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

MODULUL DE ELASTICITATE A OŢELULUI DIN STRUCTURILE METALICE INDUSTRIALE EXISTENTE

Gelu OPRIŞA, Adela Diana BERDIE

THE COEFFICENT OF STEEL ELASTICITY OF THE EXISTING INDUSTRIAL STEEL STRUCTURES

Existing industrial steel structures, and especially those we use in the steel industry, for whom the normal operation age is approaching completion, are affected by the phenomena of hardening and aging of steel. Depending on the size tension (unit stress) and the period of running, this paper is intended to adopt a different coefficient of longitudinal elasticity corresponding to components of the resistance structure.

Cuvinte cheie: ecruisaj, îmbătrânire, modul de elasticitate, tensiuni, valoare
Keywords: ecruisaj, aging, elasticity module, tension, value

1. Generalităţi

Halele metalice din industria siderurgică fac parte din categoria halelor de tip greu cu deschideri și înălțimi foarte mari în care se desfăşoară procese tehnologice de mare amploare. Utilajele și instalaţiile acestora au gabarite mari şi sunt deservite de poduri rulante cu capacitatea de ridicare mai mari de 1250 kN, în regim de funcţionare foarte greu şi foarte greu continuu. Comportarea acestor hale este prezentată detaliat în lucrarea [1]. Siderurgia prin multiplele și diversele procese tehnologice ce implică solicitări mult sporite, prin efectul

accentuat al coroziunii atmosferice, a creşterii capacităţii de producţie, al variaţiei temperaturii tehnologice şi a regimului greu şi foarte greu de exploatare conduc la apariţia fenomenelor de ecruisare şi îmbătrânire a oțelului din structura metalică de rezistenţă.

Exploatarea halelor din siderurgie în regim complet de solicitare impune cu aceiaşi importanţă „profilaxia" lor ştiut fiind faptul că „terapeutica" lor este foarte costisitoare. Se impune analiza comportării acestor hale la:

a.) coroziunea atmosferică deoarece aceasta influenţează direct capacitatea portantă, durabilitatea şi siguranţa structurii metalice de rezistenţă prin modificarea dimensiunilor geometrice a secţiunii transversale (diminuarea lor) şi a îmbinărilor acestora;

b.) acţiunii dinamice şi şocuri generate de utilaje în procesul de producţie ce cauzează o degradare rapidă a unor elemente componente structurii de rezistenţă urmată de o rapidă propagare cu compromiterea întregii structuri;

c.) variaţia de temperatură tehnologică, cu repetabilitate, ce produce asupra elementelor componente structurii metalice de rezistenţă diminuări a rezistenţei oţelului şi a valorii modulului de elasticitate;

d.) modificări de tehnologie impuse de dezvoltarea producţiei care induc asupra structurii metalice/sau a unor elemente componente un regim sporit de solicitare, fiind necesare lucrări ample de consolidare/recondiţionare.

Depăşirea limitei de comportare elastică a materialului metalic din structurile de rezistenţă sau din elementele componente este determinată de o multitudine de factori, dintre care cei mai importanţi sunt:

- depăşirea în cursul exploatării structurii a valorilor încărcărilor;
- imperfecţiuni de execuţie;
- cedări de reazeme;
- variaţii de temperatură;
- încărcări dinamice ce nu au fost considerate la proiectarea structurii;
- concentrări de eforturi în secţiunile de îmbinare a elementelor componente ale structurii de rezistenţă;
- subdimensionarea unor elemente de rezistență etc.

Prin încărcări repetate care induc în elementele componente ale structurii metalice de rezistenţă tensiuni (eforturi unitare) ce depășesc limita de curgere a oţelului, la dispariţia acestora se produc deformaţii

remanente. Prin fenomenul de ecruisare limita de proporţionalitate se ridică până la valoarea tensiunii din domeniul plastic la care s-a produs descărcarea anterioară, alungirea la rupere scade cu valoarea deformaţiei remanente de la ultima descărcare. Prin ecruisare se ridică limita de elasticitate, de curgere, rezistenţa la rupere prin întindere şi se micşorează domeniul deformaţiilor plastice, scade rezilienţa astfel încât oţelul devine mai fragil.

Fenomenul de îmbătrânire a oţelului are ca efect diminuarea calităţii acestuia cu timpul (de la câteva zile la zeci de ani). Este favorizat de existenţa unor suprasolicitări în elementele componente structurii de rezistenţă, încărcări repetate, deformaţii plastice la rece sau variaţii de temperatură. Se caracterizează prin creşterea domeniului elastic şi micşorarea domeniului plastic din diagrama σ-ε a oţelului manifestate prin creşterea fragilităţii, a limitei de curgere, a rezistenţei la rupere şi micşorarea alungirii şi a rezilienţei.

În cadrul elementelor componente structurii de rezistenţă a halelor industriale din siderurgie cele două fenomene apar în general, concomitent.

2. Stabilirea gradului de degradare structurală şi mecanică

Are ca scop evaluarea calităţii actuale a oţelului din elementele componente ale structurii metalice de rezistenţă raportată la caracteristicile structurale şi mecanice impuse de normele tehnice din perioada proiectării structurii.

Evaluarea fenomenului de îmbătrânire a oţelului va putea caracteriza nivelul rezistenţei la încovoiere prin şoc şi implicit la stabilirea riscului de rupere fragilă.

Un exemplu detaliat este prezentat în lucrarea [2].

Stabilirea gradului de degradare structurală şi mecanică presupune prelevarea de probe din elementele structurii metalice de rezistenţă de către o societate acreditată în domeniul încercării materialelor, pentru:

a.) determinarea compoziției chimice actuale şi compararea cu compoziţia chimică din norma mărcii de oţel din momentul proiectării structurii;

b.) determinarea caracteristicilor structurale ale oţelului prin:

1) examinări macroscopice (conform EN 1321-2000) în vederea evidenţierii defectelor pe suprafeţele interioare-exterioare cât şi pe grosimea profilelor;

2) examinări microscopice pe grosimea profilelor în vederea determinării incluziunilor nemetalice atât în secţiunea transversală cât şi în secţiunea longitudinală;

c.) determinarea caracteristicilor mecanice de scurtă durată:

1) determinarea durităţii HV10 (conform SREN ISO 6507) pe secţiunea transversală urmând a se analiza variaţia gradientului de duritate faţă de valoarea medie (variaţiile mari sunt corelate cu structuri neomogene cu granulaţii neuniforme ale constituenţilor);

2) evaluarea durificării locale pe grosimea probelor. Aceasta constituie un estimator de apreciere a dezvoltării fazelor şi constituenţilor structurali duri ce pot să contribuie la apariţia fenomenelor de fragilizare-fisurare când există durificări locale accentuate (prin determinarea estimatorului de durificare locală ΔHV10 şi compararea valorii acestuia cu valoare de 50 %). Se consideră că dacă ΔHV10 ≥ 50 % în zonele examinate s-au dezvoltat fenomene de durificare locală accentuate cu structuri dure neomogene ce contribuie la apariţia fenomenelor de fragilizare-fisurare;

3) determinarea caracteristicilor de rezistenţă mecanică şi de deformabilitate a oţelului. Caracteristicile de rezistenţă mecanică: limita de curgere $f_y(R_{po,2})$, rezistenţa la rupere prin întindere $f_u(R_m)$ şi caracteristicile de deformabilitate: alungirea la rupere (A_5), stricţiunea (gâtuirea la rupere Z) în vederea comparării valorilor acestora cu valorile similare din norma aferentă mărcii de oţel la data proiectării;

4) determinarea caracteristicilor de tenacitate. Caracteristicile de tenacitate determinate prin încercarea la încovoiere prin şoc la temperaturile specificate de expertul tehnic (+20 ºC; 0 ºC; -20 ºC) sunt definite de: energia de rupere kV, expansiunea laterală EL[41] şi de cristalinitate Cr, pe direcţia longitudinală şi pe direcţia transversală a epruvetelor. Benzile de tenacitate (intervalul de variaţie a energiei de rupere kV determinat de valorile minime şi maxime a energiei de rupere) se vor compara cu valoarea prevăzută în norma mărcii de oţel la momentul proiectării. Aprecierea comportării ductil-fragil a oţelului se face pe baza evaluării cristalinităţii sau a fibrozităţii suprafeţelor de rupere, valorile estimatorului peste 80 % pe ambele direcţii atestă tendinţe clare de producere a ruperilor mixte ductile-fragil cu risc ridicat de dezvoltare a ruperilor fragile;

d.) evaluarea fenomenului de îmbătrânire a oţelului. Fenomenul de îmbătrânire afectează în bună măsură capacitatea de deformare plastică reducând în mod corespunzător fiabilitatea structurii metalice.

[41] Expansiunea laterală EL exprimă capacitatea de deformare plastică la vârful crestăturii determinată pe direcţia longitudinală.

Evaluarea tendinţei de manifestare a fenomenului de îmbătrânire se sprijină pe mai multe criterii, dintre care caracteristicile de tenacitate dinamică (şoc) ocupă un rol deosebit. Susceptibilitatea la îmbătrânire se determină prin încercări la încovoiere prin şoc la +20 ºC şi compararea caracteristicilor de tenacitate (se alege energia de rupere kV) pe cale artificială cu cea a oţelului în stare naturală. La determinarea energiei de rupere după îmbătrânirea artificială (IA) se folosesc epruvete de rezilienţă cu secţiunea 11x11 cm care se supun în prealabil la:

- deformări plastice la rece prin comprimare cu gradul de comprimare de 7 %;
- încălzirii la 250 ºC cu menţinerea o oră la această temperatură urmată de o răcire lentă în aer.

Gradul de îmbătrânire ΔIA se calculează cu relaţia:

$$\Delta IA=(KV_{SA}-KV_{IA})/KV_{SA}\cdot 100 \qquad (1)$$

unde:

KV_{SA} reprezintă valoarea medie a energiei de rupere kV în J a oţelului în starea actuală (SA);

KV_{IA} reprezintă valoarea medie a energiei de rupere kV în J a oţelului în stare de îmbătrânire artificială (IA).

Se consideră că dacă ΔIA ≥ 50 % oţelul analizat are o sensibilitate pronunţată la îmbătrânire. Estimatorul ΔIA se determină pe ambele direcţii(longitudinală L şi transversală T).

Gradul de îmbătrânire ΔIA poate evalua şi fenomenul de degradare al oţelului din elementele componente structurii metalice existente. Capacitatea de degradare este cu atât mai ridicată cu cât valoarea estimatorului ΔIA este mai mare.

3. Valori pentru modulul de elasticitate

Norma [3] arată că în cazul verificării siguranţei unei structuri metalice existente, sunt necesare informaţii suplimentare referitoare la caracteristicile structurii privind:condiţii de rezemare, caracteristici de rigiditate etc. Valorile care caracterizează rigiditatea (modulii de elasticitate) se vor stabili cu considerarea influenţei în timp a solicitărilor, de caracterul repetat a acestora etc., completarea metodelor de calcul aşa cum este prezentat în cap. 6 din lucrarea [4].

Fenomenele de îmbătrânire şi ecruisare reduc domeniul de deformabilitate şi tenacitate a oţelului astfel încât ruperea nu mai are un caracter plastic sau tenace (caracterizată prin deformaţii plastice mari)

ci tinde să devină de tip fragil (se produce brusc, fără deformaţii plastice vizibile).

În literatura tehnică de specialitate se arată temeinicia înlocuirii după limita de proporţionalitate a modulului de elasticitate E cu modulul de elasticitate tangent E_t, faţă de neajunsurile înlocuirii cu modulul de elasticitate redus E_r după formula lui von Karman.

Dacă se notează cu E_c modulul de elasticitate a elementelor componente ale structurii metalice de rezistenţă existentă atunci în [4] se arată că:

$$E_c \leq E \tag{2}$$

şi:

$$E_c = f(E, \sigma, t) \tag{3}$$

(diferenţa faţă de formula 6.3 din [4] constă în introducerea argumentului E), unde:

σ - tensiunea maximă;

t - perioada de exploatare a structurii metalice.

Relaţia (3) în cadrul structurilor metalice existente este de forma:

$$E_c = \beta E \tag{4}$$

unde:

$$\beta = bk\sqrt{ac} \tag{5}$$

cu:

β - coeficient de reducere pentru starea limită ultimă a capacitaţii portante;

a - factor de importanţă a elementului;

b - factor privind nivelul de solicitare;

c - factor privind vechimea elementului;

k - factor privind natura mediului agresiv.

Relaţia (5) satisface cerinţele stipulate în relaţia (3).

Dacă se ţine seama că:

$$0{,}75 \leq \beta \geq 1{,}00 \tag{6}$$

rezultă că:

$$0{,}75E \leq E_C \leq 1{,}00\ E \tag{7}$$

În tabelul 1 se prezintă valorile rotunjite ale lui E_c pentru unele elementele cuprinse în tabelul 2.3 din lucrarea [4] şi se constată că acestea se încadrează în valorile din tabelul 6.1 din aceiaşi lucrare ($E = 210\ 000\ N/mm^2$; $R = 210\ N/mm^2$ conform STAS 10108/0-78). În cazul când nu sunt cuprinse valorile lui E_c pentru elementele componente structurii de rezistenţă (altele decât cele prezentate în tabelul 1), pentru valorile factorilor a; b; c; k se va utiliza tabelul 2.1 din lucrarea [4].

Tabelul 1

Nr. crt.	Tipul elementului, nivel de solicitare, vechimea și natura mediului agresiv	Valoarea modulului de elasticitate E_C [N/mm^2] în funcţie de perioada de timp		
		10…20 ani	20…30 ani	Peste 30 ani
1.	Elemente metalice supuse la solicitări dinamice (ex. din poduri rulante cu regim de funcţionare III; IV; V) având tensiunea normală maximă mai mare de 0,75 R.	(β = 0,938) 200 000	(β = 0,884) 190 000	(β = 0,827) 170 000
2.	Idem, având tensiunea normală maximă mai mică de 0,75 R sau cu solicitări importante având tensiunea normală maximă mai mare de 0,9 R	(β = 0,938) 200 000	(β = 0,844) 180 000	(β = 0,827) 170 000
3.	Elemente cu solicitări statice importante (inclusiv biaxiale) având tensiunea maximă cuprinsă între 0,6…0,9 R	(β = 0,907) 190 000	(β = 0,858) 180 000	(β = 0,804) 170 000
4.	Elemente cu solicitări statice medii şi reduse având tensiunea normală maximă mai mică de 0,6 R	(β = 0,901) 190 000	(β = 0,853) 180 000	(β = 0,800) 170 000

4. Concluzii

■ Analiza siguranţei structurii metalice existente pe schemă spaţială sau plană cu valori diferenţiate ale modulului de elasticitate longitudinal pentru elementele componente oferă o acurateţe sporită la verificarea stării limită de serviciu din cadrul Expertizei Structurale;

■ În acest context deplasarea admisă a structurii nu va mai fi diminuată cu coeficientul α (coeficient de reducere pentru starea limită a exploatării normale) conform [4];

■ Modul de verificare a siguranţei structurilor metalice existente este conform metodei Elastic-Elastic pentru care solicitările structurii și a elementelor componente se determină pe baza teoriei elasticităţii iar capacitatea de rezistenţă se determină pe temeiul teoriei elasticităţii adaptate.

BIBLIOGRAFIE

[1] Oprişa, G., *Contribuţii la alcătuirea, calculul şi cercetarea elementelor metalice din siderurgie*. Teză de doctorat. Universitatea Tehnică din Timişoara. Facultatea de Construcţii Timişoara 1996.

[2] Pascu, D.R., Roşu, R.A., Oprişa, G., Băluţă, G., *Evaluation of aging phenomena of unalloyed weldable steel from electric steelwork TMK - Reşiţa*, Lucrările celei de a VI-a Conferințe ASTR - Timişoara, septembrie 2011, pag. 204-209.

[3] * * * STAS 10100/0-75, Principii generale de verificare a siguranţei construcțiilor.

[4] Oprişa, G., *Siguranţa şi consolidarea structurilor metalice industriale*. Editura Mirton, Timişoara, 2002.

Dr.Ing. Gelu OPRIŞA,
Expert Tehnic A2, membru AGIR
e-mail: gelu.oprisa@yahoo.com.
Asist.Univ.Drd.Ing. Adela Diana BERDIE
Universitatea Politehnică Timişoara
Facultatea de Inginerie Hunedoara
membru AGIR
e-mail: adela.berdie@fih.upt.ro