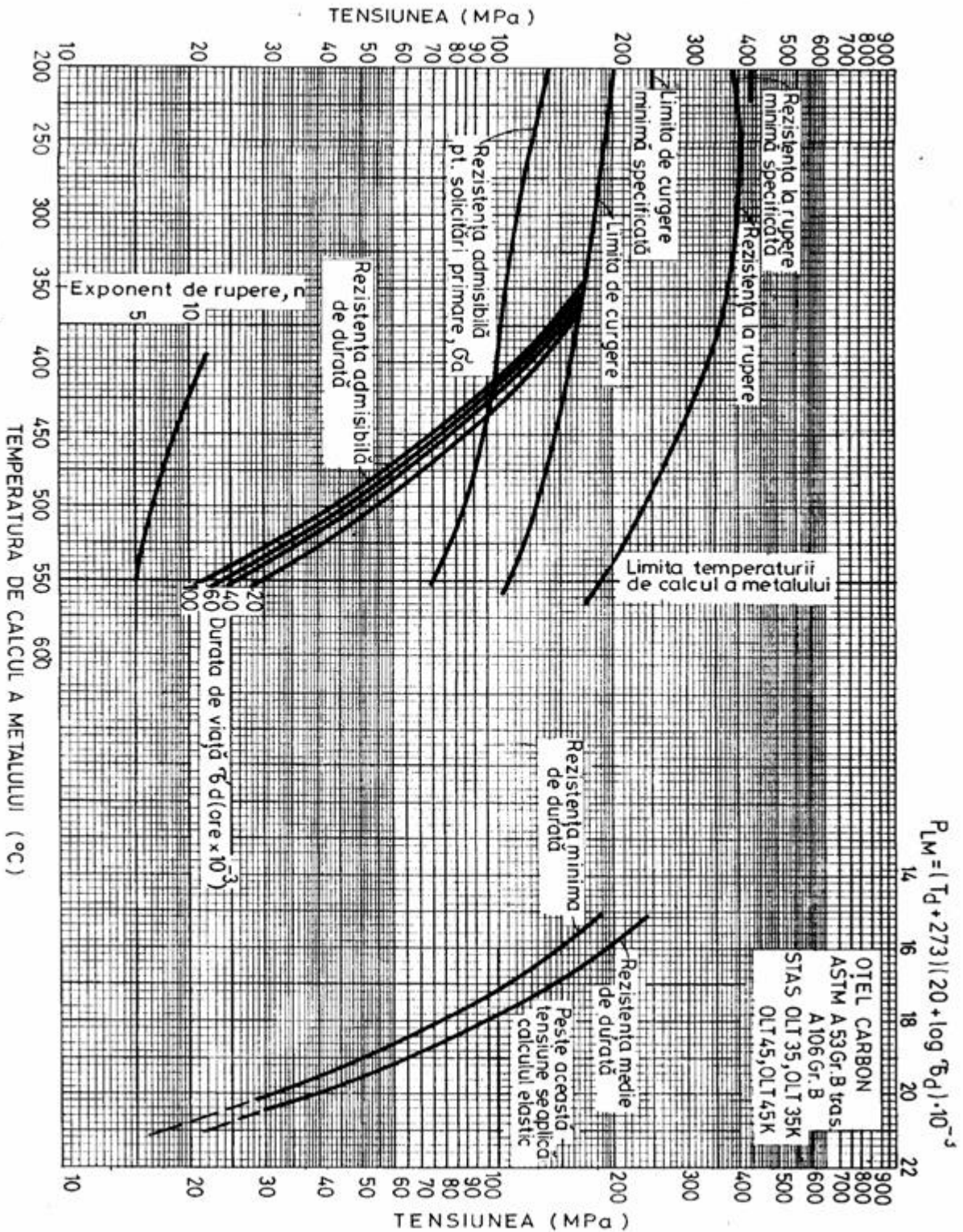


Fig. 2

Daca pentru temperatura T_d , se cunosc (din literatura de specialitate sau în baza unor încercari experimentale la fluaj pe tronsoane de teava – uzate sau noi) – datele din relatia de echivalare a starilor de degradare (21), atunci, dupa determinarea exponentului n_1 se poate scrie :

$$t_1 s_{ipr1}^{n_1} = t'_d s_{ipr}^{n_1}, \quad (27)$$

în care s_{ipr} este intensitatea tensiunilor primare din sistemul considerat. Se obtine durata de viata de proiectare sau durata de viata ramasa t'_d (dupa cum cuponul era nou sau utilizat deja într-un sistem de conducte) ca si cum fluajul ar actiona singur :

$$t'_d = t_1 \left(\frac{s_{ipr1}}{s_{ipr}} \right)^{n_1}. \quad (28)$$

Daca se introduce si coeficientul de siguranta la fluaj c_f cu valori între 1,1 si 1,3, relatia (28) capata forma :

$$t'_d = t_1 \left(\frac{s_{ipr1}}{c_f \cdot s_{ipr1}} \right)^{n_1}. \quad (29)$$

În cazul prelungirii duratei de viata, t'_d are ca reper momentul decuparii cuponului de teava.

Bibliografie

1. Posea, N., Anghel, Al., Grigore, N., Mincu, V. – „*Statica si dinamica sistemelor de conducte*” *Verificari de rezistenta, fluaj, durabilitate*”, Editura Academiei Române, Bucuresti, 1996.
2. * * * API. RP530. API recomanded practice calculation of heater tube thicknes in petroleum refineries, May, 1978.