

Sergiu Stanciu

Ioan Alexandru

Matei Gherghe

MATERIALE PENTRU CONSTRUCȚII METALICE

Coperta: Dan Bighiu

Referenți științifici: prof. dr. ing. Adrian Dima, Universitatea
„Gh.Asachi” din Iași, Facultatea de Științe și
Ingineria Materialelor prof. dr. ing. Ion Hopulele,
Universitatea „Gh.Asachi” din Iași, Facultatea de
Științe și Ingineria Materialelor

Tehnoredactarea și corectura aparțin autorilor

Toate drepturile pentru prezenta ediție sunt rezervate
editurii SEDCOM LIBRIS

I.S.B.N: 973-8028-55-8

Cuprins

CAPITOLUL I.....	4
Introducere	4
CAPITOLUL II.....	7
Elaborarea materialelor metalice feroase.....	7
2.1 Caracteristicile formării structurii la fonte.....	7
2.1.1. Clasificarea fontelor.....	8
2.1.2 Formarea structurii primare la fonte.....	11
2.1.3 Formarea structurii secundare la fonte.....	14
2.2 Caracteristicile formării structurii la oțeluri.....	16
2.2.1 Clasificarea oțelurilor din punct de vedere structural.....	16
2.2.2 Formarea structurii primare la oțeluri.....	17
2.2.3 Formarea structurii secundare la oțeluri.....	18
2.3 Obținerea fontelor.....	20
2.3.1 Elaborarea fontelor în cubilou.....	21
2.3.1.1. Construcție generală și funcționare.....	21
2.3.1.2 Calculul încărcăturii metalice.....	25
2.3.1 Elaborarea materialelor metalice feroase.....	27
2.3.2 Elaborarea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin inducție.....	28
2.3.3 Elaborarea fontei în cuptoare electrice cu arc.....	33
2.3.4 Tratarea fontei lichide în afara agregatului de elaborare.....	33
2.4 Obținerea oțelurilor.....	40
2.4.1 Elaborare în cuptorul electric cu arc.....	41
2.4.1.1 Caracteristici generale constructive și funcționale.....	42
2.4.1.2 Etapele procesului tehnologic de elaborare în cuptoarele electrice cu arc.....	43
1. Ajustarea.....	43
2. Componentele încărcăturii și încărcarea.....	44
3. Topirea.....	47
4. Afinarea.....	49
2.4.2 Elaborarea oțelurilor în cuptorul cu inducție.....	53
2.4.3 Elaborarea oțelului în convertizor.....	55
2.4.3.2 Elaborarea oțelului în convertizorul Bessemer.....	62
2.4.3.3 Elaborarea oțelului în convertizorul Kaldo.....	64
2.4.3.4 Elaborarea oțelului în convertizorul OBM.....	64
2.4.3.5 Elaborarea oțelului în convertizorul OLP.....	65
CAPITOLUL III.....	68
Oțeluri pentru construcții metalice.....	68
3.1 Definierea și clasificarea oțelului după Normele Europene.....	68
3.2 Proprietăți mecanice tehnologice și utilizări ale oțelurilor pentru construcții metalice.....	74
3.2.1 Oțeluri nealiat de uz general pentru construcții metalice.....	74
3.2.2 Oțeluri nealiat pentru armarea și precomprimarea betonului.....	89
3.2.3 Oțeluri pentru recipiente sub presiune.....	92
3.2.3.1 Oțeluri pentru recipiente sub presiune simple.....	92
3.2.3.2 Oțeluri aliate cu nichel pentru recipiente sub presiune la temperatură scăzută.....	94
3.2.3.3 Oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune la temperatură ambiantă și la temperaturi scăzute.....	94
3.2.3.4 Oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune la temperatură ambiantă și la temperaturi înalte.....	99
3.2.4 Oțeluri pentru țevi cu și fără sudură.....	111
3.2.5 Oțeluri cu granulație fină.....	119

3.2.5.1 Oțeluri sudabile cu granulație fină, normalizate, pentru recipiente sub presiune.....	119
3.2.5.2 Oțeluri cu granulație fină pentru construcții de mare portantă și țevi sudate longitudinal și elicoidal	124
3.2.7 Oțeluri pentru viaducte, poduri de șosea și cale ferată.....	128
3.2.8 Oțeluri de construcții cu rezistență îmbunătățită la coroziune atmosferică	130
2.2.9.2 Definirea și clasificarea oțelurilor microaliate cu limită de curgere ridicată	138
3.2.10 Oțeluri inoxidabile	143
3.2.10.1 Definirea și clasificarea oțelurilor inoxidabile.....	143
3.3. Particularități privind obținerea oțelurilor pentru construcții metalice	169
3.3.1 Aspecte tehnologice ale elaborării oțelurilor pentru construcții.....	169
3.3.1.1 Topirea oțelurilor pentru construcții metalice.....	170
3.3.1.2 Afinarea oțelurilor pentru construcții metalice.....	173
3.3.1.3 Dezoxidarea și alierea oțelurilor pentru construcții metalice.....	174
3.3.1.4 Conducerea electrică a cuptorului și regimul termic.....	176
3.3.3 Considerații generale asupra metodelor de obținere a oțelurilor cu limită de curgere ridicată	177
3.3.4 Aspecte tehnologice specifice elaborării și turnării oțelurilor inoxidabile ...	178
3.3.4.1 Tehnologia de elaborare a oțelului inoxidabil prin procese de oxidoreducere în cuptorul electric	178
3.3.4.2 Tehnologia de elaborare a oțelului inoxidabil prin procedee de diluție a presiunii parțiale a oxidului de carbon.....	179
3.3.4.3 Tehnologia de elaborare a oțelului inoxidabil prin decarburare cu oxigen în instalații de vid	181
3.3.4.4 Particularități privind turnarea și solidificarea oțelurilor inoxidabile ..	183
CAPITOLUL IV	186
Fonte	186
CAPITOLUL V	190
Aliaje neferoase.....	190
Bibliografie.....	194

CAPITOLUL I

Introducere

Materialele metalice marchează evoluția umanității, încă din cele mai vechi perioade ale civilizației, fiind indisolubil legate de progresele realizate în toate domeniile activității umane. Cunoașterea științifică a fenomenelor din sfera procesării metalelor am putea spune că își are originea în urmă cu multe milenii. Producerea de obiecte din cupru și aur nativ prin deformare cu reîncălzire intermediară, acum 5.000 ani î.e.n., este un exemplu privind existența unor cunoștințe privind noțiunile actuale denumite ecruisaj și înmuiere prin recoacere. În mileniul al treilea î.e.n., în epoca bronzului, pe lângă primul aliaj, bronzul, au fost utilizate metalele ușor fuzibile: aur, argint, staniul și aliajele lor în tehnica turnării obiectelor dezvoltată cu precădere în China.

În anii 1400-1200 î.e.n., în Mesopotamia ia naștere epoca fierului prin folosirea fontei ca material metalic pentru turnarea pieselor de către sumerieni, babilonieni, asirieni și caldeeni. Dacă avem în vedere că în prezent cca. 85% din mijloacele de producție sunt produse din materiale metalice pe bază de fier se poate afirma că existăm încă în această epocă a fierului care a parcurs de-a lungul celor trei milenii o succesiune de etape legate de tehnologia de obținere a unor aliaje și produse diverse cu caracteristici de calitate cât mai performante.

În secolul al XVI-lea î.e.n., în China era dezvoltată tehnologia elaborării fontei prin utilizarea minereului de fier redus cu mangal în cuptoare cu insuflare de aer, utilizând ventilatoare ce au permis creșterea debitului de aer și implicit a temperaturii de elaborare pentru creșterea fluidității. Tot în scopul îmbunătățirii fluidității, în baia de aliaj se utiliza adaosul de oseminte bogate în fosfor, fapt ce atestă un început în cunoașterea influenței elementelor de aiere. Cu toate că se știe faptul că romanii utilizau oțelul, obținut probabil prin tratarea fontei cu flacără oxidantă, data producerii acestui material forjabil este incertă. În Europa fonta începe să fie elaborată la începutul celui de-al doilea mileniu și cunoaște o dezvoltare mai accentuată în anii 1600 în special pentru producerea de armament, țevi de tun, dar și a clopotelor, obiectelor de ornament, tuburilor de canalizare etc.

Descoperirea cocsului face posibilă producerea în secolul al XVIII-lea a unor fonte de primă fuziune și de a doua fuziune în cuptoare de capacitate mare denumite furnale și respectiv cubilouri. Din această perioadă se înfiripă preocupări legate de cunoașterea structurii

materialelor metalice și în general de cercetarea teoretică a materialelor care vor determina apariția a două științe: Cristalografia și Știința materialelor ce vor revoluționa producerea materialelor metalice.

Grăunții cristalini în metale sunt semnați în anul 1775 de Grigon, un operator al unui cuptor metalurgic, care a observat grăunții cristalini alungiiți apăruți la solidificarea metalelor și aliajelor și a considerat că metalele sunt agregate de mici cristale, prezentând grafic formațiunile dendritice.

Începuturile investigării microscopice a structurii metalelor aparține unor mari învățați ai secolului al XVII-lea: Newton, creatorul mecanicii clasice și Hooke, fondatorul teoriei elasticității, care au făcut observații asupra grăunților din suprafețele de rupere ale oțelurilor și metalelor, utilizând puterea de mărire a unei lupe. Utilizarea microscopului în cercetarea microstructurii aliajelor este legată de cercetările de pionierat ale lui Anosov (1841) și Sorby (1846). Inginerul Anosov de la uzina de arme Zlatoust din Urali a utilizat microscopul optic având ca scop cercetarea microstructurii oțelurilor pentru obținerea unor proprietăți asemănătoare cu cea a celebrelor săbii din Damasc.

Această corelație dintre microstructură și proprietățile materialului se constituia ca obiectiv major al unei noi ramuri științifice: Metalografia. În Anglia (1864), Sorby a făcut observații asupra perlitului din oțeluri și asupra structurii Widmanstätten și a introdus metodele petrografice de preparare a probelor pentru analiza microscopică.

Toate progresele ce au urmat în domeniul materialelor metalice nu ar fi fost posibile fără contribuțiile științei ce s-a constituit în aceeași perioadă (secolul al XIX-lea): Cristalografia. Cercetările cristalografice ale lui Hessel (1830), relevă existența celor 14 rețele cristaline de translație, apoi Miller (1839) introduce notațiile cristalografice, urmând descoperirea făcută în mod independent de Feodorov, în Rusia (1891) și Barlow în Anglia (1894), asupra structurii celor 230 de grupuri spațiale, număr maxim posibil de aranjamente atomice ordonate în spațiul tridimensional.

În secolul următor dezvoltarea fizicii a condus la descoperirea metodelor de investigare prin difracție de raze X a cărei paternitate este atribuită lui Von Laue (1912) și difracției de electroni fundamentată de Davisson și Germer (1927). Cele două instrumente de studiu sunt considerate cele mai mari descoperiri ale secolului, care au creat o dezvoltare explozivă a materialelor, oferind informații bazate pe observații directe asupra geometriei cristalelor și asupra poziției ocupate de atomi. Aceste două descoperiri, alături de microscopia optică și electronică, sunt astăzi de neînlocuit și au stat la baza cercetărilor teoretice fundamentale și aplicative care au determinat apariția unor

materiale considerate revoluționare în tehnică, cum ar fi: oțeluri cu rezistență de ordinul a 3000 N/mm^2 , materiale compozite, superaliaje pe bază de titan pentru tehnica aeronautică și aerospațială, aliaje superrefractare, materiale ceramice, materiale biocompatibile, materiale plastice de mare rezistență etc. Materialele noi nemetalice ce s-au dezvoltat, denumite generic „materiale din generația a doua” acoperă un larg domeniu de utilizare, fiind în competiție cu clasicele materiale feroase dar va dura probabil mult timp până acestea din urmă vor fi detronate. Estimările relevă faptul că până în anul 2050, oțelul va fi principalul material folosit în industria mondială și România va trebui să-și găsească locul în această industrie care nu poate exista fără producerea de materiale metalice.

În prezenta lucrare sunt tratate aspecte concrete privind obținerea, proprietățile și utilizările metalelor și aliajelor destinate construcțiilor metalice.

Lucrarea se adresează în primul rând studenților care își desăvârșesc pregătirea profesională în domeniul Științei materialelor dar și specialiștilor și Inginerilor ce activează în domeniile obținerii și utilizării materialelor metalice.

CAPITOLUL II

Elaborarea materialelor metalice feroase

Dintre materialele metalice utilizate în tehnică din punct de vedere al ponderii în utilizare pot fi prezentate în ordine următoarele metale pure și aliajele lor: Fe, Cu, Al, Mg, Zn, Ni și Ti.

Grupa materialelor metalice neferoase în care sunt cuprinse fierul tehnic, oțelul, fonta și feroaliajele, este formată de sistemul de aliaje Fe-C asociat cu alte elemente chimice de aliere și însoțitoare. Ca urmare a alierii, tratamentelor termice sau termochimice, deformării plastice și altor procese metalurgice, fierul și aliajele sale își pot schimba proprietățile formând o diversitate de materiale metalice necesare tehnicii moderne.

Fierul tehnic pur are cea mai largă utilizare în electrotehnică datorită proprietăților sale fizice, permeabilitate magnetică mare și pierderi mici prin histerezis ce-l fac util la confecționarea miezurilor și pieselor polare ale electromagneților, la ecrane magnetice, membrane telefonice, magneți permanenți din pulberi monodomeniale etc. În industria constructoare de mașini se folosește la obținerea unor produse prin ambutisare adâncă, datorită capacității mari de deformare plastică și în fabricația unor reperi sinterizate din pulberi.

Impresionanta răspândire a fierului în tehnică este ca urmare însă a utilizării sale în stare aliată și sub această formă prezintă o importanță deosebită alierea cu carbon, care dă naștere celor mai uzuale materiale metalice: oțelurile și fontele, care vor fi prezentate în cele ce urmează sub aspectul particularităților structurale și metodelor de obținere.

2.1 Caracteristicile formării structurii la fonte

Fontele sunt aliaje din sistemul Fe-C-Si care pot conține câte unul sau mai multe elemente de aliere (Mn, Cr, Ni, P etc.) și elemente chimice însoțitoare și care sunt caracterizate prin existența transformării eutectice.

O particularitate importantă a fontelor este aceea că la compoziții chimice identice pot să posedă structuri foarte diferite în funcție de condițiile de elaborare și turnare. Acest fenomen este determinat de caracterul binar al diagramei Fe-C și deci de posibilitatea desfășurării transformărilor eutectoide și eutectice atât în varianta stabilă Fe-C_{grafit} cât și în cea metastabilă Fe-Fe₃C. Iată de ce cunoașterea formării

structurii fontelor este importantă pentru realizarea proprietăților mecanice de exploatare și tehnologice ale produselor executate din aceste materiale metalice.

2.1.1. Clasificarea fontelor

Din punct de vedere al conținutului de carbon fontele utilizate în industrie pentru producția de piese turnate, sunt situate în dreapta punctelor E și E' de pe diagrama de echilibru binară (fig. 2.1). sau ternară (fig. 2.2).

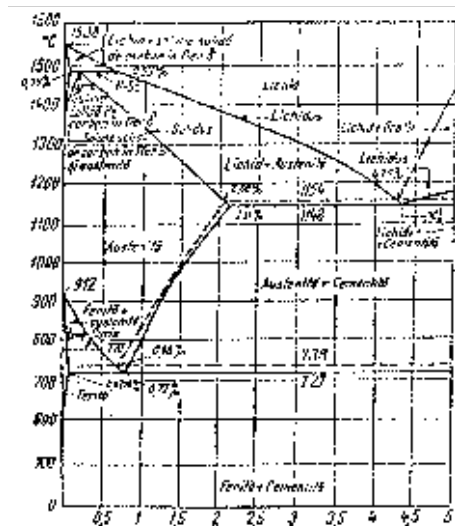


Fig. 2.1 Diagrama sistemului Fe-C:
Fe-Fe₃C; Fe-C_{grafic}

După conținutul de carbon, fontele pot fi: hipoeutectice care au conținutul de carbon total mai mic decât cel eutectic ($C_t < C_c$); eutectice ($C_t = C_c$); și hipereutectice ($C_t > C_c$). Pentru principalele elemente prezente în compoziția fontei valoarea carbonului eutectic se calculează cu relația:

$$C_0 = 4,3 - 0,3(\%Si + \%P) + 0,03\%Mn - 0,4\%P - 0,07\%Ni - 0,05\%Cr \quad (2.1)$$

Rezultă că valoarea C_c este micșorată sau mărită în funcție de concentrația elementelor de aliere și însoțitoare și este diferită de cea indicată pe diagrama Fe-C. Poziția fontelor pe diagrama Fe-C sau Fe-C-Si precizate prin drepte verticale corespunzătoare conținutului de

carbon este dată de către gradul de saturație a fierului în carbon (S_c) determinat cu relația:

$$S_c = \frac{C_L}{C_c} \quad (2.2)$$

În funcție de valoarea S_c fontele pot fi hipoeutectice la $S_c < 1,0$; eutectice la $S_c = 1,0$, și hipereutectice la $S_c > 1,0$.

În funcție de valoarea S_c fontele pot fi hipoeutectice la $S_c < 1,0$; eutectice la $S_c = 1,0$, și hipereutectice la $S_c > 1,0$.

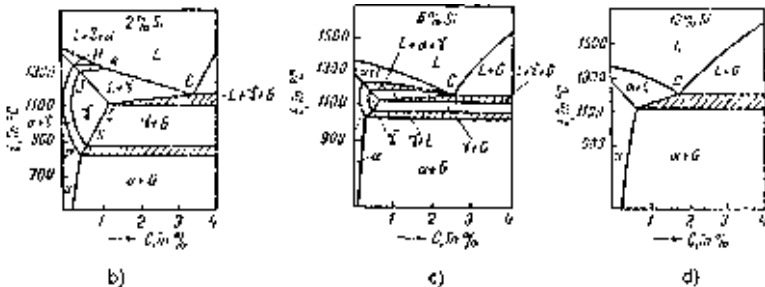


Fig. 2.2 Secțiune verticală simplificată prin diagrama ternară de echilibru Fe-C-Si: a) la 2,4% Si; b) la 6% Si.

Carbonul poate exista în fonte sub formă liberă C_{gr} (separări de grafit) legată în compus chimic cu fierul C_{leg} (cementita) și în soluție cu fierul C_{sol} :

$$C_t = C_{sr} + C_{leo} + C_{sol} \quad (2.3)$$

Valoarea C_{so} , din diagrama Fe-C este de 0,006% (punctul Q și Q') și poate fi neglijată, rezultând:

$$C_t = C_{gr} + C_{leg} \quad (2.4)$$

Cementita, Fe_3C , poate fi legată cu ferita în perlită (K_{leg}) vizibilă la microscop pe suprafața atacată, sau liberă (K) vizibilă și în suprafața de rupere a probelor.

După cantitatea de grafit fontele se clasifică în:

1) Fonte cenușii (F_c), la care $C_{gr} > 0$ și nu conține cementita liberă. În funcție de valoarea carbonului legat ce poate fi cuprins în limitele $0 < C_{leg} < C_s$ (unde C_s este carbonul corespunzător punctului s de pe diagrama Fe-C, sau carbonul din perlită), fontele cenușii pot fi clasificate după cum urmează:

- fonte cenușii feritice, la care $C_{leg} = 0$, $C_{gr} = C$, și structură formată din ferită și grafit (F+G);

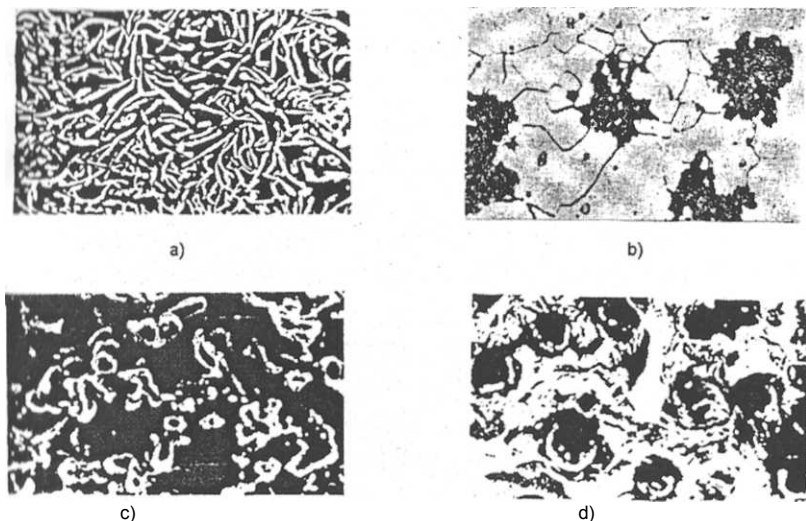


Fig. 2.3 Tipuri de grafit în fonte (a, b, c - microscopie electronică, x 500; d - microscopie optică, x 100)

a - grafit lamelar, b - vermicular, c - în cuiburi, d - grafit nodular

- fonte cenușii ferito-perlitice $0 < C_{leg} < C_s$, și a căror structură este constituită din ferită, perlită și grafit (F+P+G);

- fonte cenușii perlitice la care $C_{leg} = C_s$, $C_{gr} = C_t - C_s$ cu structură din perlită și grafit (P+G).

2) Fonte pestrițe (F_p) la care $C_s < C_{leg} < C$, iar $C_{gr} > 0$ rezultă o structură atât cu cementita liberă (zone de culoare deschisă în ruptură, fontă albă) cât și grafit (în ruptură zone închise la culoare, fontă cenușie). Succesiunea de zone închise și deschise la culoare conferă aspectul pestriț. Structura acestor fonte consta din perlită, cementita și grafit (P+K+G).

3) Fonte albe (F_a), la care $C_{leg} = C$, iar $C_{gr} = 0$. Grafitul lipsește din structură, întreaga cantitate de carbon $C_{gr} = 0$ este sub formă de cementita liberă (K) și legată în perlită (K_{leg}) culoarea albă. Ruptura acestor fonte este dată de cementita.

După forma grafitului relevată la microscop fontele pot fi împărțite în următoarele grupe:

- fonte cu grafit lamelar (F_{gl}), la care grafitul în secțiune plană este sub formă de separări cu lungimea (l) mult mai mare decât grosimea lor (d) iar în spațiu are structura coralieră (fig. 2.3.a);

- fonte cu grafit în cuiburi sau fonte maleabile la care separările compacte din grafit se obțin în urma unui tratament de recoacere grafitizată din fontă albă (fig. 2.3b).
- fonte cu grafit vermicular, separări de grafit scurte și curbate (fig. 2.3c);
- fonta cu grafit nodular caracterizată prin separări de grafit sferoidale (fig. 2.3d);

2.1.2 Formarea structurii primare la fonte

Structura primară se formează în etapa de cristalizare primară, cu participarea fazei lichide, la trecerea fontelor din starea de agregare lichidă în cea solidă.

Forma cristalitelor primare ce iau naștere direct din soluții lichide suprasaturate diferă de cea de echilibru (idiomorfă) datorită mai ales a apariției la cristalizarea primară a subrăcirii de concentrație, cauzată de segregarea C, S, P și a altor elemente chimice. Astfel cristalitele de austenită au formă dendritică, alotriomorfă, creșterea lor din starea lichidă necorespunzând structurii cristaline interne și nici proprietăților de anizotropie ci condițiilor exterioare de creștere. Dendritele de austenită primară (A) se separă și cresc în Intervalul lichidus solidus (fig. 2.4a) iar numărul și dimensiunea lor sunt determinate de numărul germeilor de cristalizare care ia rândul său depinde de natura fazei lichide și gradul de subrăcire.

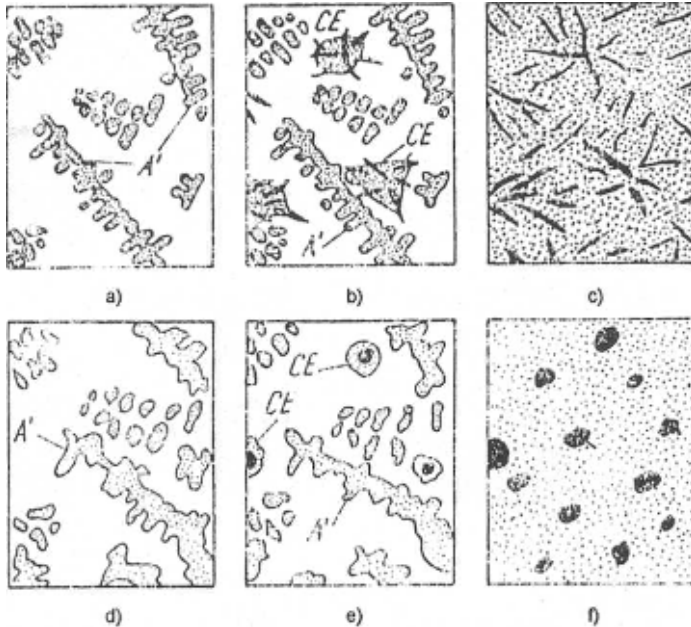


Fig. 2.4 - Etape ale formării structurii primare la fontele cenușii hipoeutectice cu grafit lamelar (a, b, c) și cu grafit nodular (d, e, f).

a, d - formarea dendritelor de austenită primară A' în intervalul lichidus-solidus;
 b, e - creșterea dendritelor de austenită (A^1) și formarea celulelor eutectice (E) la cristalizarea eutectică; c, f - sfârșitul cristalizării eutectice.

Celulele eutectice (CE) sunt agregate policristaline formate din austenită eutectică (A_c) și grafit (C_c), deci $CE = A_c + G$. În fontele nealiante celulele eutectice au diametrul cuprins între 50 și 5000 μm și pot fi relevate pe probe metalografice la mărimi de maxim 20 de ori. Celulele eutectice ocupă spațiul dintre dendritele primare și pot îngloba una sau mai multe dendrite.

La sfârșitul transformării eutectice (la cca. 950 °C) se solidifică ultima cantitate de fază lichidă bogată în fosfor, formând eutecticul fosforos (EF).

În intervalul lichidus-solidus la fontele hipereutectice cristalizează grafitul primar (G') care se deosebește de cel primar prin dimensiunea de aproximativ 10... 100 de ori mai mare.

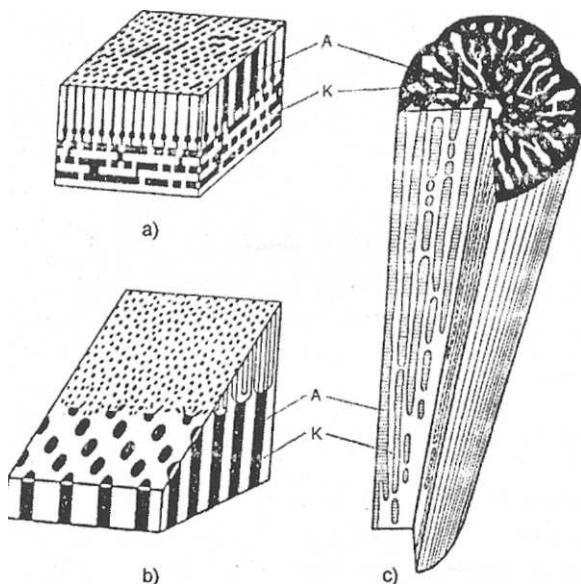


Fig. 2.5 Structura coloniilor eutectice la fontele albe:

a, b) formă nealiată, schelet paralelipedic de cementită K; c) colonie eutectică înalt aliată cu crom de formă cilindrică cu schelet din austenită A și cementită K.

La fontele albe la transformarea eutectică se formează colonii eutectice (KE) care sunt tot agregate policristaline însă nu au formă sferoidală cu celulele eutectice ci au formă de blocuri (fig. 2.5).

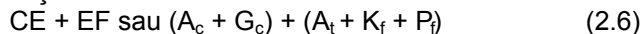
Structura primară a fontelor poate fi exprimată folosind simbolurile constituenților primari după cum urmează:

- fonte cenușii hipoeutectice:



unde: A, și K, - austenită și cementită din eutectic fosforos P, - fosfură de fier din eutecticul fosforos

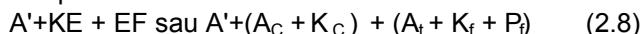
- fonte cenușii eutectice:



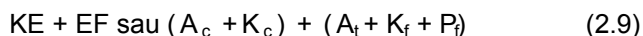
- fonte cenușii hipereutectice:



- fonte albe hipoeutectice:



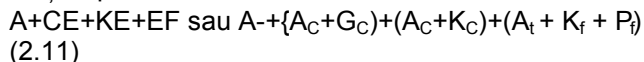
- fonte albe eutectice:



- fonte albe hipereutectice:



- fonte pestrițe hipoeutectice:



- fonte pestrițe eutectice:



- fonte pestrițe hipereutectice:



Fontele înalt aliate cu elemente feritizate vor avea în structura primară în locul austenitei primare (A) și austenitei eutectice (A_c) ferita primară F' și ferita eutectică F_c.

2.1.3 Formarea structurii secundare la fonte

Structura secundară a fontelor se formează în fază solidă în urma transformării eutectice. În funcție de o serie de factori, dintre care fac parte viteza de răcire și compoziția chimică. La fontele cenușii nealiate austenită se descompune după următoarele reacții:

- A → F + G_s + P, reacție ce formează structuri perlito-feritice

(fig. 2.6b, e);

- A → F + G_s, cu formarea structurii feritice (fig. 2.6c, f);

- A → P, cu obținerea masei metalice perlitice (fig. 2.6a, d). La transformarea eutectoidă grafitul precipită primul indiferent de viteza de răcire și se depune pe separările existente de grafit iar ferita se formează imediat după grafit în jurul separărilor de grafit sau în interiorul zonelor de austenită.

Alierea cu elemente ce măresc gradul de subrăcire la transformarea austenitică sau la viteze mari de răcire pot să apară și alte straturi ale masei metalice de bază și anume structura martensitică, bainitică sau troostitică.

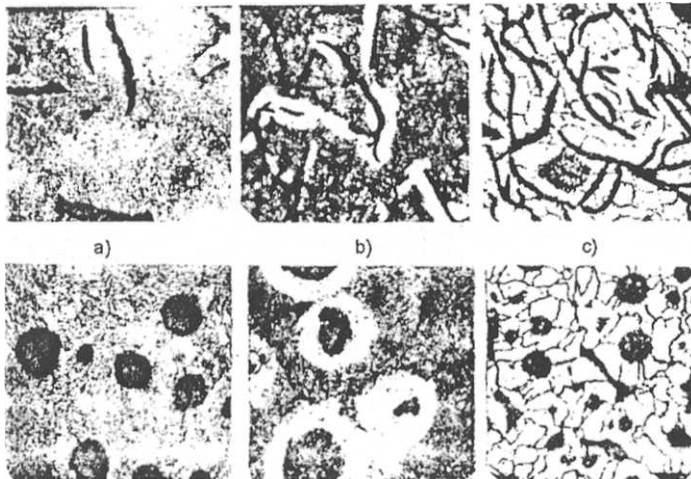


Fig. 2.6 Tipuri de structuri ale fontelor cenușii cu grafit lamelar (a, b și c) și cu grafit nodular (d, e și f);

a, d - fonte perlitice; b, e - fonte perlito-feritice; c, f - fonte feritice

La fontele albe transformarea eutectoidă are loc numai după reacția $A \rightarrow P$ în mod identic ca la oțeluri. Fontele albe se diferențiază structural după conținutul de carbon în: fonte hipoeutectice alcătuite din perlită, ledeburită și cementită (fig. 2.7a); fonte ledeburitice sau fonte albe eutectice alcătuite din ledeburită transformată și cementită secundară; fonte hipereutectice cu cementită primară, ledeburită transformată și cementită secundară (fig. 2.7b).

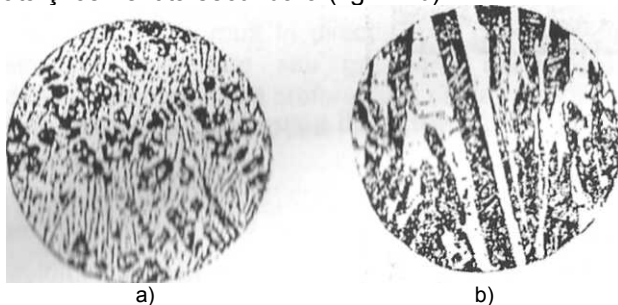


Fig. 2.7 Structura fontelor albe nealiate

a) hipoeutectice, cu 2,8%C, x 100; b) hipereutectice, cu 5,1%C, x 100

Prezența unor elemente care măresc stabilitatea cementitei (Mn, Cr, Mo, V, Ti, W etc.) favorizează obținerea perlitului în masa metalică de

bază, sau a cementitei la solidificare, pe când elemente cum sunt C și Si măresc tendința de separare a grafitului.

La răcirea fontelor albe după solidificare în structură se depune pe suprafața cementitei eutectice sau pe cementita primară, cementită secundară (K''), formată pe linia ES din diagrama binară Fe-C, precum și cementita terțiară (K''') formată pe linia PQ - la fontele din clasa perlitică - și numai cementita secundară (K'') la cele marten-sitice. În concluzie separările de cementită din structura fontelor albe din clasa perlitică, sunt constituite din cementită eutectică secundară și terțiară cu formula $K = K_c + K' + K'''$, la fontele hipoeutectice și $K = K' + K_c + K'' + K'''$ la cele hipereutectice.

Fontele peștrițe prezintă aceleași transformări secundare, aspectul structural (fig. 2.8 având simultan caracter de fontă albă (cu ledeburită) și cenușie (cu grafit) ca urmare a solidificării ce se desfășoară după ambele tipuri de diagrame.

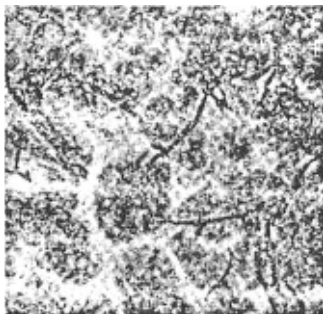


Fig. 2.8 Microstructura fontei peștrițe prezentând grafit și ledeburită x200

2.2 Caracteristicile formării structurii la oțeluri

2.2.1 Clasificarea oțelurilor din punct de vedere structural

Analiza structurală a oțelurilor este asociată întotdeauna cu sistemul Fe-Fe₃C și din punct de vedere structural pot fi clasificate în: hipoeutectoide ($C < 0,77\%$), alcătuite din constituenții ferită și perlită; eutectoide ($C = 0,77\%$) cu structură perlitică; hipereutectoide ($C = 0,77...2,11\%$) alcătuite din perlite și cementită.

După formarea structurii primare oțelurile nealiate pot fi împărțite făcând apel la diagrama Fe-Fe₃C (fig. 1.1) în trei grupe:

- oțeluri fără transformare peritectică la care cristalizează ferita primară ($C < C_H$);

- oțeluri cu transformare peritectică la care cristalizează ferita primară ($C_H < C < C_B$);
- oțeluri fără transformarea peritectică la care cristalizează austenita primară ($C > C_B$).

Se poate deci concluziona că la toate oțelurile cristalizarea primară are loc prin separarea cristalitelor dendritice, primare de austenită (A') sau de ferită (F') constituenți ce formează structura primară.

2.2.2 Formarea structurii primare la oțeluri

Caracterizarea structurii primare a oțelurilor poate fi făcută prin natura constituenților primari, dimensiunea, numărul și forma cristalitelor primare și de asemenea prin aprecierea compoziției și dimensiunile zonei intergranulare, constituite din materiale nemetalice.

Structura dendritică la oțelurile turnate poate fi relevată în macrostructura probelor (ruptură) și se poate prezenta sub diferite tipuri:

- cristalină, grosolană, formată din cristalite cu dimensiuni mari, dezvoltate mult în direcția axei principale în cazul structurii columnare sau grosolană neorientată când dendritele nu au o axă preferențială de dezvoltare.

- cristalină fină, care poate fi la rândul ei orientată și neorientată.

Gradul de orientare și dimensiunile dendritelor de austenita unu ferită primară depind de o serie de factori cum ar fi viteza de răcire, influența elementelor chimice, modul de elaborare, ce determină în mare măsură proprietățile fizice ale oțelurilor.

Oțelurile cu structură primară dendritică pot suferi la răcire după solidificare următoarele procese:

- granulara cristalitelor dendritice datorită transformărilor feritei primare în austenita γ (punctul N de pe diagrama Fe-C) cu formare de agregate cristaline de austenita cu punct granular.

- creșterea dimensiunilor agregatelor cristaline granulare;
- modificarea conturului cristalitelor dendritice.

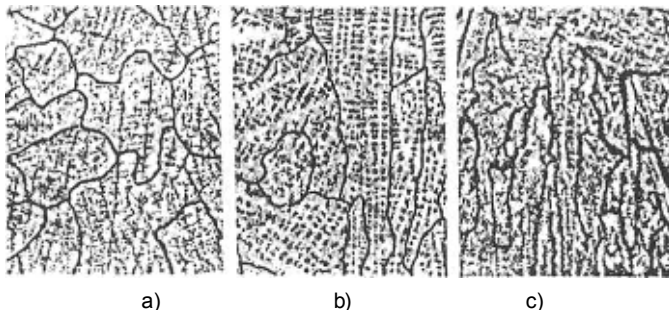


Fig. 2.9 Microstructuri ce relevă structura dendritică și cea granulară a oțelurilor
 a) structură granulară unde în procesul de granulare s-au format grăunți ce nu coincid cu dendritele primare; b) oțeluri cu structură dendritică stabilă la care numărul grăunților este egal cu cel al dendritelor; c) oțeluri cu structură dendritică stabilă la care granulația nu a avut loc.

La microscopul optic pe probe metalografice atacate chimic pot fi relevate atât limitele dendritelor cât și cele ale grăunților deci atât structura primară dendritică cât și cea granulară (fig. 2.9).

Factorii metalurgici ai proceselor de elaborare-turnare influențează hotărâtor numărul, forma și dimensiunile cristalelor dendritice primare și grăunților de austenita cu implicații asupra calității oțelului.

2.2.3 Formarea structurii secundare la oțeluri

Structura secundară se obține în urma transformării austenitei la temperaturi mai joase decât A_{r3} și A_n în intervalul de temperatură solidus. Se consideră că transformarea $Fe_5 \rightarrow Fe_\gamma$, granulara și recristalizarea fac parte din procesul de formare a structurii cristaline.

Structura secundară a oțelurilor poate fi formată din: ferită, perlită, cementită liberă, sorbită (perlită fină), troostită, bainită și martensită.

Caracteristicile constituenților și proporțiile acestora în oțel, conferă proprietățile fizico-mecanice și tehnologice ale oțelurilor.

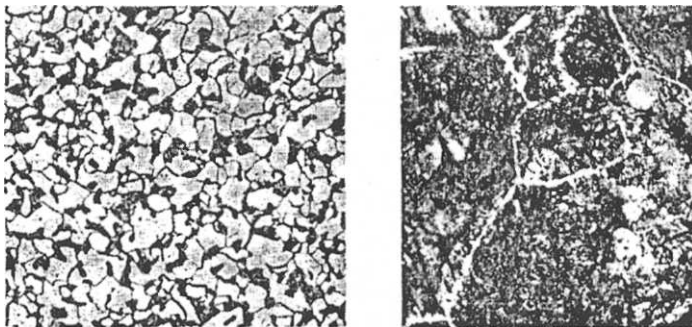
Ferita este soluție solidă de carbon în fier α (0,0218%C la 727°C). Apare sub formă de poliedri distincți sau ca lamele fine în uutectoidul perlită. Are densitate mică $HB = 80$, $a_r = 300N/mm^2$ și ductilă ($\delta = 35\%$ și $KCU = 30daN/cm^2$). Atacul chimic cu nital nu o colorează ci evidențiază doar limitele de grăunte.

Cementita este compus chimic intermetalic Fe_3C (6,67%C) foarte dur ($HB = 800$), fragil ($KCU = 0$) și se evidențiază la atac chimic cu picrat de Na colorându-se în nuanțe ușor albastrii. Se prezintă sub formă de cristale dezvoltate liber, aciculare, de cementită primară în

fontele albe hipereutectice. Cementita secundară are formă de insule sau rețea la oțelurile hipereutectoide iar cementita terțiară are formă de rețea întreruptă la limita grăunților de ferită. Mai poate fi prezentă în ledeburită - amestec mecanic de cementită primară și austenita transformată - sau sub formă de lamele în eutectoidul perlită.

Perlită este un eutectoid compus din ferită și cementită sub formă de pachete lamelare cu distanța între lamele de 0,28-0,35 μm , cu următoarele proprietăți: $\text{HB} \approx 200\text{m}$, $\sigma_r = 850\text{N/mm}^2$, $\delta = 10\%$.

Capătă culoare cenușie la atac chimic cu nital și structura lamelară se distinge la mărimi de peste 800x. După tratament termic poate avea aspect globular (globulele de cementită în masa de ferită). Mai poate fi observată sub formă de insule între grăunții de ferită la oțeluri hipoeutectoide (fig. 2.10a), ocupând întreaga masă la oțeluri eutectoide sau perlite, separată de o rețea de cementită secundară la oțeluri hipereutectoide (fig. 2.10b), sub formă de insule unite sau distincte alături de ledeburită și cementită secundară în fontele albe hipoeutectice. Prin transformarea austenitei din ledeburită, perlită mai poate fi întâlnită sub forma unor separații fine și simetric dispuse în eutecticul ledeburită.



a)

b)

Fig. 2.10 Constituenți ai structurii secundare în oțeluri (x200)

a) oțel hipoeutectoid (0,55% C) cu ferită de culoare albă și perlită de culoare închisă b) oțel hipereutectoid (1,1% C) cu perlită și rețea de cementită secundară de culoare albă

Ledeburita este un eutectic binar ce se formează la 1148 °C și o concentrație de 4,30% C compus din austenita și cementită sub forma unui amestec fin cu aspect de piele de leopard așa cum s-a arătat la punctul 2.1.3. La temperaturi mai mici de 727 °C austenita se transformă în perlită și cementită (ledeburită transformată). La microscop se distinge prin morfologie; ocupând întreaga masă în fontele albe

ledeburitice, parcursă de benzi de cementită primară în fontele albe hipereutectice și sub formă de insule izolate în fontele hipoeutectice. Natura și ponderea constituenților structurii secundare precum și forma, dimensiunile și modul de repartizare depind în cea mai mare măsură de compoziția chimică și viteza de răcire.

În cazul unei viteze mici de răcire la oțelurile hipoeutectoide nealiate structura secundară este compusă din ferită și perlită (fig. 2.10a) iar conținutul procentual de perlită poate varia între 15 și 100% în funcție de procentul de carbon. Proporția minimă găsim-o la oțelurile cu carbon scăzut (0,08...0,10%) iar cea maximă la cele eutectoide ($C = C_s$).

O răcire lentă a oțelurilor în forme de amestec spre exemplu poate conduce la o creștere a tendinței de formare a structurilor anormale de tip Widmanstätten, la care grăunții de ferită sunt sub formă de ace. Structura aceasta se formează datorită neomogenității austenitei în carbon, în special la oțelurile cu carbon mediu la care austenita nu este saturată în carbon. Structura feritică Widmanstätten influențează negativ toate proprietățile mecanice dar în mod special rezistența ca urmare a efectului de creștere.

Oțelurile hipereutectoide obținute în condiții de viteză mică de răcire au structură constituită din perlită ca masă metalică de bază și cementită secundară (fig. 2.10b) repartizată la limita foștilor grăunți de austenita. Mărimea vitezei de răcire micșorează temperatura eutectoidă (T_s) și conținutului de carbon în perlită deplasând C_s spre dreapta și în acest fel mărește proporția de perlită și micșorează pe cea de cementită liberă.

Oțelurile ledeburitice ce au carbonul cuprins în intervalul $C_E...2,5\%$ au structura constituită din perlită, cementită secundară și cementită eutectică în proporție de maxim 15%.

2.3 Obținerea fontelor

La obținerea fontelor de a doua fuziune se parcurg următoarele etape principale: elaborare, tratament în fază lichidă, turnare și tratament termic. Din această succesiune pot lipsi tratamentul în fază lichidă (ce se aplică în special la obținerea fontelor cenușii modificate și a fontelor cu grafit nodular) și tratamentul termic (esențial la obținerea fontelor maleabile dar utilizat și pentru ameliorarea proprietăților celorlalte tipuri de fonte).

Termenul de elaborare definește totalitatea operațiunilor de obținere a aliajelor în diferite agregate termice, prin topirea încărcăturii solide și prelucrarea acesteia în fază lichidă. Prelucrarea în fază lichidă poate

cuprinde o multitudine de procese metalurgice (aliere, dezoxidare, oxidare, degazare etc.) ce se pot desfășura în agregatul termic de elaborare sau în afara acestuia în instalații și utilaje auxiliare. Dat fiind faptul că structura și proprietățile aliajelor sunt influențate în mod hotărâtor de procesul de elaborare, această etapă este considerată cea mai importantă la obținerea materialelor metalice și ca urmare va deține ponderea în prezentul capitol.

Agregatele de elaborare industriale cele mai utilizate la elaborarea fontelor sunt:

- cubiloul;
- cuptorul electric cu încălzire prin inducție;
- cuptorul electric cu arc;

2.3.1 Elaborarea fontelor în cubilou

Cubiloul este un agregat de elaborare tip cuvă, cu funcționare continuă ce utilizează drept combustibil coșul de turnătorie. Este considerat agregatul de bază pentru elaborarea fontei deoarece deține ponderea în ceea ce privește cantitatea de fontă elaborată (în România se elaborează în cubilou cca. 75% din totalul cantității de fontă produsă).

Din multitudinea de tipuri și variante constructive poate fi făcută următoarea clasificare a cubilourilor:

- a) după profilul interior al cuvei: cilindrice sau tronconice;
- b) după caracterul chimic al căptușelii: cubilouri acide, neutre și bazice;
- c) după combustibilul utilizat: cubilouri cu combustibil solid, cu combustibil mixt, solid + lichid sau solid + gaz;
- d) după caracteristicile constructive:
 - cubilouri fără antecreuzet;
 - cubilouri cu creuzet fix sau basculant;
 - cubilouri cu răcirea mantalei sau fără răcire;
 - cubilouri cu parascânteii, umed sau uscat;
 - cubilouri cu aer rece sau cald.

2.3.1.1. Construcție generală și funcționare

În figura 2.11 este prezentat un cubilou cu cuvă cilindrică cu căptușeală acidă (12) prevăzut cu trei rânduri de guri de aer (8) cu antecreuzet fix (25) și parascânteii (19).

Productivitatea cubilourilor variază în limite largi între 1... 100 t/h în funcție de diametrul interior al cuvei care poate fi cuprins între 500...3700 mm.

Cubiloul (fig. 2.12) este un cuptor cilindric vertical, construit din manta de tablă de oțel (14) cu grosimea de 6...12 mm, căptușit în interior cu zidărie refractară (12) cu grosimea de 180...300 mm.

Construcția cubiloului este susținută de o placă de bază (5) cu grosimea de 50... 100 mm, turnată din fontă sau oțel. Placa de bază se sprijină pe patru stâlpi de susținere (2), din fontă sau oțel, fixați cu șuruburi de ancorare în fundația cubiloului (1).

La partea inferioară cubiloul este închis cu un suport al vetrei (4), realizat dintr-una sau două plăci rabatabile solidarizate cu ajutorul unui dispozitiv de blocare de diferite construcții (3). Suportul vetrei susține întreaga încărcătură a cubiloului.

Între nivelul vetrei (6) și planul rândului inferior de guri de aer se găsește creuzetul cubiloului (7) *hc* iar de la acest nivel și până la gura de încărcare - cuva cubiloului (11).

Cuva cubiloului este realizată din zidărie de șamotă sau masă refractară stampată în zona creuzetului, zona gurilor de aer și cea de topire și din zidărie de șamotă deasupra zonei de topire. Pe distanța vatră - parascânteii este realizat un spațiu de izolare (13) de 30...45mm între mantaua metalică (14) și căptușeala refractară (12).

La partea superioară a cuvei imediat sub pragul gurii de încărcare, cubiloul este căptușit cu plăci de fontă sau din oțel (29) pentru a asigura o rezistență la solicitările mecanice deosebite care au loc în timpul încărcării cubiloului.

Gura de încărcare (16) trebuie să permită încărcarea cubiloului în bune condițiuni, pentru metoda de încărcare folosită. Deasupra platformei de încărcare (15) cubiloul este prelungit până deasupra acoperișului halei (21) cu un coș (17) de tablă cu căptușeală refractară subțire, (140 mm) (18). La partea superioară, coșul este prevăzut cu o instalație parascânteii (19), care asigură purificarea gazelor și stingerea particulelor aprinse.

Încărcarea cubiloului are loc mecanizat, folosindu-se diferite sisteme de încărcare și de dozare a încărcăturii.

Introducerea aerului necesar combustiei are loc printr-un sistem de guri de aer (8) racordată la o cutie de aer (9). Această cutie inelară este alimentată cu aer de la o suflantă sau de la un ventilator printr-o conductă de aer (10).

Evacuarea din cubilou a fontei și zgurei are loc continuu, la cubilourile cu antecreuzet (25), sau periodic - la cubilourile fără antecreuzet, printr-un orificiu (24) și jgheab de evacuare.

În vederea acumulării unor cantități mai mare de fontă, pentru turnare, precum și pentru a asigura o omogenizare a compoziției chimice, cubilourile sunt prevăzute cu antecreuzete, fixe (25) sau basculante.

Încălzirea acestor antecreuzete, cu un combustibil lichid sau gazos sau pe cale electrică asigură și o supraîncălzire a fontei.

După terminarea topirii și evacuarea fontei și zgurii lichide se deblochează suportul vetrei (4), se demolează vatra (6), iar reziduurile incandescente (cocs și resturi de fontă și zgură) din cubilou curg într-un vagonet (23) cu care sunt îndepărtate. La cubilourile mai mici descărcarea se poate avea loc direct în groapa de la baza cubiloului.

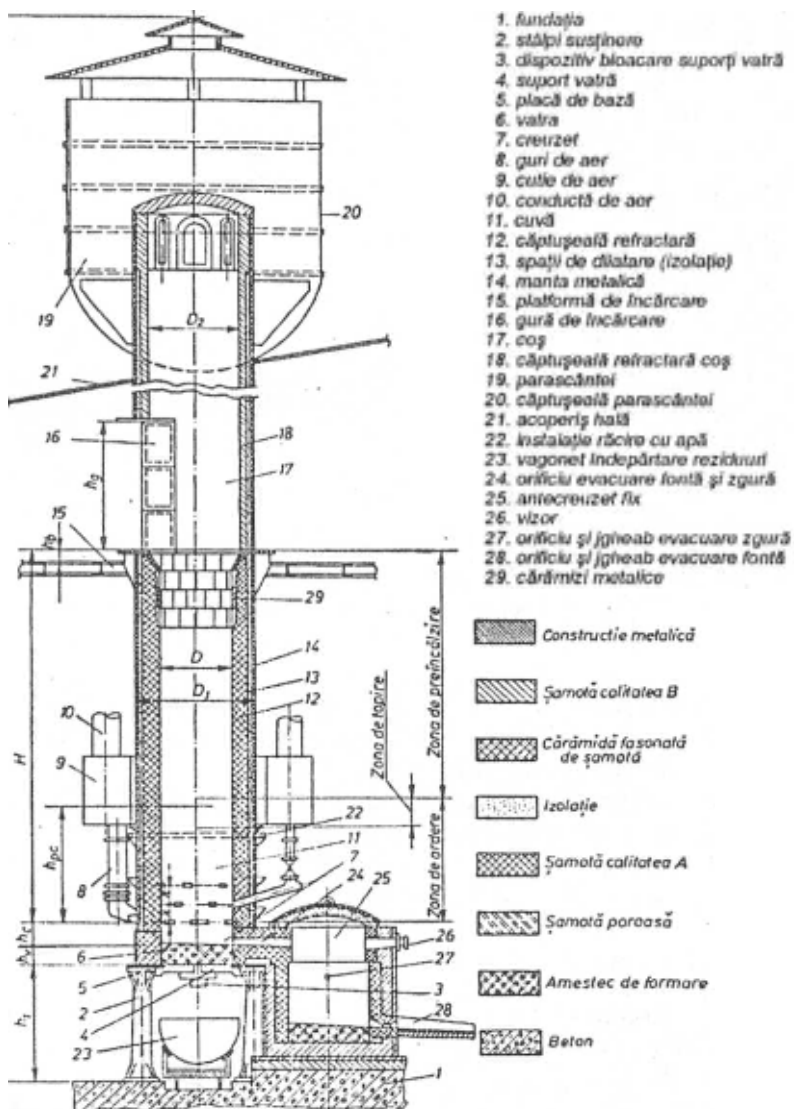


Fig. 2.11 Schema constructivă generală a unui cubilou

Încărcătura cubiloului este formată din două părți principale: pulul de cocs și o zonă cu mai multe porții de încărcătură poziționate succesiv până la gura de încărcare (fig. 2.12).

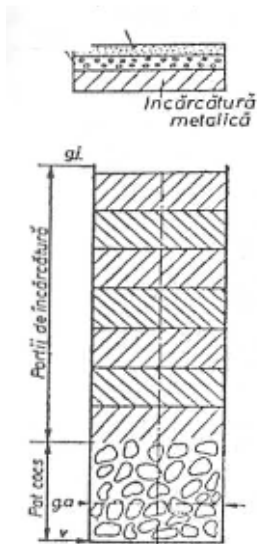


Fig. 2.12 Poziționarea încărcăturii pe înălțimea cubiloului
 v - vatră,
 ga - nivelul gurilor de aer,
 gi - nivel gură de încărcare

Cocsul din patul de cocs arde în prezența oxigenului insuflat prin gurile de aer și produce căldura necesară prin topire. Nivelul patului de cocs este menținut de cantitatea de cocs din porțile succe-sive de încărcătură care coboară odată cu topirea încărcăturii metalice situate la partea superioară a patului de cocs. Gazele de ardere produse în patul de cocs au o circulație ascendentă, trecând prin porțile de încărcătură și cedând acestuia energia necesară încălzirii și topirii.

Încărcătura metalică poate fi compusă din: fontă de primă fuziune, fontă veche, oțel vechi, deșeuri proprii (recirculat) și feroaliaje. Calcarul este utilizat în încărcătură uneori asociat cu fluorura de calciu (CaF_2) ca fondant ce participă la formarea zgurii.

2.3.1.2 Calculul încărcăturii metalice

Pentru efectuarea calculului încărcăturii metalice și stabilirea proporției componentelor din încărcătură se pot folosi metode grafice și analitice. În cazul unei încărcături formate din patru componente (de exemplu: A% - fontă nouă; B% - fontă veche; C% - deșeuri proprii; D% oțel vechi) se formează un sistem de ecuații de forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} \%A \cdot C_A + \%B \cdot C_B + \%C \cdot C_c + \%D \cdot C_D = <C> \cdot 100 \\ \%A \cdot Si_A + \%B \cdot Si_B + \%C \cdot Si_c + \%D \cdot Si_D = <Si> \cdot 100 \\ \%A \cdot Mn_A + \%B \cdot Mn_B + \%C \cdot Mn_C + \%D \cdot Mn_D = <Mn> \cdot 100 \\ A + B + C + D = 100 \end{array} \right.$$

unde: %A, %B, %C, %D reprezintă procentele sorturilor A, B, C și din încărcătură;

$C_{A, B, C, D}$, $Si_{A, B, C, D}$ și $Mn_{A, B, C, D}$ - procentul de C, Si, și Mn din sorturile A, B, C și D.

<C>, <Si>, <Mn> - concentrația sau conținutul acestor elemente în încărcătură, calculate luându-se în considerare arderile elementelor și compoziția finală a fontei.

Pentru calculul termenilor liberi <C>, <Si>, <Mn> se folosesc relațiile:

$$<C> = \frac{[C] - K}{\beta} \quad (2.16)$$

$$<Si> = \frac{[Si]}{1 - \frac{8 \cdot Si}{100}} \quad (2.17)$$

$$<Mn> = \frac{[Mn]}{1 - \frac{\alpha_{Mn}}{100}} \quad (2.18)$$

unde: [C], [Si], [Mn] - conținutul de element din fonta lichidă evacuată din cubilou, %;

K - coeficientul de carburare în cubilou (1,7...2,0) cubilou cu aer rece și (2,0...2,5) cubilou cu aer cald;

β - coeficient de recuperare a carbonului din încărcătură ($\beta = 0,4...0,6$).

Sistemul poate fi simplificat la trei ecuații cu trei necunoscute, dacă se determină în prealabil participația deșeurilor proprii (D) sau pur și simplu se impune. Deșeurile proprii pot fi calculate utilizând valoarea indicelui de scoatere I_s .

$$I_s = \frac{G_p}{G_i} \cdot 100 \% \quad (2.19)$$

unde: G_p reprezintă cantitatea de piese bune obținute, în Kg.
 G_i , cantitatea totală a încărcăturii metalice utilizate, în Kg.

2.3.1 Elaborarea materialelor metalice feroase

Dacă se ține seama și de o cantitate de pierderi nerecuperabile care reprezintă cca. 2...6% din încărcătură (pierderi prin oxidare, ștrapi, scoarțe etc.) se poate calcula cantitatea de deșeuri proprii utilizând relația:

$$D = 100 - I_s - (2...6\%), [\%] \quad (2.20)$$

Pentru alierea fontei în cubilou calculul necesarului de materiale de materiale de adaos se poate face cu relația:

$$Q_{FE} = \frac{\langle E_n \rangle - \langle E_r \rangle}{E_Q \cdot (100 - a_E)} \cdot 10^4 \quad (2.21)$$

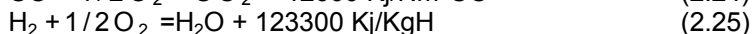
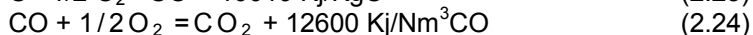
unde: Q_{FE} , cantitatea de feroaliaj necesar în încărcătura, în %;
 $\langle E_r \rangle$, cantitatea de element E, existent în încărcătură, în %;
 $\langle E_n \rangle$, cantitatea de element E, necesar în încărcătură, în %;
 $\langle E_Q \rangle$, concentrația de element de aliere E din feroaliaj, în %
 a_E , arderea elementului de aliere E, în %

Calculul necesarului de cocs se face după un algoritm de calcul ținând seama de o serie de parametri din care fac parte: masa încărcăturii metalice din porția de încărcătură, caracteristicile cocsului, diametrul cubiloului etc.

Topirea și supraîncălzirea fontei are loc datorită schimbului de căldură dintre cele două elemente metal-gaze, datorită căruia încărcătura metalică se va încălzi de la temperatura de intrare în cubilou, 20 °C până la cea de topire (T_E), schimbul având loc în principal prin convecție.

Topirea încărcăturii are loc în momentul în care într-o anumită porțiune a bucății metalice este atinsă temperatura de topire și primele picături de fontă trec printre granulele de cocs incandescent, supraîncălzindu-se în drumul lor spre creuzetul cubiloului. Bucățile de cocs transmit căldura picăturilor de fontă prin radiație și conductibilitate, în timp ce gazele prin convecție și radiație.

Radiațiile chimice ce produc energie calorică în cubilou se desfășoară în zona „de ardere” deasupra nivelului gurilor de aer și sunt următoarele:

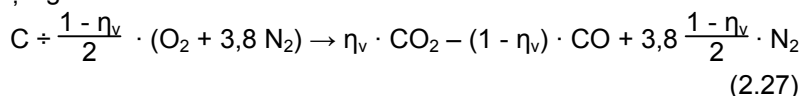


Caracteristicile procesului de ardere, respectiv participarea carbonului la arderea completă sau incompletă sunt ilustrate de coeficientul de ardere η_v dat de relația:

$$\eta_v = \frac{CO_2}{CO_2 + CO} \quad (2.26)$$

Caracterizarea diferitelor zone de cubilou și deci a funcționării acestuia este realizată prin intermediul analizei gazelor (CO_2 , CO , O_2), coeficientului de ardere η_v și temperaturii gazelor (T_g).

Reacția generală de ardere devine:



Schimbul de căldură în contracurent realizat în cubilou asigură o capacitate mare de topire, la un randament termic ridicat (60...70%). Un dezavantaj îl prezintă supraîncălzirea din patul de coals care nu permite obținerea fontei la temperaturi mai mari de 1400°C. Din aceste considerente elaborarea fontei în cubilou poate fi secundată de utilizarea agregatelor electrice de elaborare și anume cuptoarele electrice cu încălzire prin inducție.

2.3.2 Elaborarea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin inducție

Cuptorul electric cu inducție este utilizat în industrie începând cu anul 1930. În cursul anilor a evoluat mult din punct de vedere constructiv și funcțional, fiind utilizat atât la elaborarea algeilor feroase cât și celor neferoase în condiții de calitate superioară. Capacitatea de topire a acestor cuptoare a crescut continuu ajungându-se astăzi la valori de cca. 50 t. Încălzirea prin inducție se bazează pe principiul inducerii unui câmp magnetic variabil în încărcătură metalică și generării energiei calorice prin efectul Joule -Leuz al curenților turbionari induși și prin efectul caloric produs de pierderile de energie prin histerezis magnetic (în cazul încărcăturii feromagnetice, instalația unui cuptor cu inducție cu creuzet este prezentată în figura 2.13).

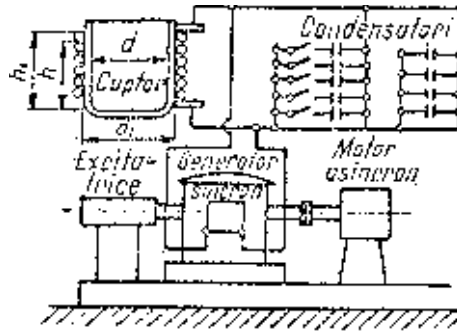


Figura 2.13 Schema instalației generale a unui cuptor cu inducție cu creuzet.

Cuptoarele cu inducție pot fi clasificate după frecvența tensiunii de alimentare în cuptoare de joasă frecvență (50 Hz), medie frecvență (100... 10 KHz) sau înaltă frecvență (50...400 KHz).

Din punct de vedere al naturii chimice a căptușelii pot fi cuptoare cu căptușeală neutră, acidă și bazică. După particularitățile constructive, cuptoarele cu încălzire prin inducție pot fi cu creuzet și cu canal.

Capacitatea cuptoarelor de medie frecvență variază în limitele 0,8 - 60 t, la un consum specific de energie de 520...700 KW/t, cele de medie frecvență cu capacitatea cuprinsă între 0,1... 101.

În figura (2.14) este prezentat un cuptor cu inducție cu creuzet utilizat pentru elaborarea fontei.

Materialele și realizarea căptușelii refractare (creuzetul) depinde în mare parte de tipul fontei, compoziția chimică și temperatura de elaborare. Diametrul creuzetului este corelat cu frecvența curentului din inductor ținând seama de relația:

$$\delta = 5,03 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{r \cdot f}} \text{ [mm]} \quad (2.27)$$

Unde: ρ este rezistența electrică a încărcăturii

r - permeabilitatea magnetică a încărcăturii;

f - frecvența curentului, în Hz.

Rezultă de aici că la frecvențe mari adâncimea de pătrundere a curentului este mică și pentru a se putea realiza topirea întregii încărcături în condiții economice este necesar un creuzet cu diametru mic. De aceea cuptoarele industriale de capacități mari sunt în clasa cuptoarelor de joasă frecvență (50 Hz).

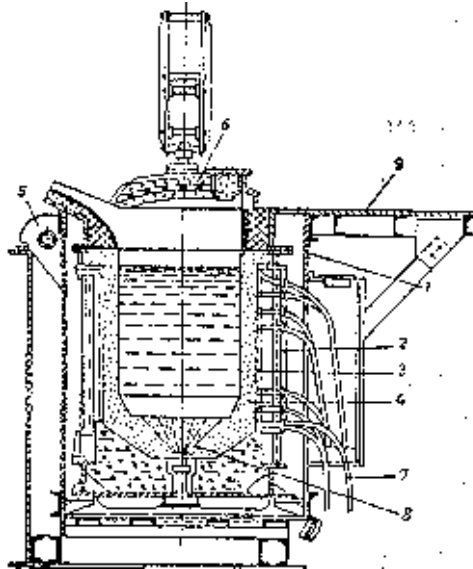


Fig. 2.14 Construcția generală a unui cuptor cu inducție cu creuzet:

- 1 - carcasă; 2 - pachete conductori magnetici; 3 - inductor; 4 - creuzet; 5 - mecanism basculare; 6 - capac; 7 - conducte apă răcire; 8 - sistem semnalizare avarii; 9 - platformă

Randamentul electric maxim al cuptorului se obține în cazul satisfacerii relației:

$$\frac{d}{\sqrt{2 \cdot \delta}} \geq 7 \quad (2.28)$$

în care d este diametrul interior al creuzetului.

Din cele două relații, (2.27) și (2.28) rezultă valoarea frecvenței minime a curentului electric în funcție de diametrul creuzetului (d) și caracteristicile încărcăturii metalice (ρ și u).

$$f \geq \frac{25 \cdot 10^6 \cdot \rho}{r \cdot d} \quad [\text{Hz}] \quad (2.29)$$

În topitura cuptorului cu inducție acționează forțe electrodinamice care produc agitarea băii metalice cu mișcări circulare ce creează o formă convexă a suprafeței băii metalice, cu înălțimea maximă pe axa de simetrie a creuzetului. Gradul de agitare electromagnetică a topiturii (brasajul) poate fi calculat cu relația:

$$h_m = \frac{7,9 \cdot P_i}{\sqrt{\mu p f \cdot G \cdot 10^6}} \cdot \frac{d}{h_z} \cdot 100 [\%] \quad (2.30)$$

în care: h_m - gradul de agitare electromagnetică, în [%];
 P_i - puterea indusă în cuptor;
 h_z - înălțimea topiturii în inductor, în [m];
 G - cantitatea de fontă lichidă în cuptor, în [t].

Fenomenul de agitare a topiturii prezintă o serie de avantaje, cum ar fi omogenizarea fizică și chimică a băii metalice, intensificarea unor procese metalurgice (aliere, eliminarea impurităților gazoase și solide etc.) dar la valori prea mari ale agitării topiturii și în special la regimuri termice ridicate se constată o erodare avansată a creuzetului cuptorului.

Elaborarea fontei se efectuează în general în creuzete executate din material refractar acid. Materialul refractar utilizat îl constituie cuarțita granulară cu adaos de acid boric ca liant. Compoziția chimică a cuarțitei este: minim: 97,5% SiO_2 ; maxim: 1,0% Al_2O_3 ; maxim: 0,5% Fe_2O_3 ; maxim: 0,5% CaO ; maxim 0,3% H_2O .

Acidul boric tehnic cristalizat este utilizat în limitele 1,5...2,0% și la o granulație de sub 0,5 mm.

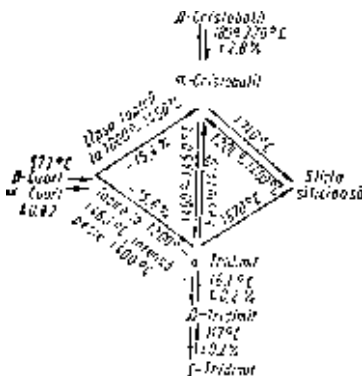


Fig. 2.15 Schema modificărilor structurale ale cuarțului

Pentru realizarea creuzetului refractar, amestecul cuarțita - acid boric introdus și ștampat în cuptor, în spațiul dintre șablon și indicatorul protejat cu plăci refractare (azbest, vată minerală etc.) se procedează la o încălzire a acestui material refractar astfel încât transformările alotropice ale cuarțului (fig. 2.15) care au loc cu modificarea volumului să nu conducă la fisurare.

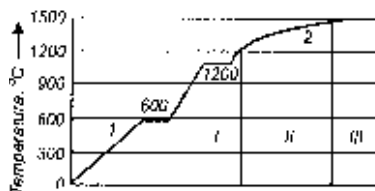


Fig. 2.16 Diagrama generală de sintezare a căptușelii acide a cuptoarelor cu inducție cu creuzet

Durabilitatea căptușelii refractare depinde în mare măsură de calitatea materialului de ștampare și de procesul tehnologic de sinterizare dar și de o serie de alți factori cum ar fi: compoziția chimică a fontei elaborate, temperatura de supraîncălzire, interacțiunea materialelor din încărcătură cu căptușeala etc. Materialele metalice utilizate în încărcătură sunt în principiu aceleași ca la elaborarea fontei în cubilou: 5-25% fontă de primă fuziune; 30-60% deșeuri proprii de fontă; 20-40% oțel vechi, 45-60% fontă veche. Spre deosebire de cubilou în cuptorul cu inducție se poate elabora și fontă sintetică utilizând în încărcătură 100% oțel și material carburant cu concentrație foarte mare de grafit (spărturi de electrozi, prealiaje pentru carburare). Un alt avantaj legat de încărcătură este posibilitatea utilizării în încărcătură a materialelor metalice de dimensiuni scăzute cum ar fi șpanul, de exemplu.

Eficiența elaborării în cuptorul cu inducție și chiar securitatea în funcționare depinde de modul de încărcare și de pregătirea încărcăturii metalice din punct de vedere dimensional și al gradului de puritate, temperaturii, compactității etc.

În concluzie se poate afirma că elaborarea fontelor în cuptoarele cu inducție are următoarele avantaje în comparație cu elaborarea în cubilou:

- obținerea unei compoziții precise și omogene;
- temperatura de supraîncălzire mai ridicată ce poate ajunge la valori de 1700 °C;
- utilizarea unei încărcături ieftine ce nu conține fontă de primă fuziune (deșeuri de oțel și fontă șpan);
- poluare mai redusă a mediului uzinal și periuzinal.

2.3.3 Elaborarea fontei în cuptoare electrice cu arc

În comparație cu cuptoarele cu inducție cuptoarele electrice cu arc au un randament termic la topire de cca. 80...85%, ceva mai ridicat decât cuptoarele cu inducție și o productivitate mai mare cu 20 - 30 %. Un alt avantaj este reprezentat de utilizarea unei încălziri mai ieftine cu un nivel mai ridicat de impurități (oxizi, incluziuni metalice și nemetalice) dat fiind faptul că zgura posedă o temperatură ridicată și poate fi activă, prin intermediul ei realizându-se procese de afinare, desulfurare, defosforare etc.

Trebuie însă menționat și o serie de aspecte negative ale utilizării cuptoarelor cu arc la elaborarea fontei:

randament scăzut la supraîncălzire de sub 25%;

- pierderi prin oxidare a elementelor chimice, ridicate;
- neomogenitate fizică și chimică mai mare decât la cuptorul cu inducție;
- nivel de poluare ridicat prin degajarea unui volum mare de gaze, praf și fum în perioada de topire.

Capacitatea cuptoarelor cu arc pentru elaborarea fontei este cuprinsă între 0,5 și 50 t dar se utilizează în general cuptoare cu capacitatea de până la 25 t. Aceste agregate sunt eficiente în special la elaborarea fontelor aliate speciale și a fontei cu aspect nodular. De asemenea și sistemul duplex în care cuptorul cu arc este utilizat la topire (având un randament ridicat la topire) după care fonta poate fi trecută într-un cuptor cu inducție cu creuzet sau cu canal, pentru menținere și supraîncălzire. În alt caz cuptorul cu arc poate secunda cubiloul preluând fonta pentru corecția compoziției chimice și supraîncălzire.

2.3.4 Tratarea fontei lichide în afara agregatului de elaborare

Dintre prelucrările de natură termică, mecanică și chimică ce se efectuează asupra fontei lichide în afara agregatului de elaborare modificare și desulfurarea sunt cele mai importante. Modificarea fontei cu elemente chimice denumite modificatori acționează asupra structurii primare și conduce la schimbarea condițiilor de germinare și cristalizare în scopul obținerii unor proprietăți superioare.

Tratamentul de modificare a fontei poate avea ca scop: obținerea fontelor cu grafit nodular, vermicular sau a fontelor cu grafit lamelar modificat.

Tehnologia de obținere a fontelor prin modificare conține patru părți importante:

- determinarea consumului de modificador;
 - stabilirea temperaturii de modificare;
 - alegerea modalității de introducere a modificadorului în fonta lichidă
- controlul efectului modificador.

Obținerea fontei cu grafit lamelar modificat se realizează prin introducerea în fonta lichidă a unor modificadori ce produc grafitizarea fontei, eliminarea cementitei libere și favorizează separarea grafitului lamelar cu vârfuri rotunjite și uniform repartizat în structură. Microstructura fontei înainte și după modificare este prezentată în fig. 2.17 unde se relevă o structură de fontă pestriță înaintea de modificare și transformarea acestei structuri în fontă cenușie perlitică după modificare.

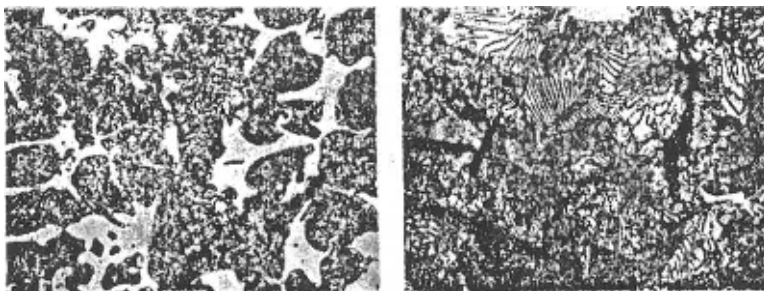


Fig. 2.17 Aspecte caracteristice ale microstructurii fontei înainte de modificare (a) și după modificare (b) (x200)

Acest tip de modificare se aplică pentru obținerea mărcilor de fontă cenușie cu rezistență la tracțiune mare ($\sigma_r = 250 \dots 400 \text{ N/mm}^2$).

Având o acțiune grafitizantă se mai utilizează în a doua etapă a obținerii fontelor cu grafit vermicular și nodular. Efectul modificador se obține prin adaosuri în fontă lichidă, prin diverse tehnici, a unuia sau mai multora din următoarele elemente chimice: Ca, Ba, Ce, Zr, Al, Ti, Mg, Si, C. Fontele destinate modificării trebuie să aibă un grad de saturație în carbon scăzut care să asigure încadrarea fontei în

domeniile fontelor albe sau pestrițe. În urma modificării adaosul scăzut de siliciu, odată cu elementele modificatoare determină trecerea fontelor în domeniul fontelor cenușii perlite (fig. 2.18).

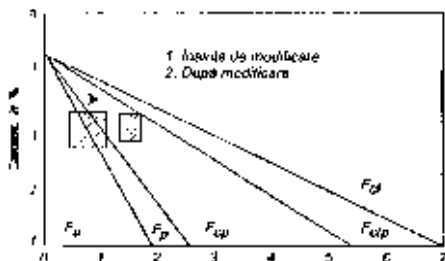


Fig. 2.18 Domeniul fontelor cu grafit lamelar modificate pe diagrama Maurer

În limite largi compoziția fontelor cu grafit lamelar înaintea modificării este: C = 2,8...3,2%, Si = 0,6...2,0%, Mn = 0,6...1,2%, P_{max} = 0,1%, δ = 0,1%.

Obținerea fontelor cu grafit nodular și vermicular se bazează în principiu pe introducerea în fonta lichidă a unor elemente ca: Mg, Ce, Y, Ca, Li, Na în stare pură sau sub formă de prealaje. Elementele menționate au acțiune antigrafitizantă și favorizează formarea cementitei libere la solidificarea fontei.

Pentru a anihila acțiunea antigrafitizantă a modificatorilor, compoziția chimică a fontei înaintea modificării are concentrații ridicate de carbon și siliciu: C = 3,4...3,9%, Si = 2,1...2,9% rezultând grade de saturație în carbon situate în jurul valorilor: S_c = 0,93...1,07 iar carbonul echivalent C_e = 4,0...4,6%.

Menținerea fontei modificate în stare lichidă, o perioadă mai mare de timp duce la scăderea conținutului elementelor modificatoare, la decantarea germinilor de grafitizare și dezactivarea lor, fenomene care concurează la pierderea efectului modificador. Influența efectului modificador asupra structurii fontelor este prezentată în fig. 2.19.

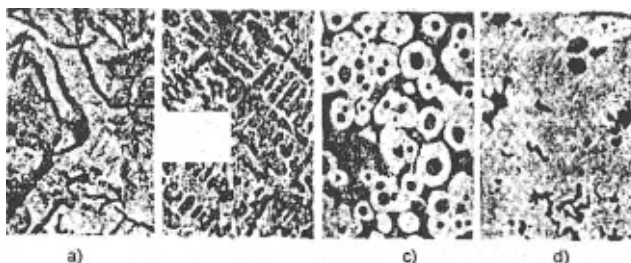


Fig. 2.19 Succesiunea microstructurii fontelor în procesul de modificare (x100):

a) fonta înainte de modificare; b) fontă după modificare cu magneziu; c) fontă după postmodificare cu siliciu; d) fonta modificată după menținerea peste 20 min. în stare lichidă.

S-a constatat că efectul modificador maxim se manifestă după 2...3 min. de la modificare, ceea ce impune executarea operației de turnare într-un timp relativ scurt după modificare.

În practica industrială se utilizează modifikatori complecși (tabelul 2.1a) care conțin și elemente puternic grafitizante (Al, Ca, Ba, Si) pentru ca postmodificarea să se execute simultan cu modificarea.

Magneziul este principalul element modificador utilizat la obținerea fontelor cu grafit nodular. La inocularea fontei cu Mg se produc o serie de procese: topire (650 °C) și vaporizare (1107°C) reacții cu oxigenul, sulful, elemente antimodificatoare, degajări puternice de căldură, agitarea fontei, efect piroforic, eliminarea unor cantități mari de gaze etc. Din acest motiv se impun atât condiții tehnice deosebite cât și măsuri corespunzătoare de protecție.

Poate fi utilizat și magneziu metalic dar având în vedere densitatea scăzută (1,7g/cm³) mult mai mică decât cea a fontei (6,8g/cm³) este necesară introducerea forțată a magneziului în topitură. Cantitatea de magneziu ce trebuie adăugată în fonta lichidă (Mg_{nec}) poate fi calculată cu relația:

$$Mg_{nec} = \frac{Mg_{rem} + 0.75 \cdot (S_{in} - S_{rem})}{\eta_{Mg}} [\%] \quad (2.31)$$

unde: Mg_{nec} - conținutul critic de magneziu ce trebuie asimilat în fontă pentru obținerea grafitului nodular, în %;

S_{in}, S_{rem} - concentrația de sulf inițială și remanentă, în %;

0,75 - raportul maselor atomice Mg/S (24/32 = 0,75);

η_{Mg} - gradul de asimilare a magneziului la modificare, în %.

Tabelul 2.1a Modificatori pentru producerea fontelor cu grafit lamelar

Elemente de	Modificatori	Compoziția chimică, in %									
		Si	Ca	Mg	Ba	Ce (PR)	Ni	Cu	Alte elemente		
Si	Nodulin S1	45...52	0,5...2,5	4,5...6	1...3	0,5...1	-	-	max. 1,5 Al		
	Nodulin S2	45...52	0,5...2,5	8...12	4,5...5	0,5...1	-	-	max. 1,5 Al		
	Nodulin SC1	45...52	0,5...2,5	4,5...6	,5	0,8...5,5	-	-	max. 1,5 Al		
	Nodulin SC2	45...52	0,5...2,5	8...12		0,35...1,0	-	-	max. 1,5 Al		
	Nodulin SB1	45...52	0,5...2,5	4,5...6		0	-	-	max. 1,5 Al		
	Nodulin SB2 VL	45...52	0,5...2,5	8...12			-	-	max. 1,5 Al		
	55,0 - VL 63 S	45...55	0,5...5,0	6...32			-	-	max. 1,0 Al		
	Nodulou 3R -	44...48	0,8...1,3	2,8...10			-	-	1...4 Al		
	9R Innotal IPB	45...50	0,5...5	9...11			-	-			
		35...90		7...13			-	-			
Ni	Nodulin N NiMg	5...12	0,5...1,5	13...16	-	-	61...67	-	max. 1,5 Al		
	NiSiCaMg (I)	30...40	0,2...1,5	14...20			7	-	20 Cr		
	(IPB) NiSiCaMg	3...10	0,5...3,0	7...12			80...86	-			
	(II) (IPB) NiSiMg	6...10		6...12			6	-			
	(F) (IPB) NiSiMg			12...18			50...65	-			
	(IPB) Ni-Cr-Mg			10...14			5	-			
				5...15			20...30	-			
Cu	Cu-Mg CuMg	-	-	15...50	-	-	60...75	>50	27...31 Al 5		
	CuSnMnMg (IPB)	-	-	15 8...15	-	-	0	85	Sn...4 Fe		
							65...75	45...55			

Pentru obținerea grafitului nodular este necesar să se obțină după modificare un magneziu remanent de 0,04...0,08%. La concentrații mai mari apar forme degenerare de grafit iar la concentrații mai mici apare grafitul vermicular. Concentrația de magneziu remanent poate fi corelată cu grosimea de perete a piesei și cu cantitatea de carbon și siliciu din fontă, conform relațiilor:

$$Mg_{rem} = 0,04 + 0,005 \cdot g \text{ [%]} \quad (2.32)$$

$$Mg_{rem} = 0,008 \cdot (C + Si) + 0,00015 \cdot e \text{ [%]} \quad (2.33)$$

unde: g - grosimea de perete, în mm

C, Si - concentrația de C și Si în fontă, în [%]

În cazul utilizării prealiajelor de Mg necesarul de modifikator este determinat de relația:

$$Q_M = \frac{0,76 \cdot (S - 0,001) + Mg_{rem} + \tau \cdot 10^{-3}}{\frac{\eta_{Mg} \cdot Mg_M}{100}} \cdot \left(\frac{T}{1450}\right)^2 \cdot P \text{ [Kg]} \quad (2.34)$$

unde: S - concentrația de sulf în fonta supusă modificării [%];

Mg_{rem} - conținutul remanent de magneziu necesar nodulizării, (0,04...0,08%)

Din relația (2.34) rezultă influența factorilor tehnologiei asupra consumului de modifikator. De remarcat este necesitatea unui conținut scăzut de S în fontă (max. 0,05%) și necesitatea turnării într-un timp cât mai scurt după modificare. Temperatura de modificare trebuie ridicată la valori de 1450°-1500 C pentru a elimina produsele reacțiilor de desulfurare și a compensa efectul scăderii temperaturii, chiar dacă creșterea temperaturii scade randamentul de asimilare al magneziului (η_{Mg}).

Din varietatea tehnicilor de introducere a modifcatorilor în fonta lichidă în figura (2.20) sunt prezentate cele mai reprezentative.

Obținerea fontelor cu grafit vermicular sau compact se utilizează la scară industrială mai largă relativ recent, abia începând cu anii 1970. Tratamentul de modificare se aplică unor fonte cu compoziția chimică cuprinsă în următoarele limite: 3,4...3,8%C, 1,4...2,0% Si, 0,2...1,2%Mn, 0,01 ...0,08% P, 0,005...0,08% S. Spre deosebire de producerea fontei cu grafit nodular se admit concentrații ceva mai mari de sulf și se admit concentrații mai mari de mangan pentru a obține o structură feritică. La aceste fonte efectul modifikator este mai stabil decât la fontele nodulare, timpul până la turnare și solidificare se admite mai larg și prin urmare se poate aplica și la piese cu grosime mai mare de perete, atât în ceea ce privește structura masei metalice cât și complexitatea grafitului.

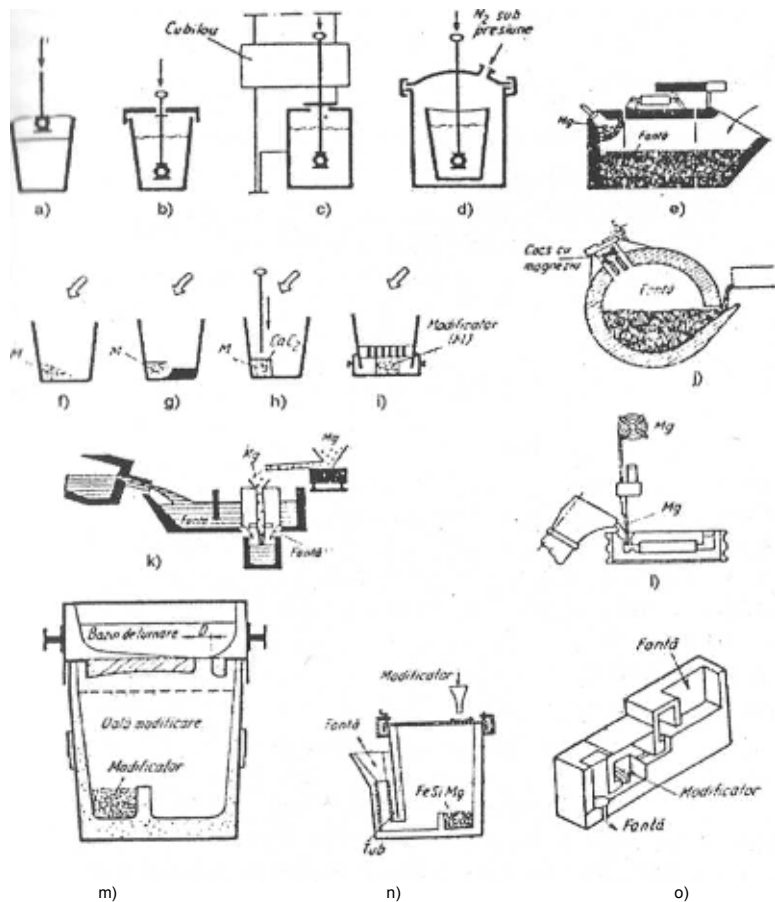


Fig. 2.20 Tehnici de modificare a fontei cu magneziu:

- a...d - modificare cu clopot (a - oală deschisă; b - oală cu capac; c - în antecrezetul cubiloului; d - oală sub presiune/autoclavă); e - convertizorul Fischer;
 f...i - modificator la baza oalei (f - fără protecție; g - procedeul Sandwich; h - metoda Trigger; i - procedeul T-Nock); j - procedeul CQ; m - procedeul Tundish-Cover;
 n - procedeul Tea Pot; o - procedeul Foltret)

Pentru obținerea fontei cu grafit vermicular în principiu se utilizează aceleași tehnici de introducere a modificatorilor în fontă dar diferă tipurile de feroaliaje și concentrațiile acestora. În tabelul 2.2 sunt prezentate câteva variante tehnologice de obținere a fontei cu grafit vermicular.

Efectul modificador în cazul folosirii modulatorilor de tip FeSiCaMg, este foarte greu de controlat deși prezintă avantajul utilizării unui modificador uzual.

Stabilitatea tratamentului de modificador este mărită prin înglobarea alături de Hg a unor elemente antinodulizante: Mg-Ti, Mg-Ti-Al, Mg-Ti-Sb etc (varianta II, tabelul 2.2).

Tabelul 2.2. Tipuri de modicatori utilizați la obținerea fontelor de grafit vermicular

Variantă modifi care	Modifi care	Compoziția chimică a fontei modificate					Observații
		.Mg	. Ce	Ti	A	Alte elemente	
I	FeSiCaMg	0.01...0.025	—	—	—	—	—
II	FeSiCaMgTi FeSiCaMgTiAl	0,015...0,03 0,015...0,035	—	0,06...0,13 0,06...0,15	0,05...0,20	0,02...0,12 Sb	¹⁶ Al + ⁴⁴ Ti = 10...25
III	MgTiSn	0,015...0,035	—	0,02...0,09	-	0,02...0,12 Sb	Ti + Sb > 5 Mg
IV	Ce (metalic) Mischmetall (MM)	—	0,02...0,06 0,10, 0,15 PR	—	—	—	%S
V	FeSiCaMgCe (A) Mg + MM (B)	0,01...0,02 0,006	0,005...0,007 0,013	—	-	-	25...100 mm
VI	FeSiCaAlMgCe (A) FeSiMgCeTi	0,01.- 0,015 0,0015.-	0,02 0,002...0,01	0,02...0,01	0,25		-

Se practică, de asemenea, cu succes, modifi carea cu pământuri rare în cantități scăzute. Ceriul constituie un modificador deosebit deoarece are acțiune modifi catoare specifică relativ scăzută și nu acționează asupra grafitului eutectic. Se folosește în combinații do tipul Fe-Ce sau Misschmetall (MM).

Temperatura fontei la modifi care indiferent de tipul de modificador utilizat este cuprinsă între intervalul 1400... 1450 °C.

Tratamentele de modifi care prezentate conduc la obținerea unor fonte cu proprietăți îmbunătățite: $\sigma_t = 300...600\text{N/mm}^2$, $A = 1,5...8\%$, $120...250\text{HB}$.

2.4 Obținerea oțelurilor

Fără îndoială oțelul este unul dintre cele importante materiale metalice ale epocii noastre. Odată cu creșterea producției de oțel la nivel mondial s-au produs schimbări importante în tehnologiile de elaborare cu implicații asupra îmbunătățirii calității oțelului produs,

tehnologiile diverse de elaborare pot fi clasificate după următoarele criterii: modul de desfășurare a reacțiilor chimice în procesul de elaborare sau modul de asigurare a energiei calorice necesare în procesul de elaborare.

După modul de desfășurare a reacțiilor chimice tehnologiile de elaborare se clasifică astfel:

- tehnologii la care reacțiile au loc prin intermediul zgurei, unde se includ tehnologiile Martin și cele în cuptorul electric cu arc, în variantele fără suflare de oxigen în baie;
- tehnologii la care reacțiile au loc atât prin intermediul zgurei cât și direct cu oxigenul, unde se includ procedeul Martin, electric cu arc cu suflare de oxigen în baie și elaborare în convertizor (Thomas, LD, OBM, AOD, CLU);
- tehnologii la care reacțiile au loc direct cu oxigenul dintr-un fluid (convertizor Besemer acid).

Având în vedere aportul energiei calorice necesare elaborării tehnologiile se împart în două grupe:

- procedee la care căldura este adusă din exterior; cuptorul Siemens Martin, cuptorul electric cu arc sau cu inducție;

- procedee fără aport exterior de căldură, la care căldura necesară este dată de procesele de afinare; elaborarea în convertizoare.

Cuptorul Martin inventat în anul 1863 a dominat producția mondială de oțel până în jurul anilor 1960. Cuptorul Siemens-Martin este un cuptor la care energia calorică este produsă prin arderea combustibilului lichid (păcură, motorină) sau gazos (gaze naturale, gaze de cocserie etc). În competiția cu agregatele moderne de elaborare în cuptorul cu arc, cu inducție, în convertizor, tehnologii coroborate cu tratarea oțelului în instalații speciale (tratamente folosind tehnica vidului, cu gaze inerte etc), cuptorul Siemens-Martin a pierdut treptat teren și astăzi se poate spune că această tehnologie este de domeniul trecutului. Din acest considerent, în cele ce urmează se vor prezenta numai principiile generale de elaborare în cuptoarele cu arc, cu inducție și în convertizoare.

2.4.1 Elaborare în cuptorul electric cu arc

Cuptorul electric cu arc s-a impus ca agregat principal la elaborarea oțelurilor datorită unor serii de avantaje ce le prezintă, dintre care enumerăm:

- elaborarea unor oțeluri de calitate superioară cu compoziția chimică controlată în limite strânse;
 - siguranță și elasticitate în exploatare cu posibilitatea unui reglaj și control riguros al temperaturii;
- facilități privind mecanizarea și automatizarea în exploatare;
- productivitate mare și randament electric bun.

Aceste cuptoare au și un dezavantaj ce se manifestă mai ales la cuptoarele de capacitate mare, care constă în neuniformitatea temperaturii în baia metalică, cauzată de circulația insuficientă a oțelului lichid în cuva cuptorului.

2.4.1.1 Caracteristici generale constructive și funcționale

Din punct de vedere constructiv cuptorul cu arc se compune dintr-o structură metalică ce susține zidăria refractară și o instalație electrică. În figura 2.21 este prezentată schema generală de construcție a unui cuptor electric cu arc.

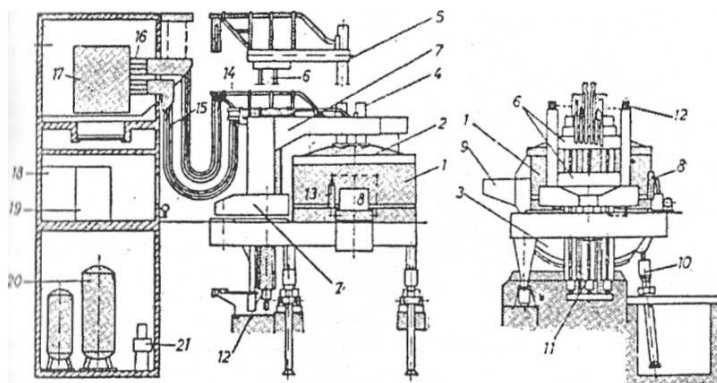


Fig. 2.21 Construcția cuptorului cu arc electric pentru elaborarea oțelurilor

- 1 - cuva de topire; 2 - capacul cuvei; 3 - instalația de basculare a cuvei; 4 - electrozi; 5 - portelectrod; 6 - instalația de deplasare a electrozilor; 7 - instalația de deplasare a capacului; 8 - gura de lucru; 9 - jgheab de turnare; 10 - acționarea hidraulică a instalației de basculare; 11 - acționarea hidraulică a ușii de lucru; 14 - țevile portoelectrodului; 15 - cabluri flexibile; 16 - barele transformatorului; 17 - transformatorul de alimentare; 19 - instalația de măsurare și reglare automată; 20 - instalația de alimentare cu apă sau ulei a acționărilor hidraulice; 21 - sistemul de reglare automată.

Din punct de vedere al naturii căptușelii refractare a cuptorului cu arc utilizat tehnologiile de elaborare se împart în două mari grupe: elaborarea în cuptoare electrice bazice și acide. Adoptarea tehnologiei

se face având în vedere avantajele și dezavantajele referitoare la exploatarea și calitatea oțelului elaborat.

Procedeul acid are următoarele avantaje:

- preț de cost de cca. 2 ori mai mic al materialelor refractare decât la procedeul bazic;
- consum specific de energie electrică mai mic;
- zgure cu permeabilitate mai mică la hidrogen și azot; viscozitate mai zgure și implicit separarea acestora de oțel.

Avantajele tehnologiei de elaborare în cuptoare bazice:

- reglare mai ușoară a compoziției oțelului și eliminarea mai avansată a sulfului și fosforului;
- consum mai mic de feromagnetism;
- economie mare de feroaliaje la eliminarea oțelurilor aliate;
- obținerea unor oțeluri cu proprietăți mecanice superioare.

Deoarece cea mai mare cantitate de oțel se elaborează în cuptoare bazice și calitatea acestor oțeluri este superioară față de cele obținute prin procedeul acid în cele ce urmează se vor prezenta principiile tehnologice ale elaborării în cuptoare bazice.

2.4.1.2 Etapele procesului tehnologic de elaborare în cuptoarele electrice cu arc

Principalele etape ale procesului tehnologic de elaborare a oțelului în cuptorul electric cu arc sunt:

- ajustarea;
- încărcarea materialelor metalice și nemetalice;
- topirea și supraîncălzirea;
- afinarea (oxidare, decarburare, fierbere);
- dezoxidarea;
- evacuarea.

Alierea este o etapă care se desfășoară fie în perioada de încărcare sau topire în cazul elementelor cu afinitate mică față de oxigen, ce au pierderi minime prin oxidare (cum este cazul elementelor de Ni, Mo), fie după etapa de predezoxidare sau dezoxidare în cazul elementelor cu pierderi medii prin oxidare (Cr, V, Si, W). Elementele de aliere cu afinitate mare față de oxigen se introduc în ultima etapă de evacuare (Al, B, Ti).

1. Ajustarea

Ajustarea este operația tehnologică de reparare a căptușelii refractare a cuptorului cu arc și reprezintă o perioadă reproductivă între elaborarea a unei șarje. Această operație se face manual la cuptoarele mici (0,5-2 t) și mecanizat la cuploarele mari (2-100t) Materialele utilizate la ajustarea sunt amestecuri granulare din minerale oxidice bazice, neutre sau acide. La contactul cu zonele uzate, cu temperatură ridicată ale căptușelii refractare materialele de ajustare suferă un proces de sintetizare formând mase compacte și rezistente din punct de vedere mecanic. De asemenea materialele de ajustare trebuie să aibă aceeași natură chimică cu căptușeala pe care se aplică și să aibă o bună rezistență la acțiunea chimică a metalului topit și a zgurii ce se formează la elaborare. Pentru realizarea unei ajustări corespunzătoare calitativ, aceasta se execută în scurt timp după evacuarea șarjei, când cuptorul este cald și se respectă următoarea ordine de aplicare a materialului granular: întâi în planul zgurei, apoi în părțile înclinate ale crucetului și în final pe suprafeței vetrei.

Modul în care se execută operația de ajustare influențează atât durabilitatea căptușelii cât și calitatea oțelului datorită următoarelor aspecte:

- conținutul de incluziuni nemetalice exogene din oțel, provenite din căptușeală;
- gradul de trecere a materialului din căptușeală în zgură;
- posibilitatea realizării unei viteze de decarburare corespunzătoare fără afectarea integrității căptușelii refractare.

Este necesar ca ajustarea să se execute în timp scurt și de calitate pentru a diminua pauzele dintre șarje și a nu permite răcirea cuptorului și influențarea negativă a desfășurării etapelor ulterioare și a consumurilor energetice.

2. Componentele încărcăturii și încărcarea

Încărcătura este în principiu compusă din oțel vechi, fontă veche, sau fier vechi (conține și fontă și oțel), fontă de primă fuziune, material carburant, minereu de fier sau țunder și var. Pentru calculul încărcăturii este necesar să se cunoască următoarele elemente:

- compoziția chimică a oțelului ce se elaborează;
- compoziția chimică a încărcăturii metalice;
 - compoziția chimică a adaosurilor din încărcătură;
 - metoda de topire (cu oxidare parțială, totală sau fără oxidare).

Calculul încărcăturii se desfășoară pentru metoda cu oxidare parțială după o metodă simplificată, după cum urmează:

$$\begin{cases} c_1x + c_2y = 100 <C> \\ x + y = 100 \end{cases}$$

unde: c_1 - procentul de carbon din fontă;
 c_2 - procentul de carbon din fierul vechi;
 x și y - proporțiile de fontă respectiv fier vechi din încărcătură (Kg/100 Kg încărcătură).

La calculul încărcăturii metalice este important să se cunoască conținutul de carbon din încărcătură (<C>), ce se poate calcula cu relația:

$$<C> = \frac{[C]_t}{1 - a_c}$$

unde: $[C]_t$ - concentrația de carbon la sfârșitul topirii;
 a_c - arderea carbonului (oxidarea) în perioada de topire care pentru elaborarea cu oxidare parțială este de cca. 20%;

Concentrația de carbon din baie la sfârșitul topirii $[c]$ se calculează cu relația:

$$[c] = [c]_0 + [c]_a$$

unde: $[c]_0$ - concentrația de carbon la oprirea afinării;
 $[c]_a$ - concentrația de carbon care se arde în etapa de afinare.

Concentrația de carbon ce se oxidează la afinare este cuprinsă între 0,3-0,6% și poate fi exprimată cu relația:

$$[c]_a = V_{fa} \cdot t_{fa} + V_{fi} \cdot t_{fi}$$

unde: V_{fa} și V_{fi} - viteza de fierbere activă și respectiv liniștită, în [%C/h];

t_{fa} și t_{fi} - timpul de fierbere activă și respectiv liniștită, în [h]. În cazul oțelurilor carbon,

$[c]_0$ se adoptă egal cu limita inferioară a mărcii respective ce se elaborează.

Pentru oțelurile aliate $[c]_0$ se ia egal cu limita inferioară a mărcii de oțel din care se scade cantitatea de carbon adusă de feroaliajele necesare pentru dezoxidare și aliere.

Modul de variație a concentrației de carbon din baia metalică, cu timpul, în cele trei etape succesive: topire, afinare, dezoxidare și aliere, este prezentat în figura (2.22)

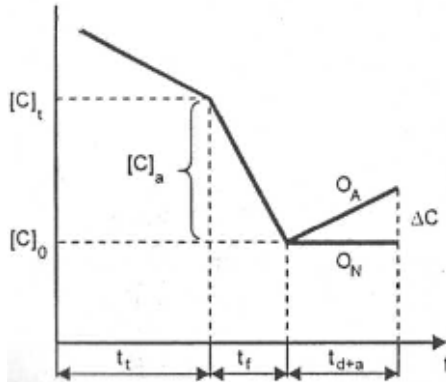


Fig. 2.22 Diagrama de variație a concentrației de carbon cu timpul în procesul de elaborare;

t - durata topirii; t_f - durata afinării; t_{d+a} - durata dezoxidării și alierii; O_N - oțeluri nealiate; O_A - oțeluri aliate; $\Delta C = 0,05...0,1\%$

Adaosul de var se calculează pentru a obține la topire un CaO raport $\frac{CaO}{SiO_2} = 1,8...2,5$ și având în vedere că la topire trece în zgură SiO_2 aproximativ 25% din fier, 50% din mangan, 60% din fosfor și siliciu 95...100%. Cuptorul este încărcat în proporție de 65%, de regulă cu macara sau cu mașina de încărcare. Încărcătura trebuie să fie compactă și cu următoarea dispunere: strat tampon de fier vechi mărunț și compact, 50% din materialul carburant, și o mică parte de fier vechi mărunț, apoi urmează fierul vechi mijlociu și eventual șpan sau așchii. Ordinea de încărcare trebuie să asigure o cât mai mică rezistență termică a încărcăturii și din acest motiv materialele greu fuzibile și cele cu conductibilitate termică scăzută, cum ar fi varul și minereul nu se încarcă deasupra și nu trebuie să formeze un strat continuu. De modul de realizare a încărcăturii depinde durata de topire și buna funcționare a cuptorului. În figura (2.24) sunt prezentate câteva moduri de așezare a încărcăturii în cuptoarele electrice cu arc.

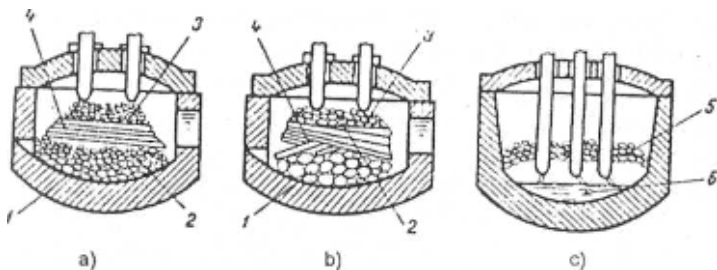


Fig 2.23 Diferite moduri de așezare a încărcăturii în cuptoarele electrice cu arc: a - dispunere corectă; b - necorespunzătoare; c - formarea punții la topire cauzată de dispunerea incorectă a încărcăturii când pe vatră se încărcă fier vechi ușor, iar deasupra lui încărcătura compactă sau greu fuzibilă: 1 - maselote mari; 2 - încărcătură mărunță; 3 - spărturi din grafit sau cocs; 4 - profile laminare; 5 - punte formată din încărcătură netopită; 6 - baie de oțel.

Pentru desfășurarea în mod corespunzător a următoarei etape de topire și supraîncălzire este important atât modul de dispunere a încărcăturii cât și timpul de încărcare. Pentru pierderi minime de energie este necesar ca timpul de încărcare să fie cât mai scurt.

3. Topirea

În etapa de topire au loc următoarele procese metalurgice: topirea încărcăturii, adsorbția gazelor din atmosferă, oxidarea elementelor și formarea zgurei. Topirea încărcăturii reprezintă cca. 30...65% din timpul de elaborare al șarjei și utilizează 60-70% din totalul energiei electrice și termice. Durata de timp variază în funcție de cantitatea de încărcătură metalică (fig. 2.24) fiind cu atât mai mare cu cât capacitatea cuptorului este mai mare. Metoda de topire poate fi cu oxidare completă, parțială sau fără oxidare, după modul în care se desfășoară procesul de oxidare a elementelor și în funcție de calitatea încărcăturii metalice. Topirea fără oxidare se utilizează la producerea oțelurilor aliate din încărcătura metalică aliată (de ex. deșeuri de oțeluri refractare, inoxidabile, rapide etc.) cu conținut scăzut de impurități. Pentru limitarea oxidării cromului se impune încărcătura cu $< C >$ mai mare, $< Si >$ peste 1%, fără minereu de fier și cu un adaos mic de var (0,5...1%). Viteza de topire trebuie să fie mare și deoarece nu se îndepărtează zgura cantitatea de fosfor din încărcătură trebuie să fie mică. Oxidarea wolframului și vanadiului este limitată prin formarea unei zgure bazice, temperatură mare și $[C]$, ridicat, condiții în care în zgură se separă o cantitate

redușă de WO_3 și V_2O_5 formând wolframat și vanadat de calciu.

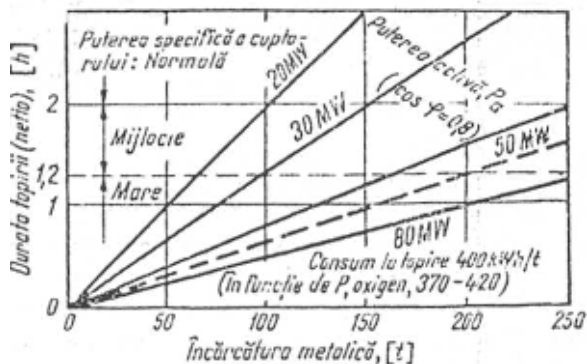


Fig. 2.24 Modul de variație a duratei de topire în funcție de puterea și capacitatea cuptorului

Metoda de topire cu oxidare parțială este cea mai utilizată metodă și este indicată când se lucrează cu încărcătură metalică cu conținut mediu de impurități și cu un conținut de fosfor sub 0,05%. La sfârșitul topirii $[C]_t$ trebuie să fie cu 0,3...0,5% mai mare decât conținutul de carbon $[U]_0$ de la sfârșitul afinării. Pentru defosforare se încarcă 1-2% minereu, 3-4% var și bauxită sau fluorură de calciu (pontru fluidizarea zgurei). Oxigenul adus de încărcătură și cel primit din atmosfera cuptorului asigură oxidarea a 70...100% Si, 50% Mn, 60% P, 20% C, 2% Fe, 10-20% W, Cr și complet V și Ti.

Topirea cu oxidare totală sau completă este indicată atunci când încărcătura metalică este de calitate inferioară, ușor oxidată (ruginită) și cu un conținut de P mai mic de 0,08%. Încărcătura conține minereu de fier (sau țunder) ot o oxidare avansată a carbonului realizându-se la sfârșitul topirii $[C]_t < 0,1\%$. Minereul se încarcă peste stratul tampon iar varul se adaogă în proporție de (2,5-3%) sub ultimul strat de fier vechi. În timpul topirii se evacuează zgura iar spre sfârșit se adaogă 0,5-1% minereu și 0,5-2,5% var pentru defosforare. Cantitatea de var adăugată poate ajunge până la 6% pentru o defosforare avansată de până la 0,01% și pentru a micșora radierea intensă a căldurii la boltă de către zgură.

În timpul topirii oxigenul conținut în încărcătura metalică și cel din atmosfera cuptorului oxidează în proporție de aproape 100%, elementele Si, V și Ti și până la 75% din Mn.

Procesul de topire în cuptorul electric cu arc, pentru oricare din cele trei metode prezentate poate fi împărțit în patru etape (fig. 2.25). In prima etapă deoarece cea mai mare parte din căldură este radiată spre boltă conducând la o uzură avansată a acesteia, este indicat să se

lucreze cu tensiune și putere scăzută. Pe măsură ce arcul pătrunde în încărcătură (fig. 2.25 b, c) se poate lucra cu putere mare și crește mult consumul de energie. De fapt etapele a treia și a patra reprezintă cca. 80% din durata topirii și are cea mai mare influență asupra consumurilor energetice din procesul de elaborare.

Pentru scurtarea pericolului de topire și micșorarea consumului de energie electrică se poate recurge la insuflarea de oxigen în baia de oțel, metodă care conduce la creșterea productivității cu 10-20% și la îmbunătățirea calității oțelului.

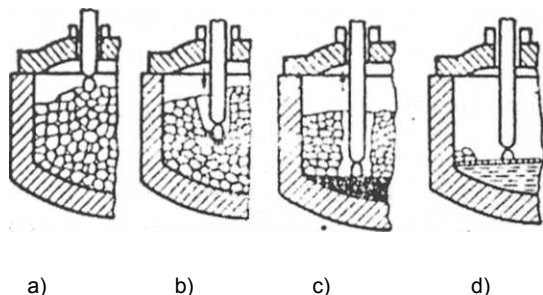


Fig. 2.25 Etape succesive în procesul de topire a încărcăturii metalice în cuptorul electric cu arc:

- a - începutul topirii; b - electrozii acționează în încărcătură; c - electrozii acționează pe baia lichidă și arcul este complet acoperit; d - supraîncălzirea băii metalice.

4. Afinarea

Este etapa care are ca scop principal îndepărtarea din baia metalică a gazelor (H și N) și a incluziunilor nemetalice exogene și endogene. Pe de altă parte în timpul afinării se produce omogenizarea termică și chimică a băii metalice. Tot în această etapă are loc continuarea defosforării și îndepărtarea într-o anumită proporție a sulfurii, în special spre sfârșitul etapei.

Oxigenul necesar pentru realizarea afinării se introduce în baie fie prin adaosuri de minereu de fier sau țunder fie prin insuflare directă de oxigen tehnic. La afinare au loc o serie de reacții chimice de oxidare și reducere atât în baia metalică cât și la interfața baie metalică - zgură. Dintre aceste reacții, dat fiind faptul că elementul principal care se oxidează este carbonul, putem selecta următoarele două reacții:



În cazul primei reacții carbonul se oxidează indirect prin intermediul zgurei pe măsură ce aceasta se formează. Bulele de CO formate conform reacției (2.38) înglobează prin difuzie atomii de H și N,

care în felul acesta părăsesc baia de oțel. Germinarea bulelor de CO este favorizată de existența suprafețelor neregulate ale vetrei iau naștere bule de CO care se desprind și produc un fenomen de fierbere a băii metalice, pe când monoxidul de carbon format la interfața baie - zgură nu are condiții de creștere și produce doar suprimarea zgurei. Difuzia oxidului ferros din zgură în baie are loc cu viteză mică și influențează viteza de decarburare. În cazul formării FeO direct în baie la insuflarea de oxigen tehnic sau în cazul utilizării bulgărilor mari de minereu care ajung ușor în metalul topit conținutul de oxigen în metal la limita cu FeO atinge valoarea de saturație de cca. 0,23% O₂ la temperatura de 1600 °C.

Viteza de decarburare poate fi intensificată prin intervenția asupra unor factori tehnologici dintre care enumerăm:

- creșterea temperaturii oțelului și zgurei;
- mărirea bazicității zgurei (adaosul de CaO) pentru a contracara creșterea proporției de FeO liber și implicit a puterii de oxidare a zgurei;
- mărirea conținutului de carbon din încărcătură și a proporției de FeO din baia metalică;
- îmbunătățirea fluidității zgurei, fapt ce facilitează difuzia oxigenului în baia metalică.

În funcție de viteza de decarburare etapa de afinare este împărțită în două perioade: perioada de afinare activă (fierbere intensă) și perioada de afinare liniștită (fierbere liniștită).

Perioada de fierbere activă se caracterizează prin viteză mare de decarburare pentru asigurarea unei barbotări puternice a băii, necesară în scopul uniformizării compoziției și temperaturii în tot volumul băii de oțel, îndepărtării parțiale a gazelor și a incluziunilor nemetalice precum și pentru îndepărtarea unor elemente chimice nedorite (în special P și S). Durata de fierbere intensă este cu atât mai lungă cu cât conținutul de gaze și incluziuni este mai mare. Se consideră că viteza de decarburare optimă se situează în limitele valorilor 0,4-0,6% C/h. Viteze de decarburare prea mari peste 1% C/h conduc la descoperirea băii metalice, adsorbții mari de gaze, eroziunea căptușelii refractare și chiar la evacuarea unei cantități însemnate de oțel din cuptor.

În cazul unor viteze mici de decarburare, obiectivele etapei de afinare nu pot fi realizate. Stabilirea acestui parametru tehnologic se face având în vedere o serie de factori cum ar fi: metoda de topire, condițiile de calitate impuse oțelului, calitatea încărcăturii și capacitatea cuptorului (tabelul 2.3)

Tabelul 2.3 Valori ale vitezelor de decarburare pentru diferite capacități ale cuptoarelor cu arc electric

Capacitatea cuptorului	Viteza de oxidare a carbonului recomandată, în % C/h		
	La începutul fierberii	La sfârșitul fierberii	Viteza de oxidare medie
cuptoare mici (0,5-51)	0,8-1,0	0,35-0,45	0,60-0,70
cuptoare mijlocii (8-201)	0,7-0,8	0,3-0,4	0,55-0,65
cuptoare mari (30-801)	0,6-0,7	0,3-0,4	0,45-0,55

Perioada de fierbere liniștită, încheie etapa de afinare, în această perioadă continuându-se procesul de omogenizare a băii metalice din punct de vedere fizic și chimic și de eliminare a incluziunilor și gazelor. Se acționează cu o viteză de decarburare de cca. 0,1-0,2% C/h timp de 5-10 min. la cuptoare mici și 10-20 min. la cele de capacitate mijlocie și mare. Etapa de afinare se încheie atunci când procentul de carbon din baie proiectat pentru sfârșitul afinării ($[C]_0$) este confirmat de analiza chimică.

Afinarea este oprită prin adăugarea în baie metalică a unei cantități de feromangan care să asigure un conținut de Mn sub limita prescrisă la finalul elaborării.

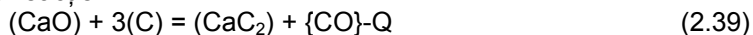
Dezoxidarea oțelului este etapa următoare care are ca scop micșorarea conținutului de oxigen rămas dizolvat în baia de oțel și înlăturarea compușilor chimici în procesul de oxidare. Se pot distinge trei subetape ale procesului de dezoxidare: predezoxidarea, dezoxidarea și dezoxidarea prin precipitare.

Predezoxidarea se execută după eliminarea a cea 75% din zgura de afinare, prin adaos de Fe Mn și formarea unei noi zguri din var și fluorură de calciu (5:1), la un regim termic intens cu temperaturi de 1600-1650 °C. După introducerea feromanganului se poate adăuga și ferosiliciu sau chiar aluminiu în proporție de cca. 0,15 kg/t).

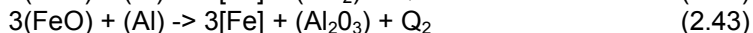
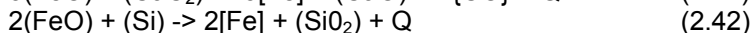
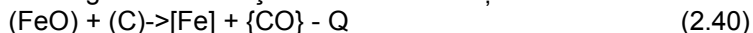
Dezoxidarea prin difuzie constă în dezoxidarea zgurei adăugarea la suprafața acesteia a cocsului (dezoxidare cu zgură albă, a ferosiliciului sau aluminiului).

Dezoxidarea cu zgură albă se realizează prin adăugarea unui amestec format din var, cocs și fluorură de calciu în proporțiile 5:3:1 în cazul oțelurilor cu peste 0,25% C sau un amestec de var, cocs, ferosiliciu, fluorură de calciu în proporțiile: 5:1,5; 1,5:1 la oțelurile care conțin sub 0,25% C. Adaosurile de elemente dezoxidante micșorează proporția de FeO din zgură, culoarea acesteia schimbându-se din cafeniu în alb, de aici provenind și denumirea „dezoxidare cu zgură albă”.

Dezoxidarea cu zgură carbidică constă în suplimentarea cantității de cocs adăugate și formarea unei zgure cu carbură de calciu pe baza reacției:



Carbura de calciu conferă zgurei o culoare cenușie. Procesele de dezoxidare a zgurei se desfășoară conform reacțiilor:



Dezoxidarea prin difuzie cu zgură albă sau carbidică față de dezoxidarea prin precipitare prezintă avantajele realizării unor concentrații mai scăzute de incluziuni nemetalice dar se desfășoară în timp mai îndelungat și există pericolul carburării oțelului.

Dezoxidarea prin precipitare se face în vederea obținerii unui conținut cât mai scăzut de oxigen în oțel, prin adăugarea în mod succesiv a următoarelor elemente chimice dezoxidante: Mn, Si, Al. Acest tip de dezoxidare se realizează atât în cuptorul electric cât și în afara acestuia în oala de turnare sau în instalații speciale.

Siliciul se introduce în cuptor sub formă de prealiaj FeSi, cu cca. 35-40 minute înaintea evacuării la elaborarea oțelurilor nealiate și înaintea introducerii elementelor de aliere în cazul oțelurilor aliate. Cantitatea de Si adăugată se calculează luând în considerare o pierdere prin oxidare de 10-15% și pentru asigurarea concentrației medii admise a mărcii de oțel elaborat.

Dezoxidarea cu aluminiu se face pentru o eliminare avansată a oxigenului, utilizând aluminiu tehnic sub formă de lingouri sau în amestecuri dezoxidante. Aluminiul se poate introduce înaintea evacuării în cuptor în cantitate de 0,15-0,35 kg/t sau în oala de turnare de evacuare a oțelului. După cum s-a mai menționat, dezoxidarea prin precipitare cu aluminiu poate fi cuprinsă în unele procese tehnologice moderne de tratare a oțelului lichid în afara agregatului de elaborare.

Alierea oțelului cu elemente care au pierderi prin oxidare mici (Ni, Mo, Cu, Co) se face în etapele de încărcare sau topire cu corecții în etapa de afinare.

Elementele chimice cu pierderi medii și mari (Mn, Si, Cr, Ti, V, Al, Mo, W) prin oxidare se introduc în perioadele de predezoxidare, dezoxidare sau evacuare în funcție de afinitatea față de oxigen a elementului cu care se face alierea.

Evacuarea oțelului este ultima etapă a tehnologiei de elaborare a oțelului și se realizează atunci când au atins o serie de parametri

tehnologici (compoziție chimică, temperatură, fluiditate etc.) specifice clasei sau mărcii de oțel elaborat. La evacuare se utilizează oala de turnare cu dop sau sertar, preîncălzită la temperaturi de 700-800°. Cantități mici de oțel (10-100 kg) pot fi evacuate și în oale de turnare cu sifon manipulate manual sau mecanizat.

2.4.2 Elaborarea oțelurilor în cuptorul cu inducție

Cuptorul electric cu inducție cu creuzet, cu toate că nu egalează cuptorul electric cu arc în ceea ce privește producția de oțel la nivel mondial, prezintă totuși față de cuptorul cu arc electric unele avantaje și anume:

- încălzirea încărcăturii în mod uniform și cu viteză mare;
- omogenizarea fizică și chimică a oțelului lichid;
- inerție mică la reglarea puterii;
- asimilare mai rapidă a elementelor de aliere greu fuzibile;
- condiții de exploatare mai puțin costisitoare;
- nivel de poluare mai scăzut.

Dezavantajele cuptorului cu inducție, la elaborarea oțelului, față de cuptorul electric cu arc sunt:

- zgură cu temperatură mică, fapt care creează dificultăți la desfășurarea reacțiilor chimice dintre metal și zgură; necesitatea funcționării în ritm continuu;
- imposibilitatea elaborării prin metoda cu oxidare totală sau parțială și implicit a valorificării deșeurilor de oțel oxidate și cu impurități; capacitate de elaborare mai mică și cost ridicat al agregatului de elaborare.

Analizând avantajele și dezavantajele cuptorului cu inducție la elaborarea oțelului, rezultă că acest agregat este indicat la elaborarea oțelurilor aliate de înaltă puritate prin metoda fără oxidare, utilizând încărcătură metalică neoxidată și grad înalt de puritate.

Atunci când există condiții de punere în valoare a avantajelor cuptorului cu inducție, utilizarea lui devine foarte eficientă. Se cuvine să menționăm că este un agregat de elaborare ce se utilizează cu rezultate deosebite și în activitatea de cercetare.

Caracteristicile generale constructive au fost prezentate la punctul 2.3.2 așa încât în continuare se vor prezenta aspecte privind tehnologia de elaborare a oțelului în cuptorul cu inducție. Componentele încărcăturii metalice sunt aproape identice cu cele de la elaborare în cuptorul cu arc, cu deosebirea că sunt mai sortate (ținând seama în special de compoziție, fără rugină și concentrație scăzută de P și S și

incluziuni nemetalice). Calculul încărcăturii metalice este mult simplificat deoarece nu se mai efectuează etapele de afinare și dezoxidare.

Încărcarea cuptorului se execută manual sau mecanizat și se începe topirea cu tensiune maximă și intensitate a curentului mică până la cca. 800 °C, apoi se micșorează tensiunea și se mărește intensitatea curentului din inductor și se accelerează topirea. Completarea încărcăturii după topirea primelor porții se face cu deșeuri mărunte și preîncălzite. La sfârșitul topirii se evacuează zgura formată, se practică o dezoxidare cu siliciu, se corectează compoziția chimică, se continuă dezoxidarea cu Mn care este mai activ decât Si în creuzet acid apoi se protejează oțelul cu nisip cuarțos sau spărturi de sticlă și înainte de evacuare se decuplează inductorul. Pentru formarea zgurei se mai poate utiliza un amestec care constă din nisip, feldspat și var, rezultând următoarea compoziție: 40% CaO, 25% SiO₂, 31% Al₂O₃. Topirea și omogenizarea încărcăturii metalice, sunt intensificate de acțiunea electromagnetică a curentului indus, iar reacțiile oțel-zgură se apropie mult de echilibrul. Arderile la topire sunt de 1-2% Fe și 5-10% C, astfel încât concentrația de carbon nu depășește în încărcătură limita prescrisă cum s-a prezentat la elaborarea în cuptorul cu arc (2.4.1). Elementele Si și Mn au pierderi de 5-15%, Cr 5-10%, Ni max. 0,5%, mult mai mici și mai constante în cursul elaborării decât la cuptorul cu arc, fapt ce permite obținerea unor compoziții precise chiar și fără control atunci când tehnologia de elaborare unei mărci de oțel este bine proiectată și executată.

Elaborarea în cuptorul cu inducție este indicată la obținerea oțelurilor inoxidabile extramoi a oțelurilor pentru magneți turnați Ni-Cr-Al (cu cea 18% Al) sau Cr-Cu, la care se poate valorifica efectul dezoxidanților puternici (Ca, Mg, Al în concentrații reziduale de 0,01% în parte). Pentru elaborarea oțelurilor inoxidabile cu

C<0,03% cum ar fi 18Cr8Ni se utilizează ca materie primă fier tehnic (Armco) și ferocrom afinat deoarece nu este posibilă realizarea etapei de afinare (oxidarea carbonului) procesul de elaborare fiind în principiu un proces de retopire.

Înainte de evacuare, oțelul se menține în creuzet un timp de 5-15 min. (în funcție de capacitatea cuptorului) atât pentru realizarea unei temperaturi optime la turnare cât și pentru decantarea în zgură a suspensiilor. Oțelurile cu condiții impuse de reziliență, fluaj și tenacitate la temperaturi sub 0°C cum ar fi cele utilizate în construcția aeronautică cu reacție, în tehnica nucleară, electronică etc, se pot turna și elabora în vid de 10⁻³-10⁻⁴ mmHg. Unul dintre marile avantaje ale cuptorului cu inducție este acela că poate fi mult mai ușor echipat cu instalații ce

permit elaborarea în atmosfera depresurizată sau cu gaze inerte. La elaborarea în vid unele elemente chimice au pierderi prin vaporizare mari Mn (peste 60%), Cu (cca. 20%) dar fierul se pierde puțin având temperatura de vaporizare de 2750 °C la 1at. și de 1760 °C la 0,001 at.

2.4.3 Elaborarea oțelului în convertizor

Convertizoarele cu oxigen au fost introduse pentru prima dată în industrie la uzinele Linz-Donawitz (Austria) sub denumirea de L.D.

2.4.3.1 Elaborarea oțelului în convertizorul L.D

Producția mondială de oțel elaborat prin procesul LD a evoluat de la 1% în 1957 la 54% în 1975 și în 1980 a fost de cca. 60%. Capacitatea acestor agregate de elaborare ajunge până la 400 tone. Combinatul „SIDEX” din Galați utilizează convertizoare LD cu capacitatea de 150 tone echipate cu instalații și aparatură modernă pentru controlul și conducerea procesului metalurgic.

Construcția convertizorului LD este prezentată într-o schemă de principii în figura 2.26.

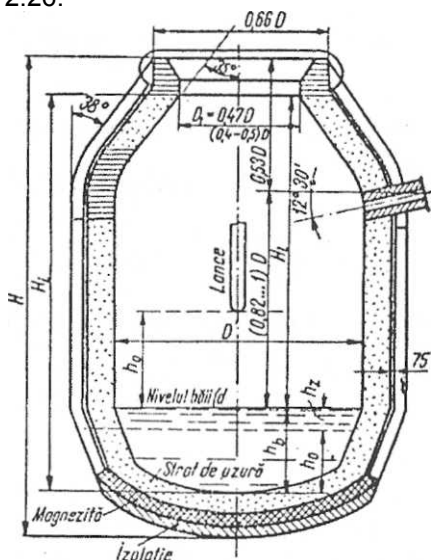


Fig. 2.26. Construcția generală a convertizorului LD.

Convertizorul LD se compune dintr-o parte centrală cilindrică, partea superioară tronconică și partea inferioară sub forma unei calote

sferice. Carcasa este din tablă a cărei grosime crește cu diametrul D_c al carcasei și este rigidizată cu nervuri pentru a rezista la eforturile care apar ca urmare a dilatărilor neuniforme ale zidăriei formate din cărămizi de magnezită sau dolomito-magnezite (64% MgO), cărămizi sau blocuri de dolomită stampată. Tronconul superior (uneori detașabil) se execută prin zidire, iar fundul poate fi zidit sau bătut și se izolează cu azbest și șamotă. Construcția este susținută de un inel prevăzut cu două fusuri rezemate pe lagăre; convertizorul se poate astfel înclina hidraulic sau electromecanic. Dimensionarea convertizorului are la bază diametrul părții cilindrice a zidăriei

$$D = K \cdot \sqrt{p} \quad [\text{m}] \quad (2.44)$$

unde: P -capacitatea convertizorului poate fi de maxim 400 t;
 K -coeficient care se adoptă în jurul valorii 0,40.

Diametrul mediu al băii $d_m \leq \frac{D}{K'}$ unde: $K'=1,07$ și luând în calcul densitatea fontei $6,9 \text{ t/m}^3$ ($0,145 \text{ m}^3/\text{t}$) și $13,5\%$ zgură cu 3 t/m^3 ($0,045 \text{ m}^3/\text{t}$ fontă) se obține volumul V_b și înălțimea h_b a băii:

$$V_b = \frac{\pi \cdot d_m^2}{4} \cdot h_b = (0,145 + 0,045) \cdot P = 0,19P \quad [\text{m}^3] \quad (2.45)$$

$$h_b = \frac{4 \cdot 0,19P}{\pi \cdot d_m^2} = 0,242 \cdot \frac{P}{d_m^2}, \quad [\text{m}] \quad (2.46)$$

Volumul total cuprinde volumul băii V_b și volumul liber V_l și se calculează cu relația:

$$V_t = V_b + V_l = k'' \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot H_i \quad (2.47)$$

unde: H_i - înălțimea incintei convertizorului;
 k'' - coeficient care depinde de uzura căptușelii

Încărcătura este compusă din fier vechi sau fontă în proporție de maxim 30% și din fontă lichidă. Proporția de 30% material solid este impusă de randamentul termic mic. Până la limita maximă proporția de fier vechi crește odată cu creșterea cadenței succesiunii șarjelor, temperaturii fontei lichide ($1225-1315 \text{ }^\circ\text{C}$) și conținutului de Si. Compoziția fontei este cuprinsă în limitele: 4,1-4.8%C, 0,6-1,0 %Si, 0,3-0,8%Mn, maxim 0,05% S și maxim 0,25% P. Fierul vechi se folosește de obicei pentru reglarea temperaturii băii metalice, iar uneori se

utilizează și minereu de fier care participă la formarea timpurie a zgurei. Proportția de var M_v este cuprinsă între 6-10% din încărcătură și trebuie să lege bioxidul de siliciu și să asigure raportul $\frac{(CaO)}{(SiO_2)} = 2,25-3.65$

$$M_v = 2,14q_f \cdot Si_f + q_m \cdot SiO_{2m} + \dots \text{ [Kg/100kg. Înc]} \quad (2.48)$$

unde: q_f - proporția de fontă;

Si_f - concentrația de siliciu din fontă;

q_m - proporția de minereu sau de țunder (aproximativ 10%).

În continuare se dau câteva exemple privind ordinea de încărcare:

- var, fier vechi, fontă lichidă;
- var, fier vechi ușor, var, fier vechi greu, fontă lichidă;
- fier vechi ușor adaosuri, fier vechi greu, fontă.

Fonta lichidă se introduce în convertizor prin turnare din oale de turnare transportate cu podul rulant. După încărcarea fontei lichide se aduce convertizorul în poziție verticală și se finalizează perioada de încărcare.

Afinarea este etapa a doua a elaborării în convertizor și se execută prin insuflare de oxigen prin lance (figura 2.27), prevăzută cu ajutorul de cupru care are un orificiu central cilindric sau de tip Laval, sau $n=3-9$ orificii înclinate cu $8-13^\circ$ având o secțiune specifică de cca. $0,7 \text{ cm}^2/\text{t}$ capacitate. Jetul de oxigen cu puritate $99,5-99,8\% \text{ O}_2$ pătrunde în baie cu presiune mare și formează un număr foarte mare de bule asigurându-se astfel o suprafață mare de contact dintre oxigen și baia de fontă (figura 2.27).

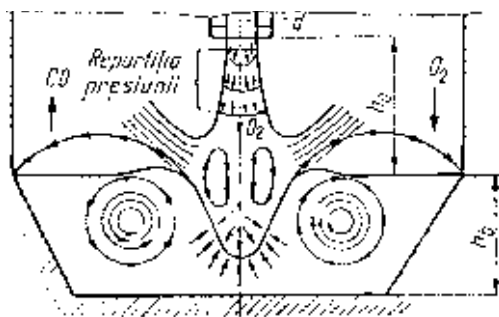


Figura 2.27 Schema interacțiunii jetului de oxigen cu fonta lichidă în convertizorul LD

Afinarea reprezintă procesul fizico-chimic principal din convertizorul LD și în principiu este similară cu afinarea desfășurată în cuptorul cu arc prin metoda insuflării de oxigen. Desfășurarea decarburării efectuată

prin insuflare de oxigen are o influență deosebită asupra procesului de elaborare, conținutul de carbon înregistrând o scădere rapidă, în numai 15-20 minute, de la 3,5 la 0,1%. Pentru realizarea unei bune eficiențe a etapei de afinare este necesar să se cunoască o serie de parametri legați de acțiunea de insuflare a oxigenului, dintre care enumerăm: viteza jetului de oxigen la ieșirea din ajutoraj, debitul specific de oxigen, cantitatea de oxigen insuflat, durata insuflării, adâncimea de pătrundere a lăncii în baie, presiunea și temperatura oxigenului la ieșirea din lance. La începutul insuflării se menține lancea la o distanță mare de baie (1,7-1,8 m) pentru formarea rapidă a zgurei oxidante, apoi se coboară lancea până la 1,4 m. Deoarece la început zgura lipsește au loc reacții exoterme de tipul:



În primele momente ale insuflării se produce zgomot și apare o flacără roșiatică și scântei de fier oxidat, apoi carbonul începe să ardă (flacăra devine luminoasă) și implicit crește temperatura datorită căldurii eliberate prin oxidare, la care participă și oxidarea celorlalte elemente Fe, Si, Mn, P. Temperatura crește cu viteză mică, energia calorică degajată fiind consumată pentru încălzirea zgurei în formare și pentru topirea încărcăturii metalice solide. După aproximativ 15 minute de insuflare se coboară lancea la 1,2 m pentru intensificarea proceselor în baie. Durata de insuflare se încheie după consumarea cantității de oxigen calculat pentru obținerea mărcii de oțel. Necesarul de oxigen variază între 55 și 60 Nm³/1 de oțel turnat în lingou.

Pentru intensificarea afinării după 4-5 minute de la începerea insuflării, timp în care s-a oxidat în proporție de cca. 98% Si și 90% Mn și P (figura 2.28 a.) și crește substanțial temperatura, se mărește presiunea de insuflare (p_0), implicit crește debitul specific (q_0) și în felul acesta este accelerată trecerea oxigenului în baia metalică, amestecarea oțelului cu zgura și producerea de stropi. Până la sfârșitul perioadei $\Delta t=6-8$ minute (figura 2.28b) lungimea și luminozitatea flăcării se măresc treptat, ca urmare a decarburării mai intense, totuși viteza de decarburare are o creștere lentă în limitele 0,05-0,10% C/minut.

Perioada a doua (fig. 2.28b), debutează cu concentrații scăzute de [Mn] și [P], [Si] = 0 iar carbonul consumă aproape întreaga cantitate de oxigen, baia fiind puternic barbotată de jetul de oxigen și de bulele de CO ce se degajă. Odată cu decarburarea se intensifică și dizolvarea varului, conținutul de (CaO) crește continuu (fig. 2.28) și când zgura este fluidă și concentrația (FeO) este mare, stropii cu diametrul sub, 1 mm sunt reținuți sub formă de suspensie în zgură iar CO degajat

produce formarea unei emulsii de zgură și fază metalică, fenomen denumit „spumarea zgurei”.

În perioada III temperatura este ridicată și zgura saturată cu $(CaO)_2-SiO_2$, deci are activitatea $a_{(O)}$ mare și viteza de decarburare scade odată cu scăderea procentului de carbon din baie ([C]).

Spumarea este stabilă până la $[C] = 0,30\%$, conținut sub care decarburarea nu mai depinde de formarea bulelor de CO în emulsie, ci la pereții convertizorului.

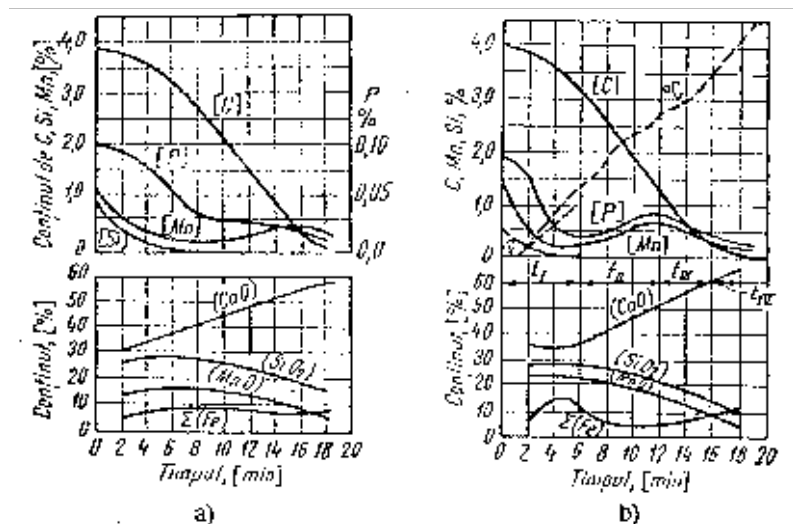


Figura 2.28 Evoluția procesului de afinare:

a - cu fier vechi; b - cu minereu.

La scăderea carbonului $[C] < 0,12\%$ flacăra dispare brusc, începe perioada a IV-a, când se insuflă în continuare oxigen până la $[C] = 0,08-0,05\%$. În această perioadă baia este agitată aproape în exclusivitate de către jetul de oxigen, se oxidează mult fierul, crește concentrația de Fe în zgură și de oxigen în baia metalică.

Siliciul se oxidează complet și datorită temperaturii insuficiente regenerarea nu are loc.

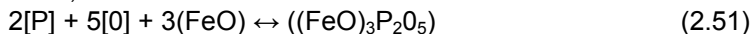
Manganul se oxidează puternic după scurgerea a 50% din durata insuflării. Manganul din baia metalică $[M_n]$ scade mult și tinde către următorul raport de echilibru:

$$\lg \frac{[Mn]}{[Mn]} = \frac{3}{2} \left\{ \lg [O] + \frac{8755}{T} - 2,29 \right\} \quad (2.50)$$

În perioada a III-a se regenerează o cantitate mică de Mn, apoi scade (fig. 2.29) și la sfârșitul perioadei IV se obține

$[Mn] = 0,10-0,20\%$ pentru $[C] < 0,10\%$ și $[Mn] = 0,25\%$ pentru $[C] = 0,2\%$.

Fosforul se oxidează încă de la începutul insuflării oxigenului conform reacției:



Spre sfârșitul perioadei a III-a deși fosfatul de fier este puțin stabil (C mare, CaO/SiO_2 mic), defosforarea este apreciabilă. $\Sigma(FeO)$ fiind mare și amestecarea intensă. Concentrația de [P] în continuare scade pe măsură ce crește bazicitatea zgurei și debitul de oxigen. La sfârșitul perioadei a IV-a viteza defosforării scade foarte mult încât nu se mai justifică insuflarea oxigenului și nici creșterea bazicității CaO/SiO_2 peste 3,2, deoarece zgura poate deveni eterogenă precipitând $(CaO)_2 \cdot SiO_2$ (se formează ferit de calciu și cresc pierderile de fier). Mai eficient este să se acționeze în direcția scăderii temperaturii, creșterii conținutului de (FeO) și a timpului de insuflare până la începerea spumării (tj).

Sulful se elimină cu precădere în perioada a III-a când $CaO/SiO_2 > 2$. În perioada a IV-a este dezavantajată de $\Sigma(FeO)$ mare. Pentru desulfurare se poate insufla odată cu oxigenul praful de car sau se adaugă brichete de var și se răcește baia cu fier vechi selecționat, în felul acesta, cu 12-20% zgură se îndepărtează până la 50% și chiar 75% din suflul inițial.

Evacuarea oțelului din convertizor se execută după finalizarea afinării deoarece dezoxidarea și alierea se face în oala de turnare. Oțelul se evacuează, prin bascularea convertizorului, în oala de turnare cu dop, supraîncălzită (800-900 °C) iar zgura este evacuată tot pe orificiul de evacuare al convertizorului însă într-o altă oală.

Dezoxidarea și alierea la convertizorul LD se face în oala de turnare, respectându-se următoarea ordine de introducere a adaosurilor: 20% din cantitatea de tablă de aluminiu, cocsul pentru carburare (numai dacă este necesar), feromangan, ferosiliciu și restul de aluminiu. După adăugarea fiecărui oxidant se lasă o pauză de 30 de secunde iar ultimul dezoxidant se introduce cu un minut înaintea evacuării. Se poate efectua predezoxidare și în convertizor cu Fe-Mn sau cu Si-Mn, caz în care rezultă produse ușor fuzibile care se îndepărtează avansat până la evacuare și în timpul acesteia.

Dezoxidarea însă se face cel mai frecvent în oala de turnare ținând seama de conținutul de oxigen din baie ([O]) care este funcție de [Mn] și de temperatură:

$$\lg [O] = \frac{12000}{T} + 5,07 \pm 0,77 \lg[Mn] \quad (2.52)$$

unde semnul minus intervine atunci când $M_n > 1\%$.

În cazul oțelului necalmat, în oala de turnare se adaugă pe lângă Mn, aluminiu, în funcție de [C] și [Mn] (figura 2.29a), de mărimea lingoului și de durata fierberii în lingotiere (figura 2.29b). La oțelurile calmate se adaugă Al, apoi Mn și Si, diferența dintre curba teoretică și [Al]-[O] și cea practică (figura 2.29c) corespunzând potențialului de dezoxidare al siliciului, echilibrul [Si]-[O] stabilindu-se în funcție de temperatură (figura 2.29d). Variația conținuturilor [O] și oxizi (considerate 100% la evacuare) este reprezentată în figura 2.29e.

În cazul dezoxidării numai cu aluminiu se adaugă 2-2,1 kg/t dacă $\Sigma(\text{FeO}) < 25\%$ și 2,2 kg/t dacă $\Sigma(\text{FeO}) = 25-35\%$ sau dacă se răcește cu fier vechi 2,3 kg/t este necesar să se facă resuflare.

Alierea în oală se face de preferință în oala de turnare cu ferroaliaje topite. În același timp se face și corecția carbonului și datorită reacției [C] + [O] mai intense, pierderile de elemente oxidabile sunt mici și produsele de reacție decartează mai avansat.

Calitatea oțelului elaborat în convertizoarele LD este apropiată de cea elaborată prin alte procedee, producându-se o gamă largă de oțeluri nealiate (necalmate, semicalmate și calmate) conținând maximum 0,20% C și maximum 0,40% P sau S și slab aliate cu Mn, Cr, Ni și 0.04-0.15% Nb, V sau Ti, cu concentrații de 0.30% C. Oțelurile semidure și dure (peste 0,40% C), nealiate și slab aliate (șine, bandaje, scule, rulmenți etc.) se obțin mai greu în convertizor fiind necesare procese dificile de recarburare și resuflare, conținut de P și S scăzut în încărcătură, fapt care mărește durata șarjei crescând consumul specific de oxigen și implicit prețul de cost al oțelului. Această nesiguranță în obținerea compoziției chimice și în îndeplinirea produselor de reacție, mai ales la oțelurile mediu și înalt aliate, limitează totuși gama mărcilor de oțel elaborate în convertizorul LD.

Elaborarea prin procedeul LD, atunci când este corect adoptată în funcție în special de marca oțelului și condițiile de calitate impuse, este o metodă eficientă datorită timpului scurt de elaborare.

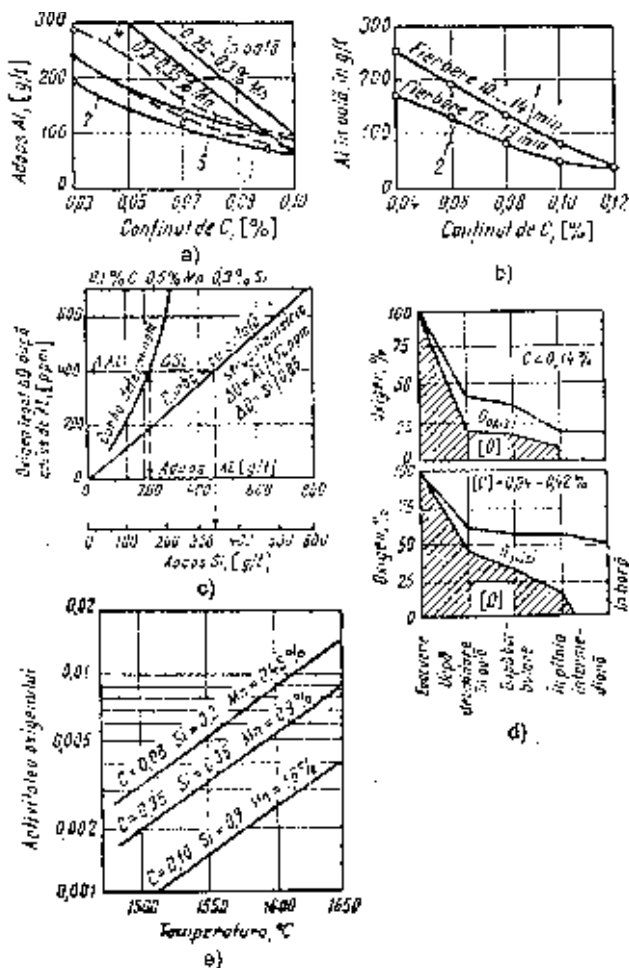


Figura 2.29 Nomograme privind adaosul de dezoxidanți, echilibrul [Si]-[O] și bilanțul oxigenului la dezoxidarea oțelului din convertizorul LD

2.4.3.2 Elaborarea oțelului în convertizorul Bessemer

Procedeele de elaborare și convertizorul poartă numele inventatorului Henry Bessemer care, în Anglia în anul 1856, a introdus în practică un agregat de elaborare, care în principiu transformă fonta în oțel, prin insuflarea de aer în fonta lichidă pe la partea de jos a convertizorului. Construcția convertizorului Bessemer, în parte

asemănătoare cu cea a convertizorului LD, este compusă din trei părți distincte: fundul convertizorului cu cutia de aer, corpul cilindric și corpul tronconic superior cu deschidere pentru alimentare și evacuare. Carcasa exterioră metalică este susținută pe un sistem cu articulații, în jurul cărora se poate roti convertizorul. Căptușeala este formată din cărămizi acide cu 88-96% SiO₂ cu grosimea de 250-400 mm în funcție de capacitatea convertizorului și o durabilitate de 600-1000 șarje. Fundul convertizorului se execută prin ștampare, dintr-un amestec de nisip cuarțos, praf de șamotă și argilă. Parte de jos a convertizorului conține 7-30 de orificii dispuse pe cercuri concentrice prin care se insuflă aer.

Etapile procesului tehnologic de elaborare sunt prezentate în figura 2.30.

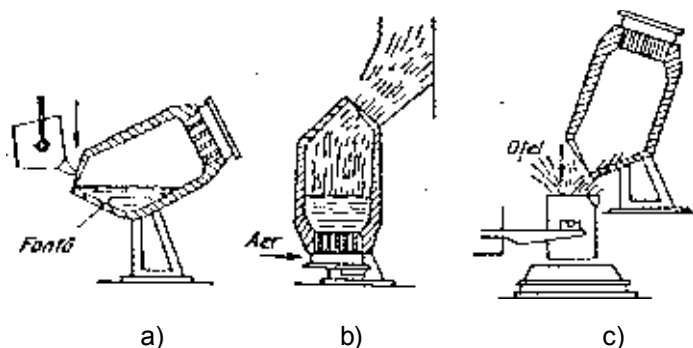


Figura 2.30 Etapele procesului tehnologic de elaborare în convertizorul Bessemer:
 a - alimentarea cu fontă lichidă; b - aducerea în poziție de lucru; c - evacuarea.

În vederea elaborării se încălzește convertizorul la cca. 9.000°C se aduce în poziție orizontală (figura 2.30a) și se alimentează cu fontă lichidă la temperatura de 1280-1350 °C. Compoziția chimică a fondei este cuprinsă în limitele:

C = 3,9-4,2%; Si = 0,8-1,4%; Mn = 0,6-0,9%; P < 0,07%; S < 0,05%.

După alimentare se insuflă aer în baia metalică cu presiune de 2,5 at. (figura 2.30b) și are loc oxidarea elementelor chimice, în special a carbonului, transformându-se fonta în oțel. La atingerea concentrației în carbon indicată pentru oțelul elaborat, se oprește insuflarea aerului, se face dezoxidarea și apoi se evacuează oțelul în oala de turnare (figura 2.30c).

2.4.3.3 Elaborarea oțelului în convertizorul Kaldor

Convertizorul Kaldor a fost utilizat prima dată în anul 1956, în Suedia la uzinele Domnarvet și a fost creat pentru a utiliza în încărcătură fonte cu concentrații mari de fosfor.

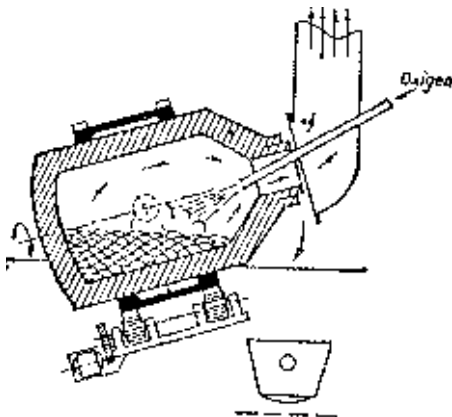


Figura 2.31. Schema de principiu a elaborării oțelului în convertizorul Kaldor.

Construcția convertizorului Kaldor îi permite acestuia rotirea în jurul axei sale de simetrie cu 40 rotații/minut. Oxigenul se insuflă ca și la procedeul LD prin intermediul unei țevi protejate, iar gazele rezultate în urma arderilor sunt absorbite de o hotă instalată deasupra convertizorului. Gazele aspirate sunt dirijate spre o instalație de purificare.

În timpul insuflării oxigenului se rotește convertizorul cu 30 rotații/minut și se pot efectua adaosuri de var sub formă de pulbere. Procedeul Kaldor nu a cunoscut o dezvoltare prea mare în special din cauza uzurii accentuate a căptușelii refractare și cheltuielilor ridicate ale construcției metalice, aspecte care conduc la obținerea unui oțel cu preț de cost ridicat. Calitatea oțelului elaborat prin procedeul Kaldor este influențată de impurificarea oțelului cu incluziuni, provenite ca urmare a uzurii intense a zidăriei refractare.

2.4.3.4 Elaborarea oțelului în convertizorul OBM

Procedeul OBM (Oxigen Baden Maschute) se utilizează din anul 1967 și a apărut din necesitatea micșorării consumului de oxigen și de var urmărindu-se de asemenea pierderi mici de metal și costuri scăzute

pe tona de oțel elaborat. Convertizorul OBM a cărei schemă de principiu este prezentată în figura 2.32 are ca particularitate constructivă un fund detașabil, prevăzut cu orificii pentru suflarea oxigenului.

Orificiile sunt plasate astfel încât oxigenul să se repartizeze uniform pe secțiunea băii și sunt prevăzute cu o

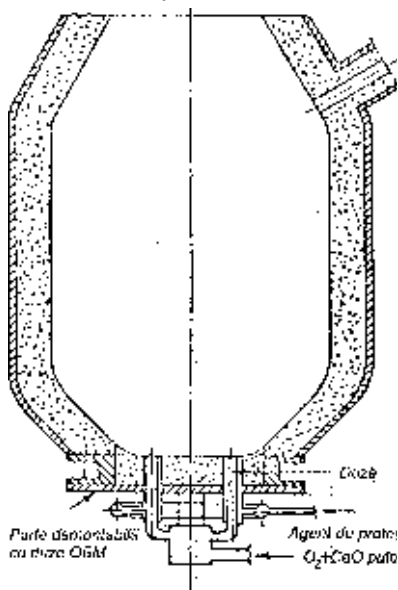


Figura 2.32 Schema de principiu a convertizorului OBM

manta care asigură ca jetul de oxigen să fie înconjurat de un agent de protecție (metan, propan), care are rolul de a proteja căptușeala refractară. Varul se introduce sub formă de pulbere odată cu oxigenul, ceea ce conduce la o formare rapidă a zgurei. Conținutul de FeO din zgură este mai mic la OBM față de LD, fapt care conduce la obținerea unui indice de scoatere mai mare cu cca. 2.5%.

Concentrația de carbon la sfârșitul elaborării poate atinge valori de 0.03 - 0.04% la un conținut de 16% FeO în zgură. Dacă în faza finală se insuflă gaz inert (de preferință argon), se poate micșora atât procentul de carbon până la 0.01% cât și conținutul de hidrogen.

Convertizorul OBM pe lângă avantajele unei decarburări avansate

și a capacității de a topi un procent mare de fier vechi, prezintă și dezavantajul legat de necesitatea schimbării fundului prevăzut cu orificii, ca urmare a unei uzuri rapide.

2.4.3.5 Elaborarea oțelului în convertizorul OLP

Deoarece procedeul LD ridică probleme deosebite la elaborarea oțelului folosind în încărcătură fontă cu conținut ridicat de fosfor (1,9-2,2% P), au apărut o serie de procedee care derivă din procedeul LD cunoscute sub denumirea prescurtată OLP. Schema de principiu a procedeei OLP este prezentată în figura 2.33.

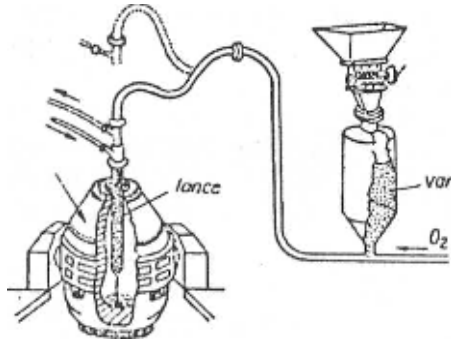


Figura 2.33 Schema de principiu a procedurii OLP

Există variante tehnologice care diferă prin modul de introducere a varului și forma acestuia sau succesiunea operațiilor și parametrii tehnologici. Aceste variante poartă denumirile: LD-Pompey, LD-AC și LD-OLP.

În principiu procedeul OLP diferă de procedeul LD prin aceea că permite utilizarea fontelor lichide cu fosfor ridicat. Varul se introduce prin injecție în baie, împreună cu oxigenul și fiind pulbere se dizolvă ușor; defosforarea începe timpuriu (fig. 2.49) și după cca. 16 min. de suflare, cu un consum de $60 \text{ m}^3/\text{t}$ oxigen și $40 \text{ kg}/\text{t}$ se atinge $0,6\text{-}1\%$ C, cca. $0,2\%$ P și $1550\text{-}1590 \text{ }^\circ\text{C}$. Se îndepărtează zgura care conține cca. 55% CaO, $25\text{-}25\%$ P_2O_5 și $5\text{-}8\%$ Fe, se adaugă fier vechi (împreună cu cel din încărcătură peste 30%) sau minereu pentru răcire și se reia suflarea de oxigen și var cu h_0 mare și q_0 mic obținându-se zgură puternic oxidantă. În continuare se reduce h_0 și în $2\text{-}3$ min. scade $\Sigma(\text{FeO})$ datorită reacționării cu [C] și [P] iar zgura devine slab reactivă. Atunci când procentul de carbon din baie scade sub $0,50\%$ se întrerupe suflarea, se ia probă de oțel și se corectează conținutul de [C] suflând încă $0,5\text{-}1$ min. Oțelul se evacuează la temperaturi de $1590\text{-}1630 \text{ }^\circ\text{C}$. Durata șarjei este de aproximativ 50 min., dar productivitatea convertizorului OLP este cu cca. 20% mai scăzută față de LD fapt ce a limitat dezvoltarea acestui procedeu.

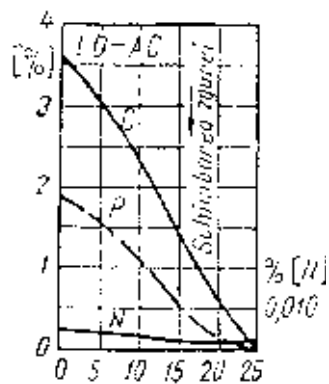


Fig. 2.34 Variația concentrației elementelor C, P și N cu timpul de suflare, la procedeul OLP

CAPITOLUL III

Oțeluri pentru construcții metalice

Oțelurile pentru construcții metalice reprezintă o serie de mărci de oțeluri grupate după domeniu de utilizare denumit „construcții metalice” de către *l'Organisme Professionnel de Qualification et de Classement du Batiment et des Activites Annexes (O.P.Q.C.B)*. Aceste oțeluri pot fi însă utilizate în diverse alte domenii cum ar fi: construcții de artă, elemente de structuri mobile, construcții feroviare, construcții de automobile și mașini agricole, construcții de platforme marine de foraj etc. Din acest motiv această categorie de oțeluri nu este tratată în mod unitar în lucrările de specialitate și am considerat necesar ca în lucrarea de față să ne raportăm în abordarea subiectului la definirea și clasificarea mărcilor de oțel dată de Standardul Român SR EN 10020:1994, care este versiunea românească a Standardului European EN 10020:1998.

3.1 Definirea și clasificarea oțelului după Normele Europene

În vederea înlăturării restricțiilor de ordin administrativ care împiedică libera circulație a produselor industriale pe piața comunității europene trebuie ca diferențele tehnice dintre standardele naționale să fie eliminate prin armonizarea lor cu standardele europene. În acest mod se urmărește o integrare tehnologică rapidă a țărilor ce sunt implicate în programele de includere în Uniunea Europeană. Definirea și clasificarea mărcilor de oțel este dată de Standardul Român SR EN 10020:1994 care reprezintă traducerea Standardului European EN 10020:1998. Standardele cu sigla SR (standard român) au fost aprobate după 28 august 1992 iar cele existente cu sigla STAS (standard de stat), publicate înainte de 28 august 1992 își mențin valabilitatea până la revizuirea și transformarea lor în standarde române. Astfel încât actualmente se utilizează ambele standarde.

Conform Standardului European EN 10020:1998 aprobat de CEN (Comite European de Normalization) ca urmare a deciziei Comisiei de Coordonare (COCOR) a Comitetului European de Standardizare pentru Fontă și oțel din noiembrie 1987, oțelul este definit în modul următor:

„Un material care conține în greutate mai mult fier decât orice alt element considerat individual, care are un conținut de carbon în general

mai mic de 2% și care conține și alte elemente chimice. Un număr limitat de oțeluri cu crom pot conține mai mult de 2% carbon, dar limita obișnuită care separă oțelurile de fontă se situează la 2%".

În funcție de compoziția chimică determinată pe oțelul lichid oțelurile se clasifică în următoarele două mari grupe:

- oțeluri nealiate;
- oțeluri aliate.

Clasificarea este determinată de valoarea minimă prescrisă în standardul de produs sau în specificația tehnică a produsului pentru fiecare element de aliere în parte. Când standardul prevede numai valori maxime pentru clasificare se ia în calcul 70% din valoarea maximă prescrisă, excepție făcând manganul la care se aplică valoarea de 1,80%.

În cazul în care nu sunt precizate compozițiile chimice pe oțel lichid, în standard, clasificarea se efectuează după compoziția chimică comunicată de producător.

Oțelurile nealiate se clasifică în următoarele clase principale de calitate:

- oțeluri nealiate de uz general;
- oțeluri nealiate de calitate;
- oțeluri nealiate speciale.

Oțelurile nealiate sunt oțelurile la care concentrația elementelor chimice nu depășește valorile limită prezentate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1 Valorile limită ale compoziției oțelurilor nealiate

Elementul chimic de aliere prescris		Valoarea limită (% masice)
Al	Aluminiu	0,10
B	Bor	0,008
Bi	Bismut	0,10
Co	Cobalt	0,10
Cr	Crom	0,30
Cu	Cupru	0,40
La	Lantanide (fiecare)	0,05
Mn	Mangan	1,65
Mo	Molibden	0,08
Nb	Niobiu	0,06
Ni	Nichel	0,30
Pb	Plumb	0,40
Se	Seleniu	0,10
Si	Siliciu	0,50
Te	Telur	0,10
Ti	Titan	0,05
V	Vanadiu	0,10
W	Wolfram	0,10
Zr	Zirconiu	0,05
Altele (cu excepția C, P, S, N)		0,05

Oțelurile de uz general sunt oțeluri care se produc prin procedee de elaborare obișnuite, nu necesită o tehnologie de fabricație specială și îndeplinesc următoarele condiții:

- nu necesită tratament termic (după SR EN 10020:1994 unde sunt exceptate tratamentele de recoacere sau normalizare);
- nu este prescrisă nici o altă condiție de calitate cum ar fi proprietățile de tragere la rece, trefilare etc;
- nu sunt impuse condiții speciale pentru nici un element de aliere cu excepția manganului și siliciului;
- caracteristicile mecanice stabilite în standardul sau specificația de produs date pentru produsele în stare laminată sau normalizată se încadrează în valorile limită prevăzute în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2 Caracteristici mecanice limită ale oțelurilor nealiat pentru produsele livrate în stare laminată sau normalizată

Caracteristici mecanice prescrise	Grosime (mm)	Încercare în Conformitate cu EU	Valoarea limită
Rezistența la rupere minimă	≤ 16	2 sau 11	≤ 690 N/m ²
Limita la curgere minimă	≤ 16	2 sau 11	≤ 360 N/m ²
Alungirea la rupere minimă	≤ 16	2 sau 11	≤ 26%
Valoarea minimă a energiei de rupere la 20 °C, pe epruvete ISO cu creștătură în V, prelevate longitudinal	≤ 10 ≤ 16	45	27 J

Oțelurile nealiat de calitate sunt definite ca oțeluri ce nu au impuse condiții pentru o comportare precizată la tratament termic sau puritate în ceea ce privește incluziunile nemetalice. Prescripțiile de calitate ale acestora (tenacitatea la rupere, controlul mărimii grăuntelui, capacitatea de deformare la rece) sunt mai severe decât cele ale oțelurilor nealiat de uz general ceea ce implică condiții de elaborare particulare cu un control mai riguros al procesului tehnologic.

Oțelurile nealiat speciale sunt oțeluri cu un grad mai înalt de puritate decât oțelurile nealiat de calitate, în special în ceea ce privește incluziunile nemetalice și sunt destinate tratamentului termic de călire-revenire sau durificare superficială. Caracteristicile mecanice superioare ale acestor oțeluri sunt realizate în principal prin tehnologia de elaborare ce impune condiții tehnologice severe privind realizarea compoziției chimice și controlul procesului de elaborare. Aceste oțeluri trebuie să satisfacă una sau mai multe din următoarele condiții:

- energie la rupere în stare călită și revenită;

adâncime de călire sau duritate superficială prescrisă în stare călită, călită și revenită sau călită superficial; conținut superficial de incluziuni nemetalice;

- concentrații de maxim 0,025 P și S pe produs.

Oțelurile aliate se clasifică în următoarele clase principale de calitate:

- oțeluri aliate de calitate;
- oțeluri aliate speciale.

Oțelurile aliate de calitate sunt oțeluri la care pentru realizarea caracteristicilor prescrise sunt necesare adaosuri de elemente de aliere. Acestea sunt oțeluri de construcție cu granulație fină, oțeluri pentru electrotehnică, oțeluri aliate pentru șină, pentru armături de mină și oțeluri aliate la care singurul element de aliere prescris este cuprul.

Oțelurile aliate speciale au condiții speciale de fabricație ce includ verificarea riguroasă a compoziției chimice în vederea asigurării unor caracteristici superioare în limite înguste de control. Această clasă de oțeluri include următoarele categorii de oțeluri:

- oțelurile inoxidabile;
- oțelurile refractare;
- oțelurile pentru rulmenți; oțelurile

pentru scule;

- oțelurile pentru construcția de mașini.

Oțelurile speciale aliate se clasifică după compoziția chimică în următoarele categorii principale:

- oțeluri inoxidabile care conțin maxim 1,20% C și minim 10,5% Cr și se împart în două subcategorii în funcție de conținutul de nichel:

- a) $Ni < 2,5\%$;
- b) $Ni \geq 2,5\%$.

- oțeluri rapide, care conțin, pe lângă alte eventuale elemente cel puțin două dintre următoarele trei elemente: Mo, V, W în conținutul însumat de min 7%, min. 0,6% C și 3-6% Cr;

- alte oțeluri speciale.

Simbolizarea mărcilor de oțel adoptată în prezent după sistemul european este de două tipuri:

- simbolizare alfanumerică, bazată pe simboluri literale și numerice;
- simbolizare numerică.

Simbolurile utilizate la simbolizarea alfanumerică exprimă anumite caracteristici de bază ale oțelului, de exemplu: utilizare principală, caracteristici mecanice, proprietăți fizico-chimice.

În funcție de utilizare și caracteristici mecanice simbolizarea cuprinde un simbol principal (o literă majusculă) urmat de un număr care reprezintă valoarea limită a limitei de curgere dată în N/mm^2 .

Simbolizarea alfanumerică dată de Standardul Român SR EN 10027-1:1998 care reprezintă traducerea Standardului European EN

10027-2:1991, pentru clasificarea oțelurilor după utilizare și caracteristici cuprinde următoarele simboluri:

S = oțelurile de construcție;

P = oțeluri pentru recipiente sub presiune;

L = oțeluri pentru țevi;

E = oțeluri pentru construcții mecanice;

B = oțeluri pentru beton armat;

Y = oțeluri pentru beton precomprimat (după simbol urmează un număr care reprezintă valoarea minimă specifică a rezistenței la tracțiune în N/mm^2);

R = oțeluri pentru șină (urmat de valoarea minimă a rezistenței la tracțiune, în N/mm^2);

H = produse plate laminate la rece din oțeluri pentru ambutisare (când nu este precizată limita de curgere este precizată rezistența la tracțiune prin simbolul T urmat de valoarea rezistenței minime specifice în N/mm^2); **D** = produse plate deformate la rece;

T = oțeluri pentru tablă neagră, tablă stanată, tablă cromată. Simbolul principal T poate fi urmat de:

- litera H urmată de valoarea medie a durezza Rockwell HR 30 T_m - pentru produsele simplu laminate;
- pentru produsele dublu laminate: un număr care reprezintă valoarea nominală a limitei de curgere, în N/mm^2 ;

M = oțeluri pentru electrotehnică. Simbolul M poate fi urmat de:

- un număr care reprezintă de 100 ori pierderile totale specifice exprimate în W/kg , corespunzătoare grosimii nominale a produsului, pentru o inducție magnetică la o frecvență de 50 Hz de 1,5 Tesla, pentru oțeluri semiprocuate, oțeluri cu grăunții neorientați; oțeluri cu grăunți orientați obișnuiți sau 1,7 Tesla, pentru oțeluri electrotehnice cu grăunții orientați cu pierderi reduse sau cu permeabilitate ridicată, un număr care reprezintă de 100 ori grosimea nominală a produsului în mm;

- literă care precizează tipul oțelului electrotehnic:

A, pentru table cu grăunți neorientați;

D, pentru table semiprocuate de oțel nealiat (fără

recoacere;

E, pentru table semiprocuate de oțel aliat (fără

recoacere finală;

N, pentru table cu grăunți orientați;

S, pentru table cu grăunți orientați cu pierderi reduse;

P, pentru table cu grăunți orientați cu permeabilitate ridicată.

În cazul în care un oțel este specificat sub formă de piese turnate, simbolizarea prezintă inițial litera G.

Simbolizarea oțelurilor în funcție de compoziția chimică se face prin litera C pentru oțelurile nealiate și X pentru oțelurile aliate urmate de un număr care reprezintă de 100 ori conținutul mediu specificat de carbon. La oțelurile aliate după concentrația de carbon urmează și simbolurile chimice ale elementelor de aliere în ordine descrescătoare a concentrației, însoțite de valorile corespunzătoare ale concentrației elementelor de aliere respective.

Pentru oțelurile nealiate, cu un conținut mediu de mangan $\geq 1,5\%$, oțelurile nealiate pentru automate și oțelurile aliate (cu excepția oțelurilor rapide) la care concentrația fiecărui element de aliere este $< 5\%$, numărul care indică concentrația elementului de aliere, reprezintă valoarea medie a concentrației, exprimată în % masice, multiplicată cu un factor corespunzător prezentat în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3 Valorile factorului de multiplicare utilizat la simbolizarea oțelurilor aliate în funcție de compoziția chimică

Elementul chimic de aliere	Factorul de multiplicare
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
Ce, N, P, S	100
B	1000

În cazul oțelurilor aliate (cu excepția oțelurilor rapide) la care concentrația unui element de aliere este $\leq 5\%$, numărul care reprezintă valoarea medie a concentrației elementului indicat, exprimată în procente masice, este doar rotunjit la numărul întreg cel mai apropiat fără a mai fi multiplicat cu factorul prezentat în tabelul 3.2.

Pentru oțelurile rapide simbolizarea cuprinde literele HS urmate de numere ce indică valorile concentrației elementelor de aliere, prezentate în următoarea ordine: W, Mo, V, Co. Valorile ce indică concentrația elementelor de aliere sunt rotunjite la numărul întreg cel mai apropiat.

Simbolizarea numerică a mărcilor de oțel este complementară simbolizării alfanumerice și are un număr fix de cifre. Această simbolizare este adaptată mai bine pentru prelucrarea automată a datelor comparativ cu simbolizarea alfanumerică.

Simbolizarea alfanumerică a oțelurilor laminate la cald din oțeluri de construcție (SR EN 10025+A₁) este completată după cum urmează:

JR = clasă de calitate pentru produse cu valoare minimă a energiei de rupere la încovoiere prin șoc de 27 J la 20 °C;

JO = clasă de calitate pentru produse cu valoare minimă a energiei de rupere la încovoiere prin șoc de 27 J la 0 °C;

J2 = JR = clasă de calitate pentru produse cu valoare minimă a energiei de rupere la încovoiere prin șoc de 27 J la -20 °C;

K2 = clasă de calitate pentru produse cu valoare minimă a energiei de rupere la încovoiere prin șoc de 40 J la -20 °C;

G1 = pentru oțeluri necalmate;

G2 = pentru oțeluri în altă stare decât starea necalmată; G3 și G4 - pentru alte caracteristici;

N = pentru produsele care nu se livrează în stare normalizată sau în stare de laminare normalizantă;

C = pentru oțelurile cu capacitate de deformare la rece.

3.2 Proprietăți mecanice tehnologice și utilizări ale oțelurilor pentru construcții metalice

Oțelurile pentru construcții metalice cuprind o gamă largă de oțeluri cu proprietăți și caracteristici diferențiate în funcție de diversele domenii de utilizare: structuri metalice sau din beton armat pentru construcții civile, industriale, agrozootehnice, poduri, structuri pentru foraj, instalații de ridicat și transportat, material rulant și rutier, stâlpi și piloni pentru linii electrice aeriene etc. Pentru ca aceste oțeluri să poată fi adoptate în proiectare și să răspundă condițiilor de exploatare este necesar să fie cunoscute în primul rând sub aspectele caracterizării și utilizării lor.

3.2.1 Oțeluri nealiat de uz general pentru construcții metalice

Standardul SR EN 10025+A₁:1994 stabilește șapte mărci de oțeluri nealiat de uz general și de calitate: S185, S235, S275, S355, S355, E295, E335 și E360 care diferă prin compoziție chimică (tabelul 3.4) și caracteristicile mecanice (tabelele 3.5, 3.6, 3.7). Aceste mărci de oțeluri se livrează sub formă de produse plate și lungi, laminate la cald, destinate utilizării în fabricația de elemente pentru construcții sudate, asamblate prin nituri sau șuruburi și exploatare la temperatura mediului ambiant, mărcile prezentate nu sunt destinate tratamentului termic cu excepția celor livrate în starea N care pot fi normalizate și deformate la cald după livrare. Se pot aplica însă la toate mărcile tratamente de recoacere și detensioare.

Există o serie de clase și subclase de calitate (JR, JO, J2, K2, J2G3, J2G4, K2G3, K2G4) care diferă între ele prin sudabilitate și valori prescrise pentru energia de rupere la încovoierea prin șoc (tabelul 3.7). Dacă nu se specifică capacitatea de deformare la rece (tabelul 3.8) mărcile de oțel S185, E295, E335 și E360 precum și mărcile de oțel S235, S275 și S355, clasa de calitate JR, sunt oțeluri de uz general.

Unele proprietăți tehnologice ale oțelurilor de uz general sunt prezentate în tabelul 3.9.

Oțelurile din clasele de calitate JO, J2G3, J2G4, K2G3.K2G4, sunt oțeluri de calitate.

Standardului SR EN 10025+A₁:1994 îi corespund, din punct de vedere al domeniului de aplicare, următoarele standarde românești:

- STAS 500/1-89 Oțeluri de uz general pentru construcții. Condiții tehnice generale de calitate.
- STAS 500/2-80 Oțeluri de uz general pentru construcții. Mărci.

Având în vedere numărul mare de condiții tehnice de livrare este imposibil de realizat o echivalență strictă între mărcile de oțel din STAS 500/2-80 și SREN 10025 + A₁:1994, astfel încât se vor prezenta oțelurile de uz general și după standardele de stat (STAS) care sunt încă valabile până la revizuirea lor integrală și transformarea în standarde românești (SR).

Tabelul 3.4 Compoziția chimică la analiza pe oțel lichid pentru produse plate și produse lungi din oțeluri nealiante de uz general și de calitate, SR EN 10025+A1 (BS - oțel de uz general, GS - oțel de calitate)

Notare		Metoda de deoxidare	Subgrupa	C în %, max., pentru o grosime nominală de produs (mm)			Mn% max.	Si % max.	P % max.	S % max.	N% max.
Conform EN 10027-1 și EC1SS IC.10	Conform EN10027-2			< 16	> 16 < 40	>40					
S185	1.0035	la alegere	BS	—	—	—	—	—	—	—	—
S235JR	1.0037	la alegere	BS	0,17	0,20	—	1,40	0,045	0,045	0,045	0,009
S235JRG1	1.0036	FU	BS	0,17	0,20	—	1,40	0,045	0,045	0,045	0,007
S235JRG2	1.0038	FN	BS	0,17	0,17	0,20	1,40	0,045	0,045	0,045	0,009
S235JO	1.0114	FN	os	0,17	0,17	0,17	1,40	0,040	0,040	0,040	0,009
S235J2G3	1.0116	FF	os	0,17	0,17	0,17	1,40	0,035	0,035	0,035	—
S235J2G4	1.0117	FF	os	0,17	0,21	0,17	1,40	0,035	0,035	0,035	—
S275JR	1.0044	FN	BS	0,21	0,18	0,22	1,50	0,045	0,045	0,045	0,009
S275JO	1.0143	FN	OS	0,18	0,18	0,18	1,50	0,040	0,040	0,040	0,009
S 275 J2G3	1.0144	FF	OS	0,18	0,18	0,18	1,50	0,035	0,035	0,035	—
S 275 J2G4	1.0145	FF	os	0,18	0,18	0,18	1,50	0,035	0,035	0,035	—
S355JR	1.0045	FN	BS	0,24	0,24	0,24	1,60	0,045	0,045	0,045	0,009
S355JO	1.0553	FN	os	0,20	0,20	0,20	1,60	0,040	0,040	0,040	0,009
S355J2G3	1.0570	FF	os	0,20	0,20	0,20	1,60	0,035	0,035	0,035	—
S355J2G4	1.0577	FF	os	0,20	0,20	0,20	1,60	0,035	0,035	0,035	—
S355JK2G3	1.0595	FF	os	0,20	0,20	0,20	1,60	0,035	0,035	0,035	—
S355JK2G4	1.0596	FF	os	0,20	0,20	0,20	1,60	0,035	0,035	0,035	—
E295	1.0050	FN	BS	—	—	—	—	0,045	0,045	0,045	0,009
E335	1.0060	FN	BS	—	—	—	—	0,045	0,045	0,045	0,009
E360	1.0070	FN	BS	—	—	—	—	0,045	0,045	0,045	0,009

Tabelul 3. 5 Proprietăți mecanice pentru produsele plate și pentru produsele lungi de oțeluri nealiat de uz general și de calitate, SR EN 10025+A1

Notare		Metodă de dezoxidare	Sub-grupa	Limită de curgere minimă R _s , N/mm ² 1)						Rezistența la tracțiune R _m , N/mm ²				
Conform EN10027-1 și ECIS IC 10	Conform EN10027-2			< 16	>16 ≥40	>40 i 63	>63 <80	>80 <100	>100 ≥150	>150 ≥200	>200 ≥250	< 3	≥100	> 100 ≥150
S185	1.0035	la alegere	BS	185	175						310...540	290...510	—	—
S235JR	1.0037	la alegere	BS	235	225						360...510	340...470	—	—
S235JRG1	1.0036	FU	BS	235	225						360...510	340...470	—	—
S235JRG2	1.0038	FN	BS											
S235JO	1.0114	FN	OS	235	225	215	215	195	185	175	360...510	340...470	340...470	320...470
S235J2G3	1.0116	FF	OS											
S235J2G4	1.0117	FF	OS											
S275JR	1.0044	FN	BS											
S275JO	1.0143	FN	OS	275	265	255	245	235	225	215	430...580	410...560	400...540	380...540
S275J2G3	1.0144	FF	OS											
S275J2G4	1.0145	FF	os											
S355JR	1.0045	FN	BS											
S355JO	1.0553	FN	OS											
S355J2G3	1.0570	FF	OS	355	345	335	325	315	285	275	510...680	490...630	470...630	450...630
S355J2G4	1.0577	FF	os											
S355JK2G3	1.0595	FF	os											
S355JK2G4	1.0596	FF	os											
E295	1.0050	FN	BS	295	285	275	265	255	245	235	490...660	470...610	450...610	440...610
E335	1.0060	FN	BS	335	325	315	305	305	295	275	590...710	570...710	550...710	540...710
E360	1.0070	FN	BS	360	355	345	335	325	305	295	690...900	670...830	650...830	640...830

(BS = oțel de uz general; OS = oțel de calitate)

Tabelul 3.6 Proprietăți mecanice pentru produsele plate și pentru produsele lungi din oțeluri nealiate de uz general și de calitate, SR EN 10025+A1

Notare		Metodă de deoxidare	Subgrupa	Orientare epruvete	Alungire procentuală minimă, %											
					L ₀ = 80 mm					Grosime nominală, mm					L ₀ = 5,65 √S ₀	
Conform EN10027-1 și ECIS IC-10	Conform EN10027-2				<1	>1	>1,5	>2	>2,5	>3	<63	>63	<100	>100	<150	>150
S185	1.0035	la alegere	BS	l t	10 8	11 9	12 10	13 11	14 12	18 12						
S235JR	1.0037	la alegere	BS	l	17	18	19	20	21	26	25	24	22	22	21	21
S235JRG1	1.0036	FU	BS													
S235JRG2	1.0038	FN	BS													
S235JO	1.0114	FN	OS													
S235J2G3	1.0116	FF	OS													
S235J2G4	1.0117	FF	OS	t	15	16	17	18	19	24	23	22	22	22	21	21
S275JR	1.0044	FN	BS		14	15	16	17	18	22	21	20	18	18	17	17
S275JO	1.0143	FN	OS	l												
S275J2G3	1.0144	FF	OS	t	12	13	14	15	16	202	19	18	18	18	17	17
S275J2G4	1.0145	FF	OS													
S355JR	1.0045	FN	BS	l	14	15	16	17	18	22	21	20	18	18	17	17
S355JO	1.0553	FN	OS													
S355J2G3	1.0570	FF	OS													
S355J2G4	1.0577	FF	OS													
S355JK2G3	1.0595	FF	OS													
S355JK2G4	1.0596	FF	OS	t	12	13	14	15	16	20	19	18	18	18	17	17
E295	1.0050	FN	BS	l t	12 10	13 11	14 12	15 13	16 14	20 18	19 17	18 16	16 15	16 15	15	14
E335	1.0060	FN	BS	l t	8 6	9 7	10 8	11 9	12 10	16 14	15 13	14 12	12 11	12 11	11	10
E360	1.0070	FN	BS	l t	4 3	5 4	6 5	7 6	8 7	11 10	10 9	9 8	8 7	8 7	8	7

(BS = oțel de uz general; OS = oțel de calitate)

Tabelul 3.7 Proprietăți mecanice - Energia de rupere KV la încovoiere prin șoc (eprovete longitudinale) pentru produse plate și lungi din oțelurile de uz general și de calitate SR EN 10025+At

Notare		Metoda de dezoxidare	Subgrupa	Temperatura °C	Energia de rupere minimă J grosime nominală, mm	
					>20 <150	>150 <250
S185	1.0035	la alegere	BS	-	-	-
S235 JR	1.0037	la alegere	BS	20	27	-
S235 JRG1	1.0036	FU	BS	20	27	-
S235 JRG2	1.0038	FN	BS	20	27	23
S235 JO	1.0114	FN	OS	0	27	23
S235 J2G3	1.0116	FF	OS	-20	27	23
S235 J2G4	1.0117	FF	OS	-20	27	23
S275 JR	1.0044	FN	BS	20	27	23
S275 JO	1.0143	FN	OS	0	27	23
S 275 J2G3	1.0144	FF	OS	-20	27	23
S 275 J2G4	1.0145	FF	OS	-20	27	23
S355 JR	1.0045	FN	BS	20	27	23
S355 JO	1.0553	FN	OS	0	27	23
S335 J2G3	1.0570	FF	OS	-20	27	23
S355 J2G4	1.0577	FF	OS	-20	27	23
S355 JK2G3	1.0595	FF	OS	-20	40	33
S355 JK2G4	1.0596	FF	OS	-20	40	33
E295	1.0050	FN	BS	-	-	-
E335	1.0060	FN	BS	-	-	-
E360	1.0070	FN	BS	-	-	-

(BS = oțel de uz general; OS = oțel de calitate)

Tabelul 3.8. Raza minimă de îndoire la rece a produselor plate din oțelurile nealiante de uz general, SR EN 10025+A1

Notare		Direcția de îndoire ¹⁾	Raza interioară minimă de îndoire recomandată pentru grosimi nominale, mm																									
			>1	≤1,5	>1,5	≤2,5	>2,5	>3	>4	≤4	<5	≤6	>6	>7	≤8	>8	≤10	>10	≤12	>12	≤14	>14	≤16	>16	≤18	>18	≤20	
Conform EN10027-1 și ECIS IC 10	Conform EN10027-2																											
S235JRC	1.0120																											
S235JRG1C	1.0121																											
S235JRG2C	1.0122	t	1,6	2,5	3	5	6	8	10	12	16	20	25	28	36	40	45											
S235JOC	1.0115	I	1,6	2,5	3	6	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45												
S235J2G3C	1.0118																											
S235J2G4C	1.0119																											
S275JRC	1.0128																											
S275JOC	1.0140	t	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45	50											
S275J2G3C	1.0141	I	2	3	4	6	10	12	16	20	25	32	36	40	45	50												
S275J2G4C	1.0142																											
S355JOC	1.0554																											
S355J2G3C	1.0569																											
S355J2G4C	1.0579	t	2,5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	36	45	50												
S355JK2G3	1.0593	I	2,5	4	5	6	10	12	16	20	25	32	36	40	50	63												
S355JK2G4	1.0594																											

1) t: perpendiculară pe direcția de laminare;
I: paralelă pe direcția de laminare.

Tabelul 3.9 Proprietăți tehnologice ale oțelurilor nealiate de calitate, SREN 10025+A,

Notare		Capacitate pentru		
Conform EN 10027-1 și ECISS IC 10	Conform EN 10027-2	îndoire la rece	profilare la rece în matriță	tragere la rece
S235 JRC	1.0120	*	*	*
S235JRG1C	1.0121	*	*	*
S235 JRG2C	1.0122	*	*	*
S235 JOC	1.0115	*	*	*
S235 J2G3C	1.0118	*	*	*
S235 J2G4C	1.0119	*	*	*
S275 JRC	1.0128	*	*	*
S275 JOC	1.0140	*	*	*
S 275 J2G3C	1.0141	*	*	*
S 275 J2G4C	1.0142	*	*	*
S355 JRC	1.0551	—	—	*
S355 JOC	1.0554	*	*	*
S335 J2G3C	1.0569	*	*	*
S355 J2G4C	1.0579	*	*	*
S355 JK2G3C	1.0593	*	*	**
S355 JK2G4C	1.0594	*	*	*
E295C	1.0553	—	—	*
E335C	1.0543	—	—	*
E360C	1.0633	—	—	*

Conform STAS 500/2-80, oțelurile de uz general pentru construcții metalice sunt oțeluri nealiate care conțin carbon până la 0,6% cu simbolurile: OL30; OL32; OL34; OL42; OL50; OL60 și OL70, sau slab aliate cu mangan - OL44, respectiv cu mangan, siliciu și vanadiu - OL52, sub formă de laminate și trase în bare, benzi, sârme, table, țevi, profile sau forjate în bare, utilizate fără tratamente termice (eventual normalizate) în construcții metalice pentru organe de mașini de mică importanță, slab solícitate, în domeniul de temperaturi cuprinse între - 40 °C și 300 °C.

Sunt elaborate cu diverse grade de dezoxidare în funcție de cantitatea de siliciu: necalmate (n) cu Si < 0,07% și C < 0,25%; semicalmate (s) cu Si = 0,07...0,17% și C < 0,35%; calmate (k) cu Si = 0,17...0,5% și în patru clase de calitate (1...4) după caracteristicile garantate la livrare.

Oțelurile necalmate prezintă segregatii de incluziuni, au reziliență scăzută, sudabilitate medie, tendință de fragilizare la rece, temperatura de tranziție ductil-fragil crescătoare cu procentul de carbon, tendință mai accentuată de supraîncălzire și tendință mărită de îmbătrânire termică, îndeosebi cele cu sub 0,05%C, sau mecanică la cele cu 0,015...0,02%N.

Tabelul 3.10 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri de uz general, pentru construcții, STAS 500/2-80

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %										Marcare	Obs.				
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V			W	Alte el.		
1.	OL 30	—	—	—	0,085	0,085	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.	OL 32 1, 1a, 1b	0,15	0,6	—	0,055	0,055	—	—	—	—	—	—	—	—	a	—	—
3.	OL 34 1, 1a, 1b	0,17	0,55	—	0,055	0,055	—	—	—	—	—	—	—	—	g	—	—
4.	OL 37 1, 1a, 1b 2 3 4	0,25 0,22 0,19 0,19	0,85	≤0,07 ≤0,4	0,065 0,055 0,050 0,045	0,065 0,055 0,050 0,045	—	—	—	—	—	—	—	—	r	K, K K	—
5.	OL 42 1, 1a, 1b 2 3	0,31 0,31 0,25	0,85	0,4	0,065 0,050 0,045	0,065 0,050 0,045	—	—	—	—	—	—	—	—	n	K, K	—
6.	OL 44 2 3 4	0,22 0,22 0,20	1,15	≤0,50	0,055 0,050 0,045	0,055 0,050 0,045	—	—	—	—	—	—	—	—	c	K, K K	—
7.	OL 50 1, 1a, 1b	0,3	C, S5	≤0,4	0,055	0,055	—	—	—	—	—	—	—	—	V	K	—
8.	OL 52 2 3 4	0,22 0,22 0,20	1,65	≤0,50	0,055 0,050 0,045	0,055 0,050 0,045	—	—	—	—	—	—	—	—	vi	K, K K	—
9.	OL 60 1, 1a, 1b	0,40	C:35	≤0,4	0,055	0,055	—	—	—	—	—	—	—	—	al	K	—
10.	OL 70 1, 1a, 1b	0,50	0,85	≤0,4	0,055	0,055	—	—	—	—	—	—	—	—	vs	K	—

Tabelul 3.11 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri de uz general pentru construcții rezistente la coroziunea atmosferică, STAS 500/3-80

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %										Alte elem.	Marcare	Obs.		
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V				W	
1.	RCA 37 1, 1a, 1b 2 3	0,10	0,45	0,12...0,35	<0,04	<0,06	0,5...0,8	—	—	—	—	—	—	—	r-a	—
2.	RCB 52 2 3 4	0,18	1,2	0,6	≤0,045	≤0,045	0,5...0,8	—	—	—	—	—	—	Cu = 0,3- 0,6 Al a 0,02 Nb = 0,019	vu-a	—

Tabelul 3.12 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri cu granulație fină, STAS 9021-88; 11082-80; 11505-89; 715/2-80

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %										Alte elem.	Marcare	Obs.		
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V				w	
1.	OCS 285	0,20	0,8...1,1	<0,5	0,04	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	v-p-v	—
2.	OCS 355	0,18	1,1...1,6	≤0,5	0,03	0,03	—	—	—	—	—	—	—	—	v-r-v	—
3.	X42	0,28	1,25	—	0,045	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.	X46	0,30	1,35	—	0,050	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.	X52	0,30	1,35	—	0,050	0,040	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.	X56	0,26	1,35	—	0,05	0,04	—	—	0,03	0,02	—	—	Nb=0,02	—	—	—
7.	X60	0,2	1,35	—	0,05	0,04	—	—	0,03	0,02	—	—	Nb=0,02	—	—	—
8.	L410	0,22	1,4	≤0,4	0,040	0,040	—	—	0,15	—	—	—	Nb=0,05	—	—	—
9.	A	0,22	0,9	—	0,045	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10.	B	0,22	1,15	—	0,045	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelul 3.13 Proprietăți mecanice ale oțelurilor de uz general pentru construcții și recomandări de tratamente termice, STAS 500/2-80

Nr. crt.	Marca	Stare a	Proprietăți mecanice				Parametrii tratamentului termic								
			R _{0.2} N/mm ² , min.	R _m N/mm ² , min.	A5 % min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HR C	Recoacere T, °C Mediu	Normalizare T, °C Mediu	Călire T, °C Mediu	Revenire T, °C Mediu			
1.	OL 30	L	—	> 310	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.	OL 32	L	170	310-390	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.	OL 34	L	200	330-410	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.	OL 37	L	220	360-440	25	59	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.	OL 42	L	250	410-490	22	59	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.	OL 44	L	270	430-540	25	59	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.	OL 50	L	280	490-610	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8.	OL 52	L	340	510-630	22	59	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9.	OL 60	L	320	590-710	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10.	OL 70	L	350	min. 690	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelul 3.14 Proprietăți mecanice ale oțelurilor de uz general pentru construcții rezistente la coroziune atmosferică STAS 500/3-80 și recomandări de tratamente termice

Nr. crt.	Marca	Stare a	Proprietăți mecanice				Parametrii tratamentului termic								
			R _{0.2} N/mm ² , min.	R _m N/mm ² , min.	A5 % min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HR C	Recoacere T, °C Mediu	Normalizare T, °C Mediu	Călire T, °C Mediu	Revenire T, °C Mediu			
1.	RCA32	L	240	370-440	24	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.	RCB52	L	350	510-630	20	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelul 3.15 Proprietăți mecanice ale oțelurilor cu granulație fină, STAS 9021-88; 11082-80; 11505-89; 715/2-80 și recomandări de tratamente termice

Nr. crt.	Marca	Sta-rea	Proprietăți mecanice				Parametrii tratamentului termic											
			R _{0.2} N/mm ² , min.	R _m N/mm ² , min.	A5 % min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HRC	Recoacere T, °C		Normalizare T, °C		Călire T, °C		Revenire T, °C			
1.	OCS 285	L	285	430-540	23	48	—	—	—	—	530-580	c	900-920	aer	—	—	—	—
2.	OCS 355	L	355	510-610	20	48	—	—	—	—	530-580	C	900-920	aer	—	—	—	—
3.	X42	L	290	410	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.	X46	L	320	430	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.	X52	L	360	>450	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.	X56	L	390	490	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.	X60	L	410	520	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8.	L410	L	412	529-686	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9.	A	L	207	331	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10.	B	L	241	>413	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Oțelurile calmate au proprietăți mecanice uniforme, reziliență mai mare, sudabilitate și deformabilitate la rece mai bune și temperatura de tranziție ductil-fragilă mai scăzută.

Deformabilitatea plastică la rece scade cu creșterea conținutului de carbon. Astfel, pentru ambutisări adânci și îndoiri accentuate este necesar un conținut de carbon sub 0,08% indicat fiind OL 32, iar ambutisările și îndoirile mai puțin accentuate pot fi aplicate oțelurilor cu 0,15...0,3% C: OL 37; OL 42; OL 44 și OL 52. Pentru deformări plastice la rece sunt indicate oțelurile necalmate care au mai puțin siliciu.

Sudabilitatea prin topire este bună dacă $C < 0,22...0,25\%$; $Mn < 0,8\%$; $Si < 0,4\%$; $S < 0,06\%$; $P < 0,06\%$ iar $Mn/Si = 2$. La conținuturi mai mari de carbon, apare tendința de fragilizare prin călire a cusăturilor sudate. Din punctul de vedere al sudabilității corespund mărcile OL 32...OL 52. Oțelurile OL60 și OL70 se preîncălzesc înainte de sudare la 150...300°C, iar după sudare se răcesc foarte lent sau se recoc pentru detensionare.

Sudarea electrică prin presiune cap la cap, prin puncte sau în linie se pretează la toate mărcile de oțel OL32...OL70.

Caracteristicile mecanice ale acestor oțeluri sunt: $R_m=310...700$ N/mm²; $R_{p0,2} = 160...350$ N/mm²; $KCU = 59...69$ J/cm², în funcție de marca de oțel și de grosimea semifabricatului. Rezistență bună la oboseală prezintă numai oțelurile calmate. Limita la curgere a acestor oțeluri scade cu creșterea grosimii sau a diametrului produselor (figura 3.1).

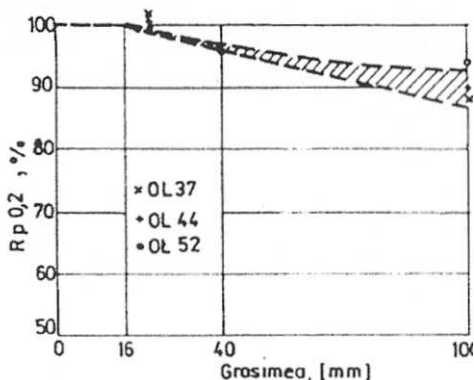


Fig. 3.1 Variația limitei de curgere cu grosimea de produs l a oțelurile de uz general

Produsele cu grosimi mici, obținute prin tragere, laminare sau trefilare au proprietăți de rezistență mai mari și de plasticitate mai mici, imprimate de fenomenul de ecruisare. Reziliența și tenacitatea scad prin

îmbătrânire odată cu creșterea gradului de deformare plastică la temperaturi situate sub 400°C (rece), conform figurii 3.2.

Astfel, comparativ cu starea de livrare (curba a, figura 3.2) îmbătrânirea de o oră la 250°C după deformarea plastică la rece cu grade de deformare 5; 10 și 15% determină scăderea accentuată a rezilienței (curbele b, c și d).

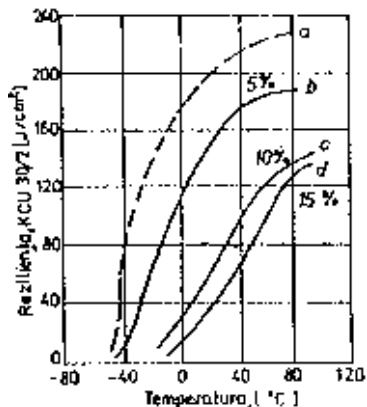


Fig. 3.2 Influența gradului de deformare plastică la rece asupra tenacității oțelului necalmat îmbătrânit la 250°C, o oră

Între rezistența la rupere (R_m) a oțelurilor-carbon obișnuite și limita la curgere ($R_{p0.2}$) și alungire (A) există o directă dependență dată în figura 3.3.

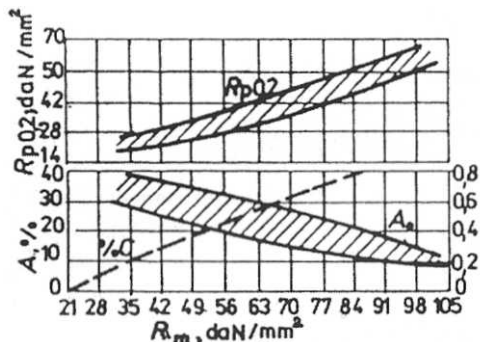


Fig. 3.3 Corelația dintre rezistența la rupere, limita de curgere și alungire la oțelurile-carbon laminate.

Se constată că alungirea scade, iar limita de curgere crește cu creșterea rezistenței la rupere și a procentului de carbon. Rezistența la oboseală crește de asemenea cu creșterea rezistenței la rupere (figura 3.4).

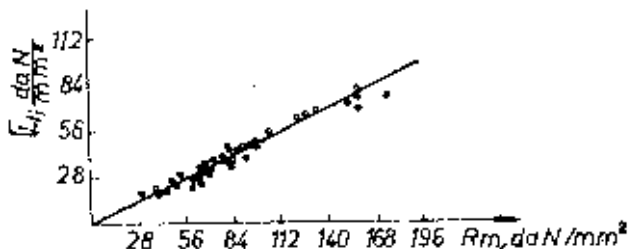


Figura 3.4 Corelația dintre rezistența la oboseală și rezistența la rupere prin tracțiune a oțelurilor-carbon.

Rezistența la oboseală a oțelurilor-carbon obișnuite depinde foarte mult de calitatea suprafeței; ea crește cu duritatea numai pentru epruvete cu suprafețe șlefuite (figura 3.5).

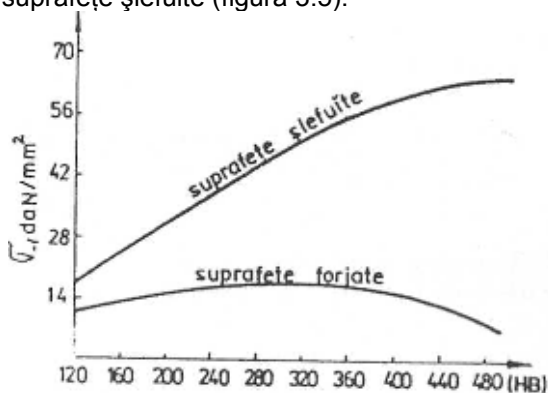


Figura 3.5. Corelația dintre rezistența la oboseală și duritatea oțelurilor obișnuite

Una dintre cele mai frecvente prelucrări ale acestor oțeluri este cea de deformare plastică la rece. Deformabilitatea la rece scade odată cu creșterea grosimii produselor și a conținutului de carbon. Mărcile OL60 și OL70 sunt susceptibile la fisurare prin deformare plastică la rece. Principalele utilizări ale oțelurilor-carbon de uz general pentru construcții sunt date în tabelul 3.16.

Tabelul 3.16. Domenii de utilizare ale oțelurilor-carbon de uz general

Marca	Utilizări specifice
OL 30	Construcții metalice de mică importanță: table comerciale, plăci de fundații, parapete, bride, balustrade, mantale pentru recipiente de presiune joasă, țevi, mufe, flanșe etc. Este un oțel negarantat.
OL 32 OL34	Piese și elemente de structuri la care se cere tenacitate mare: buloane, șuruburi brute, șuruburi de fundație, nituri, lanțuri, tiranți, piese pentru mașini agricole, inele de strângere, piese ambutisate cu formă complexă, suporturi, rame, carcase, capace, cuie, flanșe, șplinturi, cârlige de macara, pile etc. !
OL 37	Elemente și structuri sudate în construcțiile metalice (poduri, viaducte, mantale, carcase, recipiente, stâlpi). În construcția de mașini - piese de mică importanță deformată la rece (șuruburi, piulițe, nituri, cârlige, bride, rondele, șplinturi etc). Batiuri sudate, carcase, piese pentru mașini agricole cementate (melci, pinioane, axe, bolțuri etc). Pentru pile cementate.
OL 42	Construcții metalice (suporturi, flanșe, tiranți, recipiente etc). Organe de mașini solicitate variabil prin șoc (biele, manivele, axe, arbori, toți dințate, cilindrice cu dinți drepți, piese filetate etc). Aceleași utilizări ca și la OL 37, dar și pentru solicitări mai mari.
OL44	Construcții metalice și mecanice puternic solicitate static sau dinamic la temperatură ambiantă sau negativă, cu pericol de rupere fragilă (portale, poduri, grinzi, recipiente sub presiune, batiuri, carcase, arbori, roți etc).
OL 50	Construcții metalice și mecanice solicitate mediu, static sau dinamic (batiuri, tiranți, carcase, cutii, blocuri, capace, mantale pentru recipiente, șuruburi de precizie, piulițe, inele, pârghii, cârlige pentru macarale, menghine de mână, capete de cruce, arbori drepți și cotiți, axe, pistoane, roți dințate, bare de tracțiune etc).
OL 52	Construcții metalice și mecanice sudate cu greutate mică puternic solicitate static sau dinamic, în special la temperaturi negative, cu pericol mare de rupere fragilă (batiuri, carcase, reductoare, grinzi, poduri, suporturi, scule de capacitate mică, flanșe, șuruburi etc).
OL 60	În construcția de mașini pentru solicitări mari, în special la presiune de contact, la piese cu greutate mică (roți dințate, melci, ghidaje, cuie de centrare, șnecuri, șuruburi de presiune, roți de lanț, fusuri de prese etc).
OL 70	În construcția de mașini pentru piese solicitate puternic la uzare, tratate termic și solicitate dinamic (axe, arbori rigizi, roți dințate, cuplaje, pene). Pentru scule dure necălitite (matrite, filiere, domuri de presare, valțuri, mandrine, ciocane, nicovale etc).

3.2.2 Oțeluri nealiate pentru armarea și precomprimarea betonului.

Oțelurile pentru armarea betonului cuprind oțeluri-carbon livrate conform STAS 438/1-89 (tabelele 3.17, 3.19), din clasa de rezistență I cu limita la curgere $R_{p0,2} \geq 240 \text{ N/mm}^2$, în stare laminată la cald sub formă de colaci și bare cu suprafață netedă. Sunt incluse și oțelurile slab aliate (PC52, PC60) din clasa de rezistență III cu limita la curgere $R_{p0,2} \geq 430 \text{ N/mm}^2$, având suprafața cu profil periodic, respectiv tras la rece cu grade de deformare de peste 40% (STNB) din OL37, clasa de rezistență IV cu limita la curgere $R_{p0,2} \geq 510 \text{ N/mm}^2$. Acesta din urmă este destinat

în special plaselor sudate prin rezistență electrică. Produsele din mărcile de oțel OB37și PC60 asigură o aderență la beton în funcție de clasa de rezistență în care sunt încadrate și în corelație cu forma suprafeței produselor. Sunt destinate execuției de armături pentru elemente și structuri portante din beton. Sudabilitatea acestor oțeluri este bună și pentru controlul acestei proprietăți tehnologice în cazul mărcii de rezistență superioară PC60 se garantează valoarea maximă a carbonului echivalent: $C_e = C + Mn/6 \leq 50\%$. Proprietățile mecanice ale acestor oțeluri sunt date în STAS 438/1-89 (tabelul 3.18).

Oțelurile pentru precomprimarea betonului includ mărcile SPB I și SPB II STAS 6482/2-89 (tabelele 3.18., 3.20.), cu limita la curgere mare ($R_{p0.2} = 1300 \dots 1800 \text{ N/mm}^2$), realizate din oțel-carbon prin tragere la rece și detensionare. Caracteristicile mecanice ale sârmelor pentru beton precomprimat se dau în tabelul 3.20. Pentru valorificarea caracteristicilor de rezistență ale acestor produse trebuie să se respecte precauțiile pentru prevenirea fenomenelor de fisurare sub acțiunea umezelii.

Tabelul 3.17. Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru armarea betonului, STAS 438/1-89

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %										Marcare	Obs.			
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V			W	Alte elem.	
1.	OB 37	0,15...0,23	0,4...0,75	0,07	0,045	0,045	—	—	—	—	—	—	—	—	g	—
2.	PC52	0,16...0,22	1,2...1,6	0,55	0,04	0,04	≤0,3	≤0,3	—	—	—	—	—	—	Cu≤0,3	—
3.	PC60	<0,27	≤1,7	≤0,65	0,04	0,04	0,3	0,3	—	—	—	—	—	—	CUS0,3	—
4.	STNB	0,25	0,1	0,4	0,04	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelul 3.18. Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru precomprimarea betonului, STAS 6482/2-80

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %										Marcare	Obs.			
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V			W	Alte el.	
1.	SPB I, SPB II	0,68...0,92	0,37...0,83	0,15...0,37	0,045	0,045	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelul 3.19 Proprietăți mecanice ale oțelurilor pentru armarea betonului, STAS 438/1-89.

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice					Parametrii tratamentului termic							
			R _{no,2} N/mm ² min.	R _m N/mm ² min.	A5 % min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HRC	Recoacere		Normalizare		Călire		Revenire
									T, °C	Mediu	T, °C	Mediu	T, °C	Mediu	
1.	OB 30	L	255	360	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.	PC 52	L	360	510	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.	PC 60	L	430	590	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.	STNB	L	460	510-610	6-8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelul 3.20 Proprietăți mecanice ale oțelurilor pentru precomprimarea betonului, STAS 6482/2-80

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice					Parametrii tratamentului termic						
			R _{no,2} N/mm ² min.	R _m N/mm ² min.	A5 % min.	KCU J/cm ² min.	HRC	Recoacere	Normalizare	Călire	Revenire			
		T	1500	1570-2300	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.	SPB I, SPB II	T	1500	1570-2300	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—

3.2.3 Oțeluri pentru recipiente sub presiune

3.2.3.1 Oțeluri pentru recipiente sub presiune simple

Standardul român SR EN 10207:1995, care este versiunea în limba română a Standardului European EN 10207:1991, definește condițiile tehnice de livrare a produselor plate și a barelor din oțeluri pentru recipiente sub presiune simple. Prin recipient sub presiune simplu se înțelege, în accepțiunea standardului amintit, orice recipient sudat supus unei presiuni interne relative mai mari de 0,5 bar, destinat stocării aerului sau azotului și care nu este destinat să fie supus unui proces de încălzire cu flacăra. Părțile și asamblările care contribuie la rezistența recipientului la presiune sunt fabricate fie din oțel de calitate nealiat, fie din aluminiu nealiat sau din aliaje de aluminiu neîmbătrânite. Temperatura minimă de lucru nu trebuie să fie mai mică de -50°C și temperatura maximă de lucru nu trebuie să fie mai mare de 300°C , pentru recipiente din oțel, sau 100°C pentru recipiente din aluminiu sau aliaje de aluminiu. Recipientele special concepute pentru utilizarea nucleară, a căror depresurizare poate determina o emisie radioactivă și recipientele destinate în mod special propulsiei vapoarelor sau aeronavelor, precum și extincătoarele sunt exceptate din această clasă a recipientelor sub presiune simple.

Compoziția chimică determinată prin analiză pe oțel lichid a mărcilor de oțeluri pentru recipiente sub presiune simple este prezentată în tabelul 3.21, iar în tabelul 3.22 se află abaterile admisibile ale analizei pe produs în raport cu limitele precizate ale analizei pe oțel lichid. Caracteristicile mecanice ale oțelurilor pentru recipiente sub presiune simple sunt precizate în tabelul 3.23.

Tabelul 3.21. Compoziția chimică analizată pe oțel lichid și clasificarea oțelurilor pentru recipiente sub presiune simple conform SREN 10207:1995

Oțel	Clasificare	C % max.	Si % max.	Mn % max.	P % max.	S % max.	Al % max.
SPH 235	UQ	0,16	0,35	0,40... 1,20	0,035	0,030	0,020
SPH 265	UQ	0,20	0,40	0,50... 1,50	0,035	0,030	0,020
SPHL275	US	0,16	0,40	0,50...1,50	0,030	0,025	0,020

1)UQ = oțel de calitate nealiat; US = oțel special nealiat.

2)Dacă sunt prezentate și alte elemente care fixează azotul, conținutul minim de aluminiu total nu se aplică. Dacă asemenea elemente care fixează azotul se adaugă în oțel, conținutul lor trebuie menționat în documentul de inspecție.

Tabelul 3.22. Abateri admisibile ale analizei pe produs în raport cu limitele superioare sau inferioare ale analizei pe lichid prezentate în tabelul 3.21

Element	Valori limită ale analizei pe lichid conform tabelului 3.21 % de masă	Abateri admisibile ¹⁾ ale analizei pe produs în raport cu limitele analizei pe lichid menționate în tabelul 3.21 % de masă
C	5,0-20	+ 0,02
Si	≤0,40	+ 0,05
Mn	≤1,00 >1,00 la ≤1,50	±0,05 ±0,10
P	≤ 0,035	+ 0,005
S	≤ 0,030	+ 0,005
Al	≤ 0,020	- 0,005

1) Dacă, pentru aceeași șajă se efectuează mai multe analize pe produs și dacă, pentru un element dat se obțin valori în afara intervalului admis pentru compoziția chimică pe permise numai acele valori care depășesc valoarea superioară, fie sunt sub valoarea inferioară, dar nu sunt permise depășiri în ambele sensuri

Tabelul 3.23 Proprietăți mecanice ale mărcilor de oțel pentru recipiente sub presiune simple conform SREN 10207:1995

Oțel	Re, min ¹⁾ pentru o grosime nominală, în mm, de		R _m ¹⁾ N/mm ²	KV _{long} ¹⁾		A _{long} min.		
	<16	>16<40		la	min.	>2<2,5	>2,5<3	>3<40
	N/mm ²			°C	J	%		
SPH 235	235	225	215	28	20	21	26	25
SPH 265	265	255	245	28	17	18	22	22
SPHL275	275	265	255	28	19	20	24	24

3.2.3.2 Oțeluri aliate cu nichel pentru recipiente sub presiune la temperatură scăzută

Standardul românesc SR EN 10028-4:1996 „Produse plate de oțeluri pentru recipiente sub presiune. Partea a-4-a: Oțeluri aliate cu nichel cu caracteristici specificate la temperatură scăzută”, care este versiunea românească a Standardului European EN 10028-4:1994, stabilește condițiile tehnice pentru produsele plate, utilizate la execuția recipientelor sub presiune, din oțeluri aliate cu nichel cu caracteristici specificate la temperatură joasă. Compoziția chimică a acestor mărci de oțel analizată pe oțel lichid este prezentată în tabelul 3.24.

După clasificarea oțelurilor făcută în capitolul 2, în conformitate cu Normele Europene 10020, aceste oțeluri sunt oțeluri aliate speciale. Abaterile admisibile ale analizei pe produs în raport cu limitele analizei pe oțel lichid din tabelul 3.24 sunt prezentate în tabelul 3.25. Proprietățile mecanice determinate la temperatura ambiantă precum și starea normală de livrare din punctul de vedere al tratamentului termic aplicat, sunt prezentate în tabelul 3.26. Aceste oțeluri pot suferi tratamente termice de: normalizare (N), călire (Q) în aer (a), ulei (o) sau apă (w), revenire (T). Condițiile tehnologice care cuprind temperaturile de tratament termic și mediile de tratament sunt prezentate în tabelul 3.27.

3.2.3.3 Oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune la temperatură ambiantă și la temperaturi scăzute

După standardele de stat (STAS) oțelurile pentru recipiente sub presiune la temperatură ambiantă și la temperaturi scăzute sunt oțeluri-carbon și aliate cu nichel sau siliciu-mangan cu granulație fină, livrate sub formă de produse plate normalizate și revenite sau îmbunătățite: R37; R44; R52; 9SiMn16; RV510; 16SiMn10; 10Ni3S -STAS 2883/2-80 și STAS 11502-89 pentru produse plate (tabelele 3.28 și 3.29).

Tabelul 3.24 Compoziția chimică (analizată pe oțel lichid) a mărcilor de oțeluri aliate cu nichel pentru recipiente sub presiune, cu caracteristici specificate la temperatura scăzută, SR EN 10028-4:1996

Marcă de oțel		%									
Simbolizare alfanumerică	Simbolizare numerică	C max.	S max.	Mn	P max.	S max.	Al min.	Mo max.	Nb max.	Ni max	V max.
11MnNi5-3	1,6212	0,14	0,50	0,70-1,50	0,025	0,015	0,020	-	0,05	0,302-0,80	0,05
13MnNi6-3	1,6217	0,16	0,50	0,85-1,70	0,025	0,015	0,020	-	0,05	0,30-0,85	0,05
15NiMn6	1,6228	0,18	0,35	0,80-1,50	0,025	0,015	-	-	-	1,30-1,70	0,05
12NM4	1,5637	0,15	0,35	0,30-0,80	0,020	0,010	-	-	-	3,25-3,75	0,05
12NM9	1,5680	0,15	0,35	0,30-0,80	0,020	0,010	-	-	-	4,75-5,25	0,05
X8Ni9	1,5662	0,10	0,35	0,30-0,80	0,020	0,010	-	0,10	-	8,50-10,0	0,05
X7Ni9	1,5663	0,10	0,35	0,30-0,80	0,015	0,015	-	0,10	-	8,50-10,0	0,05

1) Conținutul de Cr + Cu + Mo nu trebuie să depășească 0,50%.
2) Pentru grosimi 5-25 mm, conținutul minim de Ni se poate reduce la 0,15%.

Tabelul 3.25 Abateri admise la analiza pe produs față de valorile limită ale analizei pe oțel lichid, pentru oțelurile aliate cu nichel pentru recipiente sub presiune la temperatură scăzută, SR EN 110028-4:1996

Element	Valori limită ale analizei pe oțel lichid (a se vedea tabelul 1)	Abateri admise" la analiza pe produs față de valorile limită ale analizei pe oțel lichid
C	≥ 0,18	+ 0,02
Si	≥ 0,50	+0,05
Mn	≥ 1,00 > 1,00 la ≥ 1,70	±0,05 ±0,10
P	≥ 0,025	+ 0,005
S	≥ 0,018	+ 0,005
Al	≥ 0,020	-0,05
Mo	5 0,10	+ 0,03
Nb	5 0,05	+ 0,01
Ni	≥ 0,85 > 0,85... ≥ 3,75 >3,75...< 10,0	±0,06 ±0,07 ±0,10
V	≥ 0,08	+ 0,01

1) Dacă, pentru aceeași șarjă, se efectuează mai multe analize pe produs și dacă pentru un anumit element se obțin valori în afara intervalului admis determinat de analiza chimică pe oțel lichid, sunt permise numai abaterile fie față de limita inferioară, fie față de limita superioară, dar niciodată în ambele sensuri în același timp.

Tabelul 3.27 Condiții tehnologice de tratament termic pentru oțelurile aliate cu nichel pentru recipiente sub presiune cu caracteristici specificate la temperaturi scăzute, SR EN 10028-4:1994

Marca de oțel	Simbolizare alfanumerică	Simbolizare numerică	Tratament termic		Tratament termic		Răcire °C	
			Simbol ¹⁾	Temperatură °C	Austenitizare °C	Răcire °C		Revenire °C
11MnNi5-3	1,6212		N (+T)	880...940	a	a	580...640	a
13MnNi6-3	1,6217		N (+T)	880...940	a	a	580...640	a
15NiMn8	1,6228		N	850...900	a	a	—	—
			N + T	850...900	a	a	600...680	a sau w
12Ni14	1,5637		Q + T	850...900	w sau o	a	600...680	a sau w
			N	830...880	a	a	—	—
12Ni19	1,5680		N + T	830...880	a	a	580...640	a sau w
			Q + T	830...870	w sau o	a	580...640	a sau w
X8Ni9	1,5662		N	800...850	a	a	—	—
			N + T	800...850	a	a	580...660	a sau w
X7Ni9	1,5883		Q + T	800...850	w sau o	a	580...600	a sau w
			N + N + T	880...930	a	a	540...600	a sau w
			O + T	+770...830	w sau o	a	540...600	a sau w

N = Normalizare; Q = călire într-un mediu lichid; T = revenire; a = aer; o = ulei; w = apă.

Tabelul 3.28 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune pentru temperatura ambiantă și scăzută STAS 2883/2-80

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %										Marcare	Obs.				
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V			W	Alte elem.		
1.	R 37	0,17	0,3-0,8	0,17-0,4	0,04	0,04	—	0,7	—	—	—	—	—	—	—	Al=0,02	CS-r-CS
2.	R 44	0,2	0,8-1,1	0,17-0,45	0,04	0,04	—	0,7	—	—	—	—	—	—	—	Al=0,02	CS-c-CS
3.	R 52	0,18	1,1-1,6	0,17-0,45	0,035	0,035	—	0,7	—	0,15	—	—	—	—	—	Al=0,02	CS-g-CS

Tabelul 3.29 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune pentru temperatura ambiantă și scăzută STAS 2883/2-80

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %										Marcare	Obs.				
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V			W	Alte elem.		
1.	9SiMn16	0,12	1,3-1,7	0,5-0,8	0,04	0,035	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	Al=0,02	
2.	RV510	0,18	1,1-1,6	0,17-0,45	0,02	0,015	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	Al=0,02	
3.	16SiMn10	0,18	0,9-1,2	0,4-0,5	0,04	0,035	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	Al=0,02	
4.	10Ni35	0,1	0,3-0,6	0,1-0,35	0,025	0,025	3,2-3,8	—	—	—	—	—	—	—	—	Al=0,02	

Tabelul 3.27 Condiții tehnologice de tratament termic pentru oțelurile aliate cu nichel pentru recipiente sub presiune cu caracteristici specificate la temperaturi scăzute, SR EN 10028-4:1994

Simbolizare alfanumerică	Marcă de oțel		Tratament termic Simbol ¹⁾	Tratament termic		Răcire °C	Revenire °C	Răcire °C
	Simbolizare numerică	Simbolizare		Austenilizare °C	Revenire °C			
11MnNiS-3	1,6212	N (+T)	N (+T)	880...940	a	580...640	580...640	a
13MnNiS-3	1,6217	N (+T)	N (+T)	880...940	a	580...640	580...640	a
15NiMn8	1,6228	N	N	850...900	a	—	—	—
		N + T	N + T	850...900	a	600...680	600...680	a sau w
		Q + T	Q + T	850...900	w sau o	600...680	600...680	a sau w
12Ni14	1,5637	N	N	830...880	a	—	—	—
		N + T	N + T	830...880	a	580...640	580...640	a sau w
		Q + T	Q + T	830...870	w sau o	580...640	580...640	a sau w
12Ni19	1,5880	N	N	800...850	a	—	—	—
		N + T	N + T	800...850	a	580...660	580...600	a sau w
		Q + T	Q + T	800...850	w sau o	580...600	580...600	a sau w
X8Ni9	1,5662	N + N + T	N + N + T	860...930	a	540...600	540...600	a sau w
		N	N	860...930	a	—	—	—
		Q + T	Q + T	+770...830	w sau o	540...600	540...600	a sau w

N = Normalizare; Q = călire într-un mediu lichid; T = revenire; a = aer; o = ulei; w = apă.

Tabelul 3.28 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune pentru temperatura ambiantă și scăzută STAS 2883/2-80

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %											Marcare	Obs.	
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V	W			Alte elem.
1.	R 37	0,17	0,3-0,8	0,17-0,4	0,04	0,04	—	0,7	—	—	—	—	Al=0,02	CS-r-CS	
2.	R 44	0,2	0,8-1,1	0,17-0,45	0,04	0,04	—	0,7	—	—	—	—	Al=0,02	CS-C-CS	
3.	R 52	0,18	1,1-1,6	0,17-0,45	0,035	0,035	—	0,7	—	0,15	—	—	Al=0,02	CS-g-CS	

Tabelul 3.29 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune pentru temperatura ambiantă și scăzută STAS 2883/2-80

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %											Marcare	Obs	
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V	W			Alte elem.
1.	9SiMn16	0,12	1,3-1,7	0,5-0,8	0,04	0,035	0,3	—	—	—	—	—	Al=0,02		
2.	RV510	0,18	1,1-1,6	0,17-0,45	0,02	0,015	0,3	—	—	—	0,05	—	Al=0,02		
3.	16SiMn10	0,18	0,9-1,2	0,4-0,5	0,04	0,035	0,3	—	—	—	0,12	—	Al=0,02		
4.	10Ni35	0,1	0,3-0,6	0,1-0,35	0,025	0,025	3,2-3,8	—	—	—	0,16	—	Al=0,02		

În domeniul temperaturilor foarte scăzute (criogenice), se utilizează oțeluri cu 5...9% Ni sau oțeluri austenitice inoxidabile crom-nichel.

Principalele caracteristici de utilizare ale acestor oțeluri sunt de asemenea rezistența mecanică și în special tenacitatea la temperaturi scăzute. Variația rezistenței la rupere, a limite de curgere și a energiei de rupere cu temperatura de utilizare a oțelului R52 este dată în figura 3.6.

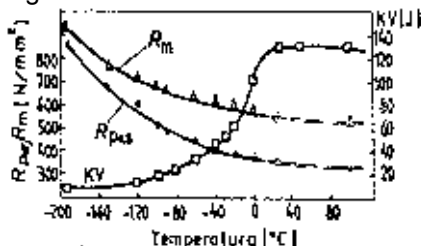


Fig. 3.6 Variația caracteristicilor mecanice cu temperatura de încercare a oțelului R52

Reziliența acestor oțeluri în domeniul de temperaturi +20...100°C este de 27...60 J/cm².

De importanță deosebită pentru aceste oțeluri este temperatura de tranziție ductil fragil T_{KV27} corespunzătoare energiei de rupere de 27J. Pentru a se determina care este temperatura de tranziție energiei de rupere (de exemplu, corespunzătoare unei anumite KV = 40J) se folosește relația:

$$T_{KV40} = T_{KV27} + 0,67 \cdot (40 - 27) \text{°C}. \quad (3.1)$$

Temperatura de tranziție T_{KV27} pentru criteriul KV = 27J se determină prin încercări de încovoiere prin șoc a unor epruvete încărcate cu sudură (STAS 9261-73). Legătura dintre temperatura de ductilitate nulă T_{NDT} determinată prin încercarea de încovoiere a epruvetelor încărcate cu sudură și temperatura de tranziție T_{KV27} pentru produse cu grosimi de 16...60 mm și $R_m = 370...600 \text{ N/mm}^2$ se face prin una din relațiile:

$$T_{NDT} = -16 + 0,51 \cdot T_{KV27}, \text{°C} \quad (3.2)$$

$$T_{NDT} = -13 + 0,67 \cdot T_{KV27}, \text{°C} \quad (3.3)$$

Deformarea plastică la rece crește temperatura de tranziție ductil-fragil. Se apreciază că un grad de deformare de 1% crește temperatura de tranziție T_{KV27} cu 5°C. Deplasarea curbelor de tranziție și micșorarea tenacității cu creșterea gradului de deformare pe măsura scăderii temperaturii de încercare sunt date în figura 3.7.

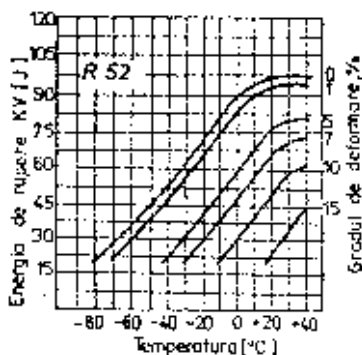


Fig. 3.7 Influența gradului de deformare asupra tenacității oțelurilor cu granulație fină

Deformarea plastică la rece modifică limitele la curgere ale acestor oțeluri. Astfel, o deformare plastică cu un grad de deformare de 2% crește limita de curgere cu 1...3% pe direcția deformării și o scade cu circa 20% pe direcția perpendiculară pe aceasta. Aceste modificări sunt explicate prin efectul Bauschinger cauzat de tensiunile reziduale apărute prin deformare. Detensionarea la 200 °C, după deformarea la rece, anulează acest efect, însă nu anulează micșorarea tenacității dată de deformarea plastică.

Sudabilitatea acestor oțeluri este bună; în schimb se iau măsuri de precauție la controlul regimului de sudare și de detensionare. Structurile feritobainitice din zonele influențate termic afectează sensibil tenacitatea după detensionare. Oțelul 10Ni35 prezintă fragilitate de revenire în cazul unor mențineri îndelungate sau răcirii lente în domeniul 540...370 °C.

3.2.3.4 Oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune la temperatură ambientă și la temperaturi înalte

La nivel național există standardul STAS 2883/3-91, Oțel laminat la cald. „Oțeluri destinate tablelor de cazane și recipiente sub presiune pentru temperatură ambientă și ridicată. Mărci și condiții de calitate”, care se referă la mărcile de oțeluri slab aliate și destinate tablelor laminate la cald pentru cazane și recipiente sub presiune, care lucrează la temperatură ambientă sau la temperatură ridicată și/sau în mediu de hidrogen.

De asemenea există standardul SR EN 10028-2:1996, „Produse plate de oțeluri pentru recipiente sub presiune”. Partea 2: Oțeluri

nealiat și aliat cu caracteristici specifice la temperaturi ridicate, care reprezintă traducerea versiunii franceze a Standardului European EN 10028-2:1992.

Tabelul 3.30 Proprietăți mecanice ale mărcilor de oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune pentru temperaturi ambiante și scăzute, STAS 2883/3-88

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice						Parametrii tratamentului termic							
			R _{0.2} N/mm ² , min.	R _m N/mm ² , min.	A5 % min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HRC	Recoacere		Normalizare		Călire		Revenire	
									T _i , °C	Mediu	T, °C	Mediu	T, °C	Mediu	T, °C	Mediu
1.	R 37	N	235	360-440	24	—	—	—	—	—	820-920	a	—	—	—	—
2.	R 44	N	285	430-540	23	—	—	—	—	—	890-920	a	—	—	—	—
3.	R 52	N	350	510-610	20	—	—	—	—	—	890-920	a	—	—	—	—

Tabelul 3.31 Proprietăți mecanice ale mărcilor de oțeluri pentru table groase pentru sub presiune, STAS 11502-89

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice						Parametrii tratamentului termic							
			R _{0.2} N/mm ² , min.	R _m N/mm ² , min.	Al % min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HRC	Recoacere		Normalizare		Călire		Revenire	
									T, °C	Me- diu	T, °C	Me- diu	T, °C	Me- diu	T, °C	Me- diu
1.	9SiMn16	N	325	> 440	19	59	—	—	—	—	860-920	a	—	—	—	—
2.	RV510	N	350	510-610	20	63	—	—	—	—	890-920	a	—	—	—	—
3.	16SiMn10	N	310	450	19	59	—	—	—	—	860-920	a	—	—	—	—
4.	10Ni35	N	345	440-610	20	80	—	—	—	—	830-870	a	820-870	apa	730-780	a

Comparând cele două standarde, STAS2883/3-91 și SR EN 10028-2:1996, se poate face o echivalență între mărcile de oțeluri așa cum se prezintă în tabelul 3.32.

Tabelul 3.32 Echivalența între mărcile de oțeluri din standardele SR EN 10028-2:1996 și STAS 2883/3-88

Mărci din oțel din SR EN 10028-2:1996	Mărci din oțel din STAS 2883/3-88
P235GH	—
P265GH	K410
P295GH	K460
P355GH	K510
16 Mo 3	16 Mo 3
—	16 Mo 5
13CrMo 9-10	14MoCr10
10 CrMo 9-10	12MoCr 22
11 CrMo 9-10	—
—	12 MoCr22
—	12VmoCM0

Analizând cele două standarde se constată că o singură marcă de oțel din STAS 2883/3-88 nu are echivalent în standardul SR EN 10028-2 și anume marca de oțel 12VMoCr10. Marca de oțel 12 MoCr50 (STAS 288/3-88) corespunde din punctul de vedere al caracteristicilor mecanice mărcii 11 CrMo 9-10 din SR EN 10028-2:1996. În tabelul 3.33 este prezentată compoziția chimică pe oțel lichid a mărcilor de oțeluri amintite după SR EN 10028-2, iar în tabelul 3.34 abaterile admisibile la analiza pe produs față de valorile limită ale analizei pe oțel lichid. Proprietățile mecanice ale mărcilor de oțeluri nealiate și aliate pentru recipiente sub presiune la temperatură înaltă, valabile pentru epruvete transversale este prezentată în tabelul 3.35. Pentru o informare și o analiză mai completă este necesar să fie prezentate în detaliu, conform STAS 2883/388 și compoziția chimică (tabelul 3.32) și proprietățile mecanice ale mărcilor de oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune pentru temperatură ambiantă și ridicată.

Tabelul 3.33 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri nealiat și aliate pentru recipiente sub presiune la temperatură înaltă, SR EN 10028-2:1996

Simbolizar e alfanume- rică	Simbolizare numerică	Clasifi- -care	Conținut, în %												
			C	Si max	Mn	P max	S max	Al/M	Cr	Cu ³⁾ max	Mo	Nb max	Ni max	Ti max	V max
P235GH	1.0345	UQ	max. 0,16	0,35	0,40 1,20	0,03	0,025	min. 0,02	max. 0,30	max. 0,08	0,01	0,30	0,03	0,02	0,70
P265GH	0.425	UQ	max. 0,20	0,40	0,50 1,40	0,03	0,025	min. 0,02	max. 0,30	max. 0,08	0,01	0,30	0,03	0,02	0,70
P295GH	1.0481	UQ	0,08 0,20	0,40	0,90 1,50	0,03	0,025	min. 0,02	max. 0,30	max. 0,08	0,01	0,30	0,03	0,02	0,70
P355GH	1.5415	UQ	0,10 0,22	0,60	1,00 1,70	0,03	0,025	min. 0,02	max. 0,30	max. 0,08	0,01	0,30	0,03	0,02	0,70
16 Mo 3	1.5415	LE	0,12 0,20	0,35	0,40 0,90	0,03	0,025	4)	max. 0,30	0,25 0,35	—	0,30	—	—	—
13 CrMo 4- 5	1.7335	LE	0,06 0,18	0,35	0,40 1,00	0,03	0,025	4)	0,70 1,15	0,30 0,60	—	—	—	—	—
10 CrMo 9- 10	1.7380	LE	0,08" 0,147	0,50	0,40 0,80	0,03	0,025	4)	2,00 2,50	0,90 1,10	—	—	—	—	—
11 CrMo 9- 10	1.7383	LE	0,08" 0,15	0,50	0,40 0,80	0,03	0,025	4)	2,00 2,50	0,90 1,10	—	—	—	—	—

1) UQ = oțel nealiat de calitate;

LE = oțel aliat special

2) Elementele nenuminate în acest tabel nu trebuie adăugate în mod intenționat în oțel fără acordul utilizatorului, cu excepția celor destinate oțelului lichid. Se iau toate precauțiile necesare în scopul prevenirii adaosului acelor elemente care pot afecta caracteristicile mecanice și prelucra/bilitatea prin materiale prime utilizate în cursul elaborării oțelului (fierului vechi).

3) Pentru ameliorarea deformabilității, se pot stabili la momentul lansării comenzii un conținut mai scăzut de cupru și o valoare maximă pentru conținutul de staniu

4) Conținutul de Al se determină pe sarij și trebuie să figureze în documentul de încercare.

Tabelul 3.34 Abateri admise la analiza pe produs față de valorile limită ale analizei pe oțel lichid (tabelul 3.33)

Element	Valori limită ale analizei pe oțel lichid	Abateri admise la analiza pe produs față de valorile limită ale analizei pe oțel lichid (a se vedea tabelul 3.33)
C	$\leq 0,22$	$\pm 0,02$
Si	$\leq 0,35 > 0,35$ la $< 0,60$	$+ 0,05 + 0,06$
Mn	$< 1,00 > 1,00$ la $\leq 1,70$	$\pm 0,05 \pm 0,10$
P	$< 0,030$	$+ 0,005$
S	$< 0,025$	$+ 0,005$
Al	$> 0,020$	$- 0,005$
Cr	$\leq 1,00 > 1,00$ la $< 2,50$	$\pm 0,05 \pm 0,10$
Mo	$\leq 0,35 > 0,35$ la $\leq 1,10$	$\pm 0,03 \pm 0,04$
Cu	$\leq 0,30$	$+ 0,05$
Nb	$\leq 0,10$	$+ 0,005$
Ni	$\leq 0,30$	$+ 0,05$
Ti	$\leq 0,03$	$+ 0,01$
V	$\leq 0,02$	$+ 0,01$
<p>1) Dacă, pentru aceeași șarjă, se efectuează mai multe analize pe produs și dacă pentru un anumit element, se obțin valori în afara intervalului admis determinat de analiza chimică pe oțel lichid, sunt permise numai abaterile fie față de limita superioară, fie față de limita inferioară, dar niciodată în ambele sensuri în același timp.</p>		

Tabelul 3.35 Proprietățile mecanice ale mărcilor de oțeluri nealiat și aliate pentru recipiente sub presiune la temperatură înaltă (valabile pentru epruvete transversale), SR EN 10028-2:1996

Simbolizare alfanumerică	Simbolizare numerică	Stare normală de livrare	Grosime produs		Limită de curgere R_{eH} N/mm ² min.	Rezistență la rupere R_m N/mm ²	Alungire la rupere ($L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$) A, %, min	Energie de rupere la șoc (epruvete cu creștătură în V)	
			de la	până la				Temperatură de încercare °C	Media pe 3 epruvete, J. min
P235GH	1,0345	N3)	16	16	235	360...480	25 ⁶⁾	0	
			40	40	225				
			60	60	215				
			100	100	200				
			150	150	185				
			150	3)				3)	
P265GH	1,0425	N3)	16	16	265	410...530	23 ⁶⁾	0	
			40	40	255				
			60	60	245				
			100	100	215				
			150	150	200				
			150	3)				3)	
P295GH	1,0481	N3)	16	16	295	460...580	22	0	
			40	40	290				
			60	60	285				
			100	100	260				
			150	150	235				
			150	3)				3)	
P355GH	1,0473	N3)	16	16	355	510...650	21	0	
			40	40	345				
			60	60	335				
			100	100	315				
			150	150	295				
			150	3)				3)	

Tabelul 3.35 Proprietățile mecanice ale mărcilor de oțeluri nealiat și aliate pentru recipiente sub presiune la temperatură înaltă (variabile pentru epruvete transversale), SR EN 10028-2:1996
(continuare tabelul 3.35)

16 Mo 3	1,5415	N ³⁾	16	16	275	440...590	24	+ 20	31 ⁷⁾	
			40	40	270		23			
			60	60	260					
			100	100	240					
			150	150	220					19
150	150	3)	3)							
13 CrMo 4-5	1,7335	N+T		16	16	235	450...600	20	+ 20	31 ⁸⁾
			60	60	225	19				
			100	100	275					
			150	150	185			3)		
			150	150	3)					
10 CrMo 9-10	1,7380	N+T sau QA sau QL	16	16	310	480...630	18	+ 20	31	
			40	40	300		17			
			60	60	290					
			100	100	270					3)
			150	150	250					
11 CrMo 9-10	1,7383	N+T sau QA sau QL	60	60	310	520...570	18	+ 20	31 ⁶⁾ 27 ⁷⁾	
			100	100	250		17			
			150	150	3)					
			150	150	3)					3)
			160	100	3)					

3) Conform unui acord.

4) Dacă pentru produse cu grosimi cuprinse între 2 mm și 3 mm, alungirea la rupere se determină pe epruvete cu lungimea între repere L₀=80 mm și lățimea de 20 mm, valoarea minimă trebuie să fie de 19% pentru produse cu grosimi > 2 și < 2,5 mm și de 20% pt produse cu grosimi > 2,5 și < 3 mm.

5) Dacă pentru produse cu grosimi cuprinse între 2 mm și 3 mm, alungirea la rupere se determină pe epruvete cu lungimea între repere U=80 mm și lățimea de 20 mm, valoarea minimă trebuie să fie de 17% pentru produse cu grosimi > 2 și ≤ 2,5 mm și de 18% pt produse cu grosimi > 2,5 și < 3 mm.

6) La alegerea producătorului, acest oțel se poate livra și în starea N+T.

7) Dacă prin acord încercarea se execută la 0 °C, valoarea minimă este de 24 J.

8) Dacă prin acord încercarea se execută la 0 °C, valoarea minimă este de 27 J.

Tabelul 3.36 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune pentru temperatura ambiantă și ridicată STAS 2883/3-88

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %													Marcar e	Obs		
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V	W	Alte elem.					
1.	K 410	0,2	0,5	0,35	0,045	0,045	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	p-n-p	
2.	K 460	0,2	0,8	0,2-0,4	0,045	0,045	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	p-v-p	
3.	K 510	0,22	0,9-1,6	0,4-0,6	0,04	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	p-vi-p	
4.	16 Mo3	0,12-0,2	0,5-0,8	0,15-0,35	0,04	0,04	—	—	—	—	—	0,25-0,4	—	—	—	—	a-f-a	
5.	14 MoCr10	0,1-0,18	0,4-0,7	0,15-0,35	0,03	0,035	0,7-1,1	—	—	—	—	0,4-0,6	—	—	—	—	a-vi-a	
6.	16 Mo5	0,12-0,2	0,5-0,8	0,15-0,3	0,035	0,035	—	—	—	—	—	0,45-0,65	—	—	Al=0,01-0,03	—	a-n-a	
7.	12MoCr22	0,08-0,15	0,4-0,7	0,15-0,5	0,03	0,035	2,0-2,5	—	—	—	—	0,9-1,1	—	—	Al=0,015-0,035	—	a-v-a	
8.	12MoCr50	0,08-0,15	0,3-0,6	0,15-0,5	0,03	0,035	4,0-6,0	—	—	—	—	0,45-0,65	—	—	Al=0,015-0,035	—	a-af-a	
9.	12VmoCr10	0,08-0,15	0,4-0,7	0,17-0,37	0,025	0,03	0,9-1,2	—	—	—	—	0,25-0,35	—	—	Al=0,015-0,035	0,15-0,3	a-c-a	

Tabelul 3.37 Proprietățile mecanice ale mărcilor de oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune pentru temperatură ambiante și ridicată, STAS 2883/3-88

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice						Parametrii tratamentului termic							
			Pn0,2 N/mm ² , min.	Rm N/mm ² , min.	A5 %, min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HR C	T, °C	Recoacere T, °C	Mediu	Normalizare T, °C	Călire T, °C	Mediu	Revenire T, °C	Mediu
1.	K410	N	255	403-490	22	69	—	—	—	—	890-920	a	—	—	—	—
2.	K460	N	285	460-550	20	59	—	—	—	—	880-920	a	—	—	—	—
3.	K510	N	325	510-610	19	59	—	—	—	—	880-920	a	—	—	—	—
4.	16Mo3	N	270	423-550	19	60	—	—	—	—	910-940	a	—	—	—	—
5.	14MoCr10	N	290	430-550	18	60	—	—	—	680-720	a	a	—	—	600-650	a
6.	16Mo5	N	320	430-550	18	60	—	—	—	—	910-940	a	—	—	—	—
7.	12MoCr12	N	280	450-600	20	60	—	—	—	730-780	c	a	960-980	960-980	680-780	a
8.	12MoCr150	R I	175 275	420-550-520-640	21 20	60	—	—	—	880-920	c	—	—	990-1030	660-700	a
9.	12VmoCr10	N	255	470-640	21	98	—	—	—	680-720	aer	a	960-980	—	650-700	a

Se poate constata că aceste oțeluri, indiferent de varianta de standardizare sunt oțeluri carbon sau aliate cu mangan; crom-molibden; siliciu-mangan sau vanadiu-molibden-crom realizate sub formă de produse plate și utilizate în domeniul de temperaturi de $-20...+640$ °C, conform exigențelor tehnice impuse și supravegheate de ISCIR: K410; K460; K510; 16Mo3; 14MoCr10; 16Mo5; 12MoCr22; 12MoCr50 și 12CmoCr10, STAS 2883/3-88 pentru produse plate.

Principalele caracteristici de utilizare sunt rezistența mecanică și tenacitatea. De mare importanță pentru aceste oțeluri este influența pe care o au asupra caracteristicilor de utilizare principale, acțiunea mediilor agresive, tensiunile mecanice, temperatura și timpul.

Rezistența mecanică depinde în principal de gradul de aliere cu crom și molibden și de tratamentul termic aplicat. Creșterea rezistenței mecanice este posibilă prin alierea feritei, prin prezența carburilor fine disperse, în special Mo_2C precipitate la $450...600$ °C și prin micșorarea cantității de ferită din structură; rezistența la rupere a acestor oțeluri este cuprinsă între 400 și 640 N/mm^2 .

Valorile minime ale alungirilor la rupere sunt, în general, mai mari cu o unitate pentru mărcile din SR EN 10028-2:1996, comparativ cu mărcile din STAS 2883/3-88.

Limita de curgere de $175...590$ N/mm^2 la temperatura ambiantă scade la $100...200$ N/mm^2 cu creșterea temperaturii de încercare până la $450...500$ °C. Această caracteristică devine importantă la folosirea oțelurilor la temperaturi moderate sau pe durate scurte, când nu intervine fluajul. La temperaturi sau durate de exploatare mai mari, când intervine fluajul, păstrarea rezistenței și limitei de curgere la valori de utilizare depinde de stabilitatea structurală a oțelurilor dată în special de rezistența opusă la coalescența carburilor de molibden, crom-molibden sau crom-molibden-vanadiu-wolfram.

Tenacitatea acestor oțeluri are valori mari pentru a se evita ruperea fragilă în timpul exploatării de durată și la temperaturi înalte ($370...600$ C). Fragilizarea la cald a oțelurilor aliate cu molibden sau crom-molibden este cauzată de durificarea matricei metalice, prin precipitare cu carburi de tipul M_2C și se manifestă în special în zona influențată termic a cordoanelor sudate sau la limita foștilor grăunți de austenită, unde precipită compuși bogați în crom și molibden sau segregă impurități. Fragilizarea se poate produce la temperaturi inferioare celor de apariție a fluajului, când se numește fragilizare de revenire și determină micșorarea rezilienței cu până la 25% și la

temperaturi de apariție a fluajului (fragilizarea la fluaj), când produce atât micșorarea rezilienței, cât și a alungirii la rupere la fluaj.

Fragilizarea prin hidrogen și fisurarea indusă prin hidrogen apar la temperaturi de $-20...+80^{\circ}\text{C}$, fiind cauzate de absorbția și difuzia interstițială a hidrogenului, care întâlnind efecte preexistente, mărește tensiunile de la vârfulurile acestora și micșorează forțele de coeziune de la extremitățile defectelor, provocând ruperea sau fisurarea.

Tensiunile mecanice produse de solicitările exterioare influențează doar fisurarea indusă prin hidrogenare. Prezența hidrogenului în aceste oțeluri la temperaturi de peste 220°C provoacă decarburarea superficială sau în masă prin descompunerea unor carburi.

Oțelurile aliate au rezistența la oxidare la cald până la $600...610^{\circ}\text{C}$, superioară celor aliate, care rezistă doar până la 410°C . Oxidarea intensă la oțelurile aliate cu crom, crom-molibden intervine la 620°C , iar la cele nealiate la 540°C .

De asemenea, rezistența la coroziune generală, în puncte sau în cavernă, datorată compușilor sulfurași din mediul chimic de lucru, este mai mare la oțelurile aliate. Toate oțelurile feritice din această categorie sunt susceptibile la coroziune sau tensiune, în medii umede care conțin compuși de sulf, clor sau azot. Structura de echilibru obținută prin recoacere este cea mai favorabilă sub aspectul rezistenței la coroziune fisurantă sau sub tensiune.

Sudabilitatea acestor oțeluri depinde de gradul lor de aliere. În cazul oțelurilor aliate, se iau măsuri suplimentare privind controlul regimului termic la sudare și la tratamentul ulterior de detensionare. Detensionarea termică după sudare poate activa procesele de fragilizare sau de fisurare în zonele de influență termică ale coordonatelor de sudură.

Parametrii regimului de detensionare (temperatura - T și timpul - t) legați prin parametrul Hollomon-Joffe, $H = T \cdot (20 + \lg t) \cdot 10^3$, trebuie recorelați pentru a nu produce scăderea caracteristicilor mecanice de rezistență și tenacitate ($H \leq 17,3$), în special pentru oțelurile carbon. Zonele influențate termic sunt foarte susceptibile la fisurarea indusă prin hidrogenare în special când duritatea acestora depășește $20...30$ HRC.

Condițiile generale prezentate, cu privire la proprietățile mecanice, tehnologice și domeniile de utilizare a oțelurilor pentru recipiente sub presiune destinate exploatării la temperaturi ambiante și ridicate sunt desigur valabile pentru mărcile de oțeluri existente în ambele variante de standardizare. Având în vedere condițiile de inspecție diferite din cele două standarde și faptul că produsele din

mărcile de oțeluri din STAS 2883/3-88 se utilizează pe scară largă, s-a hotărât ca până la revizuirea standardului SR EN 10028:1996 să se mențină în vigoare și STAS 28833-88, dar se recomandă utilizarea cu precădere a standardului SR EN 10028-2:1996.

3.2.4 Oțeluri pentru țevi cu și fără sudură

În standardul român SR EN 10079 sunt prezentate următoarele definiții pentru produsele tubulare:

Țevile sunt produse lungi cave, deschise la ambele capete, de secțiune rotundă sau poligonală și pot suferi prelucrări de acoperire interioară sau exterioară, prelucrări mecanice la capete sau pot prezenta nervuri continue sau discontinue.

După modul tehnologia de fabricație, produsele tubulare se clasifică în următoarele grupe: țevi fără sudură, țevi sudate, profile cave și bare cave.

Țevile fără sudură sunt fabricate prin procedeul de perforare dintr-un produs plin, lingou, țagă sau bară, urmat de prelucrare prin laminare, extrudare sau tragere pe dorn. Țevile fără sudură pot fi obținute și prin procedeul de turnare centrifugală.

Țevile sudate sunt fabricate prin formarea în profil circular a unui produs lat laminat la cald sau la rece, ale cărui margini sunt ulterior sudate longitudinal sau elicoidal.

Profilele cave sunt țevi fără sudură cu secțiune transversală rotundă, pătrată sau dreptunghiulară utilizate ca elemente ale unei construcții cum ar fi structura metalică a unui imobil, macarale, șasiuri etc.

Barele cave sunt țevi fără sudură cu secțiune transversală rotundă și destinate fabricării pieselor mecanice prin diferite prelucrări mecanice. Barele cave se disting de țevile fără sudură destinate transportului fluidelor sau de profilele cave, prin caracteristicile metalurgice și dimensionale care permit aplicarea prelucrărilor mecanice și tratamentele termice necesare obținerii unor piese cu suprafețe și caracteristici corespunzătoare.

Ca urmare a utilizării țevilor în diferite scopuri au apărut o diversitate mare de produse și termene pentru nominalizarea produselor. Astfel încât domeniul de utilizare este un criteriu important de clasificare a țevilor de oțel. În funcție de utilizare țevile pot fi clasificate după cum urmează:

- țevi de conducte;

- țevi pentru cuptoare de calcinare;
- țevi pentru refrigerare și pentru amoniac;
- țevi pentru cilindri și role;
- țevi de construcții;
- țevi de foraj;
- țevi mecanice etc.

Comitetul European de Standardizare (CEN) elaborează standardele de țevi în cadrul unui organism asociat la CEN și anume Comitetul European de Standardizare pentru Fontă și Oțel (ECISS)/ TC 29 Țevi de oțel și fittinguri pentru țevi de oțel. Prin acordul de cooperare între ISO și CEN, în programul CEN au fost înregistrate proiecte de standarde prin care standarde internaționale urmează să fie adoptate ca standarde europene.

Standardele naționale în domeniul țevilor de oțel au suferit schimbări și orientări noi în scopul promovării unor produse de nivel competitiv, care să satisfacă cerințele pieței interne și internaționale. Numărul standardelor adoptate este în continuă creștere. Corelarea toleranțelor cu cele prezentate în sistemul de toleranțe ISO, reprezintă una din modificările efectuate la revizuirea standardelor române de țevi.

SR 6898-1:1995 Țevi de oțel sudate elicoidal Partea I: Țevi de uz general;

SR 6898-2:1995 Țevi de oțel sudate elicoidal Partea I: Țevi de conducte;

SR 12616:1995 Țevi de oțel fără sudură pentru rulmenți;

SR 404-1 Țevi fără sudură, laminate la cald.

Necesitatea execuției țevilor de oțel inoxidabil longitudinal pentru utilizări generale a impus elaborarea standardului român SR 13259.

Pentru utilizarea țevilor la presiuni ridicate a fost prelucrat ca standard român prima parte a Standardului Internațional ISO 9330 „Țevi sudate utilizate la presiune”, existând în programul comitetului tehnic CT 202 (cu secretariatul la ROMTUB București), prelucrarea altor părți din acest standard cât și a Standardului Internațional ISO 9329 „Țevi fără sudură”.

După standardele de stat existente încă în vigoare și având în vedere criteriile de compoziție chimică, domeniile de utilizare, proprietăți mecanice și tehnologice se poate face următoarea clasificare a oțelurilor pentru țevi:

- oțeluri pentru țevi fără sudură de uz general (STAS 8183-80), cu mărcile: OLT35, OLT45, OLT65 (tabelele 3.38 și 3.42);

- oțeluri pentru țevi fără sudură destinate industriei petroliere (STAS 8185-88) cu mărcile 15VMn11, 20CMn12, 31CMn12, 35Mn14, 43MoMn16, 33MoCr11, 41MoCr11 (tabelele 3.39 și 3.43);
- oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi scăzute (STAS 10382-88), cu mărcile OLT35R, OLT 45R, 10Ni35 (tabelele 3.40 și 3.44);
- oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi ridicate (STAS 8194-87, 11523-87) cu mărcile OLT35K, OLT45K, 16Mo3, 14MoCr10, 12MoCr50, 12MoCr90, 12VMoCr10, 20VNiMoCr120, 20CNiWMoCr120 (tabelele 3.41, 3.45).

Tabelul 3.38 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru țevi fără sudură de uz general, STAS 8183-80

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %											Mar-care	Obs			
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V	W			Alte elem.		
		1.	OLT 35	0,09-0,16	0,4-0,8	0,17-0,37	0,045	0,04	—	—	—	—			—	—	—
2.	OLT 45	0,17-0,24	0,17-0,24	0,17-0,37	0,045	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3.	OLT 65	0,4-0,5	0,7-0,1	0,17-0,37	0,045	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Vi-d- Vi	—

Tabelul 3.39 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru țevi fără sudură destinate industriei petroliere, STAS 8185-88

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %											Mar-care	Obs	
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V	W			Alte elem.
		1.	15VMn11	0,10-0,16	0,9-1,2	0,17...0,37	0,035	0,035	—	—	0,1-0,2	—			—
2.	20VMn12	0,15-0,22	1,0-1,3	0,17...0,37	0,035	0,035	—	—	0,1-0,2	—	—	—	Cu < 0,3	(rz)-v	
3.	31VMp.12	0,28-0,34	1,1-1,4	0,17...0,37	0,035	0,035	—	—	0,1-0,2	—	—	—	Cu < 0,3	(vi)-v	
4.	35Mn14	0,32-0,38	1,3-1,6	0,17...0,37	0,035	0,035	—	—	<0,16	—	—	—	Cu < 0,3	Val	
5.	43MoMn16	0,4-0,46	1,4-1,7	0,17...0,37	0,035	0,035	0,9-1,3	—	0,15-0,3	—	—	—	Cu < 0,3	vi-rz- vi	
6.	33MoCr11	0,3-0,37	0,4-0,8	0,17...0,37	0,035	0,035	0,9-1,3	—	0,15-0,3	—	—	—	Cu < 0,3	al-rz- v	
7.	41MoCr11	0,38-0,45	0,4-0,8	0,17...0,37	0,035	0,035	0,9-1,3	—	—	—	—	—	Cu < 0,3	al-r-v	

Tabelul 3.40 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi scăzute, STAS 10382-88

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %											Mar-care	Obs				
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V	W			Alte elem.			
1.	OLT 35R	0,16	0,4	0,15-0,35	0,035	0,035	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Vi-vs- vi	—
2.	OLT 45R	0,23	0,45	0,15-0,35	0,035	0,035	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Vi-al- vi	—
3.	OLT 65R	0,12	0,3-0,6	0,15-0,35	0,035	0,035	0,3	3,2-3,8	—	0,02	—	—	—	—	—	—	a-n-a	—

Tabelul 3.41 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi ridicate, STAS 8184-87; 11523-87

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %											Marcar-e	Obs				
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V	W			Alte elem.			
1.	OLT35K	0,17	0,4	0,15-0,35	0,04	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	vi-gr-vi	—
2.	OLT45K	0,23	0,45	0,35-0,35	0,04	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	vi-p-vi	—
3.	16Mo3	0,12-0,20	0,5-0,8	0,35-0,35	0,035	0,035	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	a-r-a	—
4.	14MoCr10	0,10-0,18	0,4-0,7	0,35-0,35	0,035	0,035	0,7-1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	a-vi-a	—
5.	12MoCr22	0,08-0,15	0,4-0,7	0,15-0,5	0,035	0,035	2,0-2,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	a-v-a	—
6.	12MoCr50	0,08-0,15	0,3-0,6	0,15-0,5	0,03	0,035	4,0-6,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	a-al-a	—
7.	12MoCr90	0,08-0,15	0,3-0,6	0,25-1,0	0,03	0,03	8,0-10,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	a-g-a	—
8.	12VmoCr10	0,08-	0,4-0,7	0,17-0,37	0,025	0,025	0,9-1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	a-c-a	—

		0,15							0,35				
9.	20VniMoCr120	0,17-0,23	0,3-0,8	0,1-0,5	0,03	0,03	10,0-12,0	0,3-0,8	0,25-0,35				a-p-a
10.	20VniWMoCr120	0,17-0,23	0,3-0,8	0,1-0,5	0,03	0,03	11,0-12,5	0,3-0,8	0,25-0,35	0,4-0,6			

Tabelul 3.42 Proprietăți mecanice ale mărcilor de oțeluri pentru țevi fără sudură de uz general, STAS 8183-80

Nr. crt.	Marca	Stare a	Proprietăți mecanice						Parametrii tratamentului termic							
			R _{m0,2} N/mm ² , min.	R _m N/mm ² , min.	A5 % min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HRC	Recoacere		Normalizare		Călire		Revenire	
									T, °C	Mediu	T, °C	Mediu	T, °C	Mediu	T, °C	Mediu
1.	OLT35	L	230	340	26	—	230	—	—	—	900-940	—	—	—	—	—
2.	OLT45	L	250	440	21	—	250	—	—	—	890-930	—	—	—	—	—
3.	OLT65	N	370	640	16	—	370	—	—	—	840-860	a	—	—	—	—

Tabelul 3.43 Proprietăți mecanice ale mărcilor de oțeluri pentru țevi fără sudură destinate industriei petroliere, STAS 8185-88

Nr. cri.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice						Parametrii tratamentului termic							
			R _{m0,1} N/mm ² , min.	R _m N/mm ² , min.	A5 % min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HRC	Recoacere		Normalizare		Călire		Revenire	
									T, °C	Mediu	T, °C	Mediu	T/C	Mediu	T, °C	Mediu
1.	15VMn11	N	350	450	16	—	—	—	—	—	870-890	a	—	—	—	—
2.	20VMn12	N	410	610	14	—	—	—	—	—	870-890	a	—	—	—	—
3.	31VMn12	N	610	780	12	—	—	—	—	—	880-900	a	—	—	—	—
4.	35Mn14	I	530	720	16	80	—	—	—	—	—	a	860-880	A	600-620	a

5.	43MoMn16	N	550	700	15	60	—	—	—	—	870-890	a	—	—	—
6.	33MoCr11	I	690	880	12	80	—	—	—	—	—	—	830-860	A	560-590 a
7.	41MoCr11	I	740	930	11	80	—	—	—	—	—	—	820-850	A	560-590 a
8.	40VmoMn Cr7	N	690	780	12	60	—	—	—	—	880-900	a	—	—	560-590 a
9.	34MoCrNi 15	I	880	1080	11	80	—	—	—	—	—	—	830-860	A	560-590 a
10.	35VmoMn 14	I	860	930	11	—	—	—	—	—	—	—	860-880	A	560-590 a

Tabelul 3.44 Proprietăți mecanice ale mărcilor de oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi scăzute, STAS 10382-88

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice						Parametrii tratamentului termic							
			R _{m0.1} N/mm ² , min.	R _m N/mm ² , min.	A5 %, min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HRC	Recoacere		Normalizare		Călire		Revenire	
									T/C	Mediu	T/C	Mediu	T/C	Mediu	T/C	Mediu
1.	OLT35R	N	225	340-440	26	—	—	—	—	—	900-940	a	890-930	aer	600-680	a ;
2.	OLT45R	N	255	440-540	21	—	—	—	—	—	890-930	a	890-980	a	600-680	a i
3.	10Ni35	N	345	440-610	20	80	—	—	—	—	830-870	a	820-870	a	580-630	a

Tabelul 3.45 Proprietăți mecanice ale mărcilor de oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi ridicate, STAS 8184-87; 11523-87

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice						Parametrii tratamentului termic							
			R _{m0.2} N/mm ² , min.	R _m N/mm ² , min.	A5 %, min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HR C	Recoacere		Normalizare		Călire		Revenire	
									T, °C	Mediu	T/C	Mediu	T, °C	Mediu	T, °C	Mediu
1.	OLT35K	N	235	350-450	26	60	—	—	—	—	900-	a	—	—	—	—

2.	OLT45K	N	255	450-550	21	60	-	-	-	-	-	-	930	a	-	-	-	-
3.	16M03	N	270	430-520	19	60	-	-	-	-	-	-	870-900	a	-	-	-	-
4.	14MoCr10	N	290	430-550	18	60	-	-	680-720	aer	910-940	a	910-940	a	-	-	600-650	a
5.	12MoCr22	N	280	470-640	20	60	-	-	730-780	c	960-980	a	960-980	a	960-980	u	680-780	a
6.	12MoCr50	R1	175 275	420-550 520-640	21 20	60	-	-	880-920	c	-	-	990-1030	-	990-1030	u	660-760	a
7.	12MoCr90	R1	205 395	410-540 590-740	21 20	60	-	-	840-890	c	-	-	940-980	-	940-980	u	650-750	a
8.	12VmoCr10	N	255	470-640	21	98	-	-	680-720	a	960-980	a	-	a	-	-	650-750	a
9.	20VniMoCr1 20	N	490	690-830	16	60	-	-	-	-	-	-	1020-1070	-	1020-1070	u	730-780	a
10.	20VNiMoCr1 20	N	590	780-830	14	60	-	-	-	-	-	-	1020-1070	-	1020-1070	u	730-780	a

Oțelurile pentru țevi utilizate în domeniul temperaturilor scăzute, sunt aliate cu 3...8% Ni, element chimic ce conferă rezistență mecanică și tenacitate la temperaturi negative.

Oțelurile pentru țevi utilizate la temperatură ridicată sunt aliate cu V, Ni, W, Mo, Cr elemente chimice care au rolul de a conferi rezistență mecanică și stabilitate structurală bune la temperaturi de până la 400 °C. Gradul de aliere cu Cr și Mo și tratamentul termic aplicat sunt factorii de care depinde în cea mai mare măsură rezistența mecanică a acestor oțeluri.

3.2.5 Oțeluri cu granulație fină

3.2.5.1 Oțeluri sudabile cu granulație fină, normalizate, pentru recipiente sub presiune

Standardul Român SR EN 10028-3:1996, care reprezintă versiunea română a Standardului European EN 10028-3:1992, stabilește condițiile tehnice pentru produsele plate utilizate la execuția recipientelor sub presiune fabricate din oțeluri sudabile cu granulație fină.

Oțelurile cu granulație fină, conform EURONORM 103 (Determination micrographique de la grosseur du grain ferritique au austenitique des aciers) sunt oțeluri care au dimensiunea grăuntelui de ferită (punctajul grăuntelui) de maxim 6 sau mai fin.

Compoziția chimică analizată pe oțel lichid a mărcilor de oțeluri sudabile cu granulație fină, normalizată, pentru recipiente sub presiune este prezentată în tabelul 3.46 iar abaterile admisibile ale analizei pe produs, în raport cu limitele analizei pe oțel lichid (tabelul 3.46) sunt prezentate în tabelul 3.47. Valoarea carbonului echivalent poate fi convenită la o valoare maximă prezentată în tabelul 3.48. Pentru determinarea valorii carbonului echivalent (C_e) se poate utiliza formula:

$$C_e = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \quad (3.1)$$

sau prin acord în comandă (între beneficiar și furnizor) formula de calcul a carbonului echivalent se poate înlocui cu următoarele condiții exprimate prin inegalitățile:

$$\%V + \%Nb + \%Ti < 0,22\% \quad (3.2)$$

$$\%Mo + \%Cr < 0,30\% \quad (3.3)$$

Caracteristicile mecanice ale acestor oțeluri (tabelul 3.49) depind în mare măsură de valorile concentrației carbonului. În SR EN

10028-3 sunt precizate și valorile limitei de curgere convenționale la 0,2% pentru temperatură ridicată (cuprinsă între 50 și 400 °C) care la grosimi de produs de la dimensiuni de 35 mm până la 150 mm, sunt cuprinse între 69 și 392 N/mm². Valorile limită ale energiei absorbite la rupere pentru încercările la încovoiere prin șoc, valabile pentru epruvete cu creștătură în V pentru oțeluri în stare normalizată sunt specificate în SR EN 10028-3:1996 și sunt cuprinse între 40 și 100 J pentru epruvete longitudinale la temperaturi între -50 și +20 °C iar pentru epruvete transversale energia de rupere este cuprinsă între 20 și 70 J pentru determinări efectuate la temperaturi cuprinse în același interval de temperatură.

Mărcile de oțeluri cu granulație fină prezentate în tabelul 3.46 sunt clasificate în patru grupe:

- grupa de bază (P...N);
- grupa oțelurilor rezistente la temperaturi ridicate (P...NH);
- grupa oțelurilor rezistente la temperaturi joase (P...NL1);
- grupa specială a oțelurilor rezistente la temperaturi joase (P...NL2).

Conform normelor EN 10020 (prezentate în subcapitolul 3.1) mărcile P275N, P275NH, P275NL1, P355N, P355NH și P355NL1 sunt oțeluri de calitate nealiat, mărcile P275NL2 și P355NL2 sunt oțeluri speciale nealiat iar celelalte mărci de oțel sunt oțeluri speciale aliat.

Proprietățile determinate la temperaturi de -50 °C se fac pentru mărcile din grupa oțelurilor rezistente la temperaturi joase și din grupa specială a oțelurilor la temperaturi joase.

Tabelul 3.46 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri sudabile cu granulație fină, SR EN 10028-3:1996

Marcă de oțel		Conținut masic, %															
Simbolizare alfanumerică	Simbolizare numerică	Clasificarea ¹⁾	C max.	Si max.	Mn	P max.	S max.	Al min.	Cr max.	Cu max.	Mo max.	N max.	Nb max.	Ni max.	Ti max.	V max.	Nb+Ti+V max.
P275N	1,0486	UQ	0,18		0,50...1,40	0,030	0,025										
P275NH	1,0487	UQ		0,40		0,030	0,020	0,020	0,303)	0,303)	0,083)	0,020	0,050	0,500	0,030	0,050	0,050
P275NL1		UQ	0,16		0,50...1,50	0,025	0,015										
P275NL2		UE															
P355N		UQ	0,20			0,030	0,020										
P355NH		UQ				0,030	0,020	0,020	0,303)	0,303)	0,083)	0,020	0,050	0,500	0,030	0,100	0,120
P355NL1		UQ	0,18	0,50	0,90...1,70	0,030	0,020										
P355NL2		UE				0,025	0,015										
P460N		LE LE				0,030	0,020										
P460NH		LE LE				0,030	0,020	0,020	0,303)	0,303)	0,103)	0,025	0,050	0,800	0,030	0,200	0,220
P460NL1		LE	0,20	0,60	1,00...1,70	0,030	0,020										
P460NL2		LE				0,025	0,015										

1) UQ = oțel de calitate nealiat; UE = oțel special nealiat; LE = oțel special aliat.

2) Dacă azotul este legat de Niobiu, cu titan sau vanadiu, nu se aplică specificația cu privire la conținutul minim de aluminiu

3) Suma conținuturilor de crom, cupru și molibden nu trebuie să depășească 0,45%

4) În cazul în care conținutul de cupru depășește 0,30%, conținutul de nichel trebuie să fie cel puțin egal cu jumătatea din conținutul de cupru.

Tabelul 3.47 Abateri admisibile la analiza pe produs față de limitele valorilor analizei pe oțel lichid a mărcilor de oțeluri sudabile cu granulație fină, SR EN 10028-3:1996

Element	Limitele valorilor analizei pe lichid (a se vedea tabelul 1), % de masă	Abateri admise la analiza pe produs față de limitele valorilor analizei pe oțel lichid (a se vedea tabelul 1), % de masă
C	≤0,20	+ 0,02
Si	≤0,60	+ 0,05
Mn	≤ 1,70	+ 0,10 - 0,05
P	≤ 0,030	+ 0,005
S	≤0,015 > 0,015... ≤ 0,025	+ 0,003 + 0,005
Al	S 0,020	- 0,005
Cr	≤0,30	+ 0,05
Cu	≤ 0 ,30 > 0,30...≤0,70	+ 0,05 + 0,07
Mo	≤ 0 ,10	+ 0,03
N	≤ 0,025	+ 0,002
Nb	≤ 0,05	+ 0,01
Ni	≤0,80	+ 0,05
Ti	≤0 .03	+ 0,01
V	≤0,20	+ 0,02

1) Dacă, pentru aceeași șarjă, se efectuează mai multe analize pe produs și dacă, pentru un element se obțin valori în afara intervalului admis determinat de analiza chimică pe oțel lichid, sunt permise numai abaterile fie față de limita superioară, fie față de limita inferioară, dar niciodată ambele cazuri în același timp.

Tabelul 3.48 Valoarea maximă a carbonului echivalent pentru oțelurile sudabile cu granulație fină, SR EN 10028-3:1996

Marca de oțel		Simbolizare numerică	Carbon echivalent maxim pentru o grosime nominală, în mm	
Simbolizare alfanumerică	Simbolizare numerică		<63	>63 ... <100
P275N		1,0486		>100 ... ≤150
P275NH		1,0487		
P275 NL1		1,0488	0,40	0,42
P275NL2		1,1104		
P355N		1,0562		
P355NH		1,0565		
P355NL1		1,0566	0,43	0,45
P355NL2		1,1106		
P460N		1,8905		
P460NH		1,8935		
P460NL1		1,8915	-	-
P460NL2		1,8918		

Tabelul 3.49 Proprietăți mecanice ale mărcilor de oțeluri sudabile cu granulație fină, SR EN 10028-3:1996

Marca de oțel	Stare normală de livrare	Limită de curge grosiere Re ¹⁾ min, în N/mm ² , pentru o grosime a produsului, în mm				Rezistență la rupere R _m , în N/mm ² , pentru o grosime a produsului, în mm				Alungire la rupere, A (L _n = 5.65 · √S ₀ , min, %, pentru o grosime a produsului în mm		
		≤16	>16... ≤35	>35... ≤50	>50... ≤70	≤70	>70... ≤100	>100... ≤150	>150			
P275N		275	275	265	255	235	225	390...510	370... 490	350... 470	24	23
P275NH		275	275	265	255	235	225	390...510	370... 490	350... 470	24	23
P275NL1	normalizat	275	275	265	255	235	225	390...510	370... 490	350... 470	24	23
P275NL2		275	275	265	255	235	225	390...510	370... 490	350... 470	24	23
P355N		355	355	345	325	315	295	490... 630	470...510	450... 590	22	21
P355NH		355	355	345	325	315	295	490... 630	470...510	450... 590	22	21
P355NL1	normalizat	355	355	345	325	315	295	490... 630	470...510	450... 590	22	21
P355NL2		355	355	345	325	315	295	490... 630	470...510	450... 590	22	21
P460N		460	460	440	420	400	380	570... 720	540...710	520...690	17	16
P460NH		460	460	440	420	400	380	570... 720	540...710	520...690	17	16
P460NL1	normalizat 21	460	460	440	420	400	380	570... 720	540...710	520...690	17	16
P460NL2		460	460	440	420	400	380	570... 720	540...710	520...690	17	16

1) Pentru R_{po,2} valorile minime din tabel se micșorează cu 10N/mm², pentru ReH ≤ 355N/mm² în pentru ReH > 355N/mm².

2) Pt grosimi ≤ 16 mm, se permite o valoare maximă de 730 N/mm².

3.2.5.2 Oțeluri cu granulație fină pentru construcții de mare portantă și țevi sudate longitudinal și elicoidal

Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri cu granulație fină destinate construcțiilor sudate de mare portantă (structuri de rezistență suple cu capacitate portantă mare raportată la greutatea proprie a construcției) țevilor sudate longitudinal și elicoidal pentru apă țiței și gaze este prezentată în tabelul 3.50. Aceste sunt oțeluri carbon sau slab aliate cu mangan, aluminiu, nichel, vanadiu, titan și niobiu livrate în stare laminată sau normalizată, sub formă de table groase sau țevi: X56, X60 pentru țevi sudate STAS 11082-82; OCS 285; OCS 355 pentru construcții sudate -STAS 9021-88; L410 pentru longeroane STAS 11505-89; OPM pentru galerii de mină STAS 9531-91. Sunt caracterizate prin valori ridicate ale limitei de curgere cuprinse între valorile 285...460 N/mm² și tenacitate mare până la -50°C.

Proprietățile mecanice și parametrii tratamentului termic sunt prezentate în tabelul 3.51.

Finisarea structurii ferito-peritice se face prin reducerea conținutului de carbon și mangan și prin efectul oxizilor, nitrurilor și carburilor care constituie bariere mecanice în calea creșterii grăunților de austenită la încălzire. Astfel, punctajul grăunțului de austenită la aceste oțeluri este de minimum 6.

Au sudabilitate foarte bună. Pentru a se evita fragilizarea materialului de bază, la sudarea prin topire a oțelurilor cu granulație fină se recomandă preîncălzirea la 80...150°C, pentru uscarea materialului, și aplicarea mai multor straturi succesive, la o energie liniară de sudare mică, ce evită formarea structurilor martensită-bainită sau bainită-ferită, care imprimă tenacitate și duritate scăzute. Modul în care variază energia de rupere și duritatea oțelului OCS355 cu energia liniară de sudare este prezentat în figura 3.8.

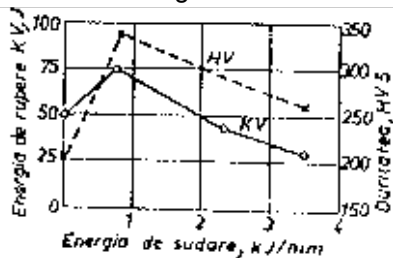


Fig. 3.8 Variația durității și tenacității zonei influențate termic a oțelului OCS 355 cu energia de sudare

Tabelul 3.50 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri cu granulație fină, STAS 9021-88, 11082-80, 11502-89, 715/2-80

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %										Marcare	Obs			
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V			w	Alte elem.	
1.	OCS285	0,20	0,8...1,1	£0,5	0,04	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	v-p-v	—
2.	OCS355	0,18	1,1...1,6	£0,5	0,03	0,03	—	—	—	—	—	—	—	—	v-f-v	—
3.	X42	0,28	1,35	—	0,045	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.	X46	0,30	1,35	—	0,050	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.	X52	0,30	1,35	—	0,050	0,040	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.	X56	0,30	1,35	—	0,05	0,04	—	—	0,0	0,02	3	—	—	Nb=0,02	—	—
7.	X60	0,26	1,35	—	0,05	0,04	—	—	0,0	0,02	3	—	—	Nb=0,02	—	—
8.	L410	0,2	1,4	£0,4	0,035	0,040	—	—	0,1	—	5	—	—	Al £0,02 Nb<0,05	—	—
9.	A	0,22	0,9	—	0,045	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10.	B	0,22	1,15	—	0,045	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelul 3.51 Proprietățile mecanice și parametrii tratamentului termic al mărcilor de oțeluri cu granulație fină, STAS 9021-88; 11082-80; 11505-89; 715/2-80

Nr.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice						Parametrii tratamentului termic							
			R _{m0,2} N/mm ² min.	R _m N/mm ² min.	A5 % min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/m ²	HRC	Recoacere T, °C	Mediu	Normalizare T, °C	Mediu	Calire T, °C	Mediu	Revenire T, °C	Mediu
1.	OCS285	L	285	430-540	23	48	—	—	530-580	C	900-920	aer	—	—	—	—
2.	OCS355	L	355	510-610	20	48	—	—	530-580	C	900-920	aer	—	—	—	—
3.	X42	L	290	410	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.	X46	L	320	430	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.	X52	L	360	2450	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.	X56	L	390	490	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.	X60	L	410	520	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8.	L410	L	412	529-686	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9.	A	L	207	331	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Deoarece compoziția chimică reprezintă principalul factor de influență asupra caracteristicilor mecanice (tabelul 3.54) și a celor tehnologice, cum ar fi stabilitatea, normele navale prescriu pentru această clasă de oțel valori maxime admise pentru conținutul de C și Mn precum și pentru carbonul echivalent, lăsând libertate producătorului să regleze în aceste limite compoziția chimică a oțelului, funcție de grosimea de produs.

Analizând compoziția chimică a mărcilor de oțeluri din tabelul 3.53 se constată că se pot forma patru grupe:

- 1) A, D, E cu $R_{p0,2} = 235 \text{ N/mm}^2$, $KV = 27 \text{ J}$;
- 2) A, D, E 32 cu $R_{p0,2} = 315 \text{ N/mm}^2$, $KV = 31 \text{ J}$;
- 3) A, D, E 36 cu $R_{p0,2} = 355 \text{ N/mm}^2$, $KV = 34 \text{ J}$;
- 4) A, D, E 40 cu $R_{p0,2} = 390 \text{ N/mm}^2$, $KV = 39 \text{ J}$;

Fiecare grupă se caracterizează prin valori unice ale limitei de curgere și tenacitate.

Prima clasă (A, D, E) cuprinde oțeluri carbon, fiind destinată elementelor sudate de structuri portante ale navelor fluviale și maritime de mic tonaj. Celelalte clase conțin cantități mici de cupru, aluminiu, crom, nichel, molibden, niobiu și vanadiu, fiind destinate elementelor sudate de structuri portante ale navelor maritime de tonaj mediu și mare. Din oțelurile ultimei clase se execută elementele de rezistență din zona centrală a navelor maritime de mare tonaj.

Elementele și subansamblele platformelor de foraj marin puternic solicitate se execută dintr-un oțel de calitate specială, cu conținut redus de incluziuni, cu grad redus al anizotropiei caracteristicilor de rezistență și cu plasticitate garantată pe grosimea produselor, denumit „Grad Z”. Acesta are gâtuirea minimă la rupere pe direcția grosimii produsului de minimum 30%.

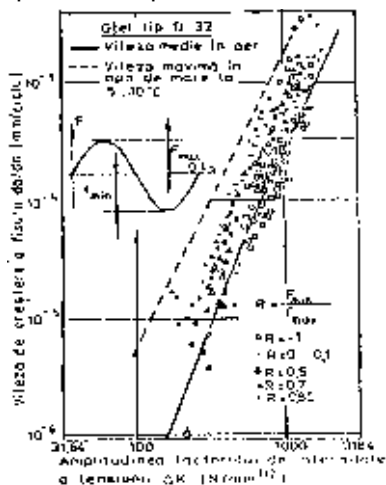
În comparație cu oțelurile obișnuite oțelurile cu caracteristici de plasticitate garantate pe direcția grosimii au o tendință mai accentuată de fisurare la rece după sudare. Fenomenul este cauzat de valoarea mai mare a deviației zonei de influență termică, atinsă ca urmare a efectului de întârziere a transformării austenită-ferită, determinat de conținutul mai scăzut în incluziuni nemetalice caracteristic acestor oțeluri.

Tabelul 3.54 Proprietăți mecanice ale mărcilor de oțeluri, pentru construcții navale și platforme marine, STAS 8324-86

Nr. crt.	Marca	Sta-rea	Proprietăți mecanice					Parametrii tratamentului termic								
			$R_{m0.2}$ N/mm ² , min.	R_m N/mm ² , min.	A5 % min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HRC	Recoacere		Normalizare		Călire		Revenire	
									T, °C	Mediu	T, °C	Mediu	T, °C	Mediu	T, °C	Mediu
1.	A	L	235	400-490	22	27	—	—	—	—	910-940	a	—	—	—	—
2.	D	L														
3.	E	I														
4.	A32	I														
5.	D32	I	315	470-590	21	31	—	—	—	—	910-940	a	—	—	—	—
6.	E32	I														
7.	A36	I														
8.	D36	I	355	490-620	21	34	-	—	—	—	910-940	a	—	—	—	—
9.	E36	L														
10.	A40	I														
11.	D40	I	390	530-650	20	39	—	—	—	—	910-940	a	—	—	—	—
12.	E40	I														

Apa de mare accentuează creșterea vitezei de propagare a fisurilor de oboseală cu un ordin de mărime comparativ cu valorile înregistrate în aer.

În figura 3.9 sunt date rezultatele obținute în cazul unui oțel de tip D32 supus la o încărcare repetată cu frecvență mică, în apă de mare la temperatură cuprinsă între 5-10 °C.



Creșterea practic cu un ordin de mărime a vitezei procesului de fisurare este pusă pe seama dezvoltării, în mediu marin, a unor procese complexe de coroziune și oboseală.

Fig.3.9 Influența mediului marin asupra vitezei de propagare a rupturii la oboseală experimentată pe un oțel D32

3.2.7 Oțeluri pentru viaducte, poduri de șosea și cale ferată

Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru viaducte și poduri de șosea și cale ferată este prezentată în tabelul 3.55. Aceste oțeluri fac parte din categoria oțelurilor carbon calmate cu aluminiu, cu destinație generală, cu tenacitate mare și sudabilitate foarte bună, având adaosuri mici pe lângă aluminiu, azot, titan livrate în stare laminată controlat, sub formă de table groase pentru elementele principale ale viaductelor, podurilor de șosea și cale ferată. Sunt: OL 37 EP și OL 52 EP - STAS 12187-88. Au limita de curgere de 230...340 N/mm² și reziliența de 59...69 J/cm² (tabelul 3.56), cu garanții de tenacitate și la temperaturi negative (la -20 °C are KV>27J). Structurile sudate din aceste oțeluri se pot rupe fragil, numai ca urmare a complexității constructive sau a condițiilor severe de exploatare. Laminarea controlată ca și normalizarea au în vedere finisarea structurii și ameliorarea caracteristicilor mecanice.

Tabelul 3.55 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru produse sub formă de table groase destinate construcției de viaducte și poduri de șosea și cale ferată, STAS 12187-88

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %										Marcare	Obs					
		C	Mn	Si	s	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V			W	Alte elem.			
1.	OL 37 EP	0,17	0,8	0,4	0,03	0,035	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Al = 0,025 N2 = 0,009	r	—
2.	OL 52 EP	0,12- 0,18	1,6	0,5	0,02	0,035	—	—	—	0,05	—	—	—	—	—	Al = 0,025 N2 = 0,009	vi	—

Tabelul 3.56 Proprietăți mecanice ale mărcilor de oțeluri pentru table groase pentru viaducte și poduri de șosea și căi ferate, STAS 12187-88

Nr. crt.	Marca	Stare a	Proprietăți mecanice					Parametrii tratamentului termic									
			R _{0.2} N/mm ² , min.	R _m N/mm ² , min.	A5 %, min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HRC	Recoacere T, °C	Normalizare T, °C	Călire T, °C	Revenire T, °C					
1.	OL 37 EP	N	230	360- 440	24	69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.	OL 52 EP	N	340	510- 630	20	59	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

3.2.8 Oțeluri de construcții cu rezistență îmbunătățită la coroziune atmosferică

Aceste oțeluri sunt standardizate în România prin reglementările a două tipuri de standarde și anume SR EN 10155:1995 și STAS 500/3-80.

Standardul Român SR EN 10155:1995, este identic cu Standardul European EN:1993, „Aciers de construction à resistance ameliorée à la corrosion atmospherique - Condition techniques de livraison”, reprezentând traducerea versiunii franceze.

După Standardul European EN 10155:1993, oțelurile cu rezistență îmbunătățită la coroziune atmosferică sunt oțeluri în care un anumit număr de elemente de aliere, ca P, Cu, Cr, Ni, Mo... sunt adăugate pentru a crește rezistența la coroziune atmosferică prin formarea unui strat protector de oxizi pe suprafața metalului de bază și sub acțiunea condițiilor atmosferice.

Această clasă de oțeluri mai poartă denumirea de „oțeluri patinabile”.

Standardul SR EN 10155:1993 precizează două mărci de oțel, S235 și 355 ce pot fi livrate în clasele de calitate J0, J2 și K2.

Produsele din marca de oțel S355, clasele de calitate J2 și K2 se subîmpart în clasele de calitate J2G1 și J2G2, respectiv K2G1 și K2G2.

Compoziția chimică a acestor mărci de oțel este prezentată în tabelul 3.57, iar în tabelul 3.58 sunt date abaterile admisibile pe produs în raport cu limitele analizei pe oțel lichid. Marca S355 care se subîmparte în clasele W și WP diferă prin conținuturile de carbon și de fosfor și prin utilizările lor. Însă diferențe semnificative în ceea ce privește concentrația elementelor chimice și compoziția oțelului nu există. Totuși mărcile și clasele de calitate diferă între ele în primul rând prin sudabilitate și caracteristicile mecanice așa cum se poate constata din tabelul 3.59.

Tabelul 3.57 Compoziția chimică la analiza pe oțel lichid a mărcilor de construcții cu rezistență îmbunătățită la coroziune atmosferică, SR EN 10155:1995.

Simbolizare conform		Mod de deoxidare	C % max.	Si % max.	Mn %	P %	S % max.	N % max.	Adaos care fixează azotul ¹⁾	Cr % max.	Cu % max.	Altele
EN 10027-1 și ECIS IC 10	EN 10027-2											
S235J0W	18958	FN	0,13	0,40	0,20-0,60	max. 0,040	0,040	0,0092, 5>	-	0,40-0,80	0,25-0,55	3)
S235J2W	1.8961	FF	0,13	0,40	0,20-0,60	max. 0,040	0,035	0,0092, 5>	da	0,40-0,80	0,25-0,55	3)
S355J0Wp	1.8945	FN	0,12	0,75	max. 1,0	0,06-0,15	0,040	0,0092, 5)	da	0,30-1,25	0,25-0,55	3)
S355J2WP	1.8946	FF	0,12	0,75	max. 1,0	0,06-0,15	0,035	0,0092, 5)	da	0,30-1,25	0,25-0,55	3)
S355J0W	1.8959	FN FF				max.0,04	0,040	0,0092, 5)	da			
S355J2G1W	1.8963	FN FF				0 max. 0,035	0,035	0,0092, 5)	da			
S355J2G2W	1.8965					max.0,03	0,035	-	da da da	0,40-0,80	0,25-0,55	3)4)
S355K2G1W	1.8966	FF FF FF	0,16	0,50	0,50-1,50	max.0,03	0,035	-	da da da	0,40-0,80	0,25-0,55	3)4)
S255K2G2W	1.8967	FF FF FF	0,16	0,50	0,50-1,50	max.0,03	0,035	-	da da da	0,40-0,80	0,25-0,55	3)4)

- 1) Oțelurile trebuie să conțină cel puțin unul din următoarele elemente: Al_{total}:0,020%, Nb: 0,015-0,060%- V 0,02-0,10. Dacă aceste elemente sunt folosite în combinație, cel puțin unul dintre ele trebuie să fie prezent la conținutul minim indicat
- 2) Depășirea valorilor specificate este permisă cu condiția ca pentru fiecare creștere de 0,001 %N, conținutul de P să fie redus cu 0,005%; totuși, la analiza pe oțel lichid conținutul de N nu trebuie să fie mai mare de 0,012%.
- 3) Oțelurile pot avea un conținut maxim de Ni de 0,65%.
- 4) Oțelurile pot conține max. 0,30% Mo și max. 0,15 % Zr
- 5) Valoarea maximă pentru conținutul de azot nu se aplică dacă compoziția chimică prezintă un conținut minim de Al_{total} de 0,020% sau alte elemente care leagă azotul în cantități suficiente

Tabelul 3.58 Abateri admisibile ale analizei pe produs în raport cu limitele precizate ale analizei pe lichid prezentate în tabelul 3.57

Element	Conținutul maxim admisibil la analiza pe lichid %	Abateri admisibile ale analizei pe produs în raport cu limitele precizate ale analizei pe lichid %
C	≤0,16	+ 0,03
Si	≤0,75	+0,05
Mn	≤0,60 > 0,60	± 0,05 ±0,10
P	≤ 0,040 > 0,040	+0,005 ±0.01
s	≤ 0,040	+ 0,005
N	≤0,012	+ 0,001
Cr	≤0,80 > 0,80	±0,05 ±0,10
Cu	≤0,55	±0,05
Ni	≤0,55	+ 0,05
Mo	≤0,30	+ 0,05
Zr	≤0,15	+ 0,02
Nb	≤ 0,060	±0,005
V	≤0,15	+ 0,02 - 0,01
Ti	≤ 0,10	+ 0,02 - 0,01
1) ± semnifică faptul că, în aceeași șarjă abaterea poate să fie peste valoarea superioară sau sub valoarea inferioară a intervalului precizat în tabelul 3.57 dar nu în ambele sensuri în același timp.		

Tabelul 3.59 Proprietăți mecanice ale mărcilor de oțeluri de construcții cu rezistență îmbunătățită la coroziune atmosferică, SR EN 10155:1995

Simbolizare		Limită de curgere minimă RBH ¹⁾ , N/mm ²				Rezistență la tracțiune R _m , N/mm ²		Orientare epruvetă ¹⁾	Alungire procentuală minimă la rupere, %				
		Grosime nominală, mm				Grosime nominală, mm			L _o =80 mm Grosime nominală, mm		L _u =5,657s7 Grosime nominală, mm		
Conform EN 10027-1 și EC/ISS IC 10	Conform EN 100027-2	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	< 3	S3 ≤ 100	> 1,5 ≤ 2	> 2,5 ≤ 2,5	> 2,5 ≤ 3	> 3 ≤ 40	> 40 ≤ 63
S235J0W	1,8958	235	225	215	215	215	360...515	340...470	1	19	20	16	25
S235J2W	1,8961	235	225	215	215	215	360...515	340...470	t	17	18	19	23
S355J0WP	1,8945	355	345	325	315	315	510...680	490...630	1	16	17	18	22
S355J2WP	1,8946	355	345	325	315	315	510...680	490...630	t	14	15	16	20
S355J0W	1,8959												
S355J2G1W	1,8963												
S355J2G2W	1,8965	355	345	335	325	315	510...680	490...630	1	16	17	18	22
S355K2G1W	1,8966								t	40	15	16	19
S355K2G2W	1,8967												

1) Valorile indicate în tabel se aplică pentru încercarea la tracțiune pe epruvete longitudinale (l). Pentru table, benzi și platbenzi cu lățimi > 600 mm, se utilizează epruvete transversale (t).

2) Această valoare nu se aplică profilelor îndoite, profilelor și barelor.

Simbolizarea alfanumerică a mărcilor de oțel din tabelul 3.55 este în conformitate cu standardele SR EN 10027-1 și SR EN 10027-2 și are următoarele semnificații:

S: urmat de un număr din trei cifre: oțel de construcție cu valoarea minimă specificată a limitei de curgere, în N/mm², pentru grosimi < 16 mm, dată de număr;

J0: clasă de calitate pentru produse cu valoarea minimă a energiei de rupere la încercarea la încovoiere prin șoc de 27 J la 0 °C;

J2: clasă de calitate pentru produse cu valoarea minimă a energiei de rupere la încercarea de încovoiere prin șoc de 27J la -20°C;

K2: clasă de calitate pentru produse cu valoarea minimă a energiei de rupere la încercarea de încovoiere prin șoc de 40J la -20°C;

W: oțel cu rezistență îmbunătățită la coroziune atmosferică;

WP: oțel cu rezistență îmbunătățită la coroziune atmosferică aliat cu fosfor;

N: produsul se livrează în stare normalizată sau în stare brută de laminare normalizantă;

Standardul SR EN 10155:1995 are același domeniu de aplicare ca și standardul STAS 500/3-1980, „Oțeluri de uz general pentru construcții rezistente la coroziune atmosferică. Mărci”.

Astfel încât se va prezenta în continuare caracterizarea și utilizarea oțelurilor rezistente la coroziune atmosferică, în raport cu standardul STAS 500/3-80. Acest standard cuprinde două mărci de oțeluri livrate sub formă de bare laminate sau forjate, table și benzi: RCA 37 și RCB 57, a căror compoziție chimică este prezentată în tabelul 3.40. Analizând compoziția chimică se constată că sunt oțeluri slab aliate cu Cr, Cu, V, Al, N și P, care în condiții normale de coroziune atmosferică în timp de cca. 3 ani se acoperă cu un strat subțire, compact și aderent, de oxizi și sulfuri (cunoscut și sub termenul de „patină”) ce are acțiune de protecție anticorozivă.

Caracteristicile mecanice ale acestor oțeluri sunt prezentate în tabelul 3.41 și sunt destinate următoarelor categorii de construcții metalice: stâlpi de înaltă tensiune, recipiente sub presiune, vagoane, macarale, boghiuri, poduri, elemente de structură ale halelor industriale etc. Produsele laminate și forjate se pot trata termic prin recoacere și normalizare. Prezintă sudabilitate bună. nu se impune preîncălzirea înainte de sudare și nici tratament termic după sudare.

Tabelul 3.60 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri pentru construcții rezistente la coroziunea atmosferică STAS 500/3-80

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %										Marcare	Obs		
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V			W	Alte elem.
1.	RCA 37 1, 1a, 1b RCA 37 2, 2a, 2b RCA 37 3, 3a, 3b	0,10	0,45	0,12...0,35	≤0,04	S 0,06	0,5...0,8	—	—	—	—	—	Cu = 0,3- 0,6 Al = 0,02 N2 = 0,019	r-a	
2.	RCB 52 1, 1a, 1b RCB 52 2, 2a, 2b RCB 52 3, 3a, 3b	0,18	1,2	0,6	< 0,045	≤ 0,045	0,5...0,8	—	—	—	—	—	Cu = 0,3- 0,6 Al 0,02 N2 = 0,019	vi-a	

Tabelul 3.61 Proprietăți mecanice ale mărcilor de oțeluri pentru construcții rezistente la coroziune atmosferică STAS 500/3-80

Nr. crt.	Marca	Sta- rea	Proprietăți mecanice						Parametrii tratamentului termic						
			R _m N/mm ² , min.	A5 %, min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HRC	Recoacere		Normalizare		Călire		Revenire	
								T, °C	Me- diu	T, °C	Me- diu	T, °C	Me- diu	T, °C	Me- diu
1.	RCA 32	L	240 440	24 440	7	2									
2.	OL 52 ERCB 52P	L	350 630	20 630	7										

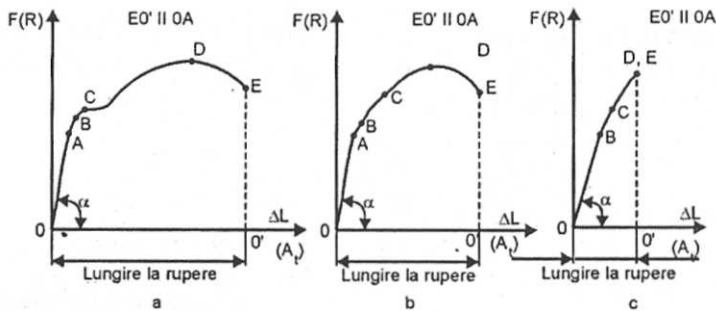


Fig. 3.11 Forme tipice de curbe caracteristice:
a - cu palier de curgere; b - fără palier de curgere; c - curbă tipică pentru materiale fragile

În această fază a încercării materialul „curge”, adică se deformează, deși sarcina nu mai crește; pe curba caracteristică se obține un „palier de curgere”. Urmărindu-se, în timpul încercării, indicațiile sistemului de măsurare a forței (sau având trasată curba caracteristică), se poate determina momentul în care creșterea forței încetează, în timp ce procesul de deformare a epruvetei continuă. Raportul dintre această sarcină și aria secțiunii transversale inițiale a epruvetei se numește limită de curgere aparentă și se notează R_g . În timpul curgerii sarcina poate înregistra variații (ca în figura 3.12) între o valoare maximă și o valoare minimă; împărțind aceste sarcini la aria secțiunii transversale inițiale a epruvetei se obțin limita de curgere superioară R_{eH} și limita de curgere inferioară R_{eL} .

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0}, \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (3.4)$$

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}, \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (3.5)$$

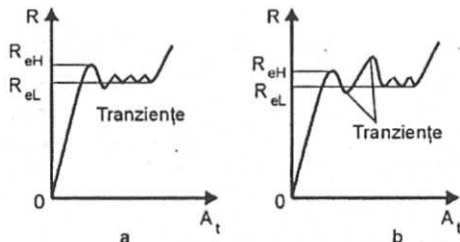


Fig. 3.12 Variații ale sarcinii pe palierul de curgere

Aceste două caracteristici se pot determina numai din diagramele înregistrate.

La materialele care nu au limită de curgere aparentă (fig. 3.11b, c), stabilirea acesteia se face convențional, definindu-se:

- Limita de curgere convențională (pentru o alungire neproportională prescrisă), fiind raportul dintre sarcina corespunzătoare unei alungiri neproportionale prescrise și aria secțiunii transversale inițiale a epruvetei; se notează R_p , cu un indice numeric reprezentând alungirea neproportională prescrisă; la oțeluri această alungire este de 0,2% și atunci notația este $R_{p0,2}$

$$R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{S_0}, [\text{N/mm}^2] \quad (3.6)$$

- Limita de curgere remanentă (pentru o alungire remanentă prescrisă), notată R_r , reprezentând raportul între sarcina corespunzătoare unei alungiri remanente (la descărcarea epruvetei) prescrise și aria secțiunii transversale inițiale a epruvetei. Alungirea remanentă prescrisă se menționează ca indice la R_r ; în cazul oțelurilor, uzual, alungirea remanentă este 0,2%, astfel că limita de curgere remanentă se notează cu $R_{r0,2}$

$$R_{r0,2} = \frac{F_{r0,2}}{S_0}, [\text{N/mm}^2] \quad (3.7)$$

Pe măsură ce se deformează gradul de deformare plastică în zona de curgere, metalul se ecruisează și de aceea, forța necesară deformării epruvetei începe să crească; punctul D (fig. 3.11) al caracteristicii corespunde sarcinii maxime din timpul încercării F_{max} , iar zona aflată înaintea punctului D se numește zonă de ecruisare (de întărire). În această fază a încercării se observă destul de bine variații uniforme de lungime ale epruvetei, pe măsura creșterii forței (creștere care, în raport cu creșterea lungimii, este de câteva sute de ori mai lentă decât în zona elastică). La un moment dat, într-o anumită porțiune a epruvetei apare o subțiere (gâtuire), care se accentuează destul de rapid; deformarea în continuare a epruvetei se efectuează numai în zona gâtuirii și la forțe tot mai mici (deoarece secțiunea epruvetei scade continuu). Epruveta se rupe la o forță denumită sarcină ultimă, F_u , corespunzătoare punctului E de pe curba caracteristică. Porțiunea DE se numește zona de curgere locală.

Materialul a cărui comportare a fost descrisă mai înainte și a cărui curbă caracteristică arată ca în fig. 3.11a, se numește ductil, proprietatea de ductilitate caracterizează faptul că ruperea este însoțită de deformații plastice mari. Ductile sunt și materialele ale căror curbe caracteristice au forma din fig. 3.11b (fără palier de curgere); în această categorie intră cuprul, aluminiul, plumbul și altele.

În cazul multor materiale, cum ar fi oțelurile pentru arcuri, unele oțeluri călite, fonta și altele, ruperea epruvetei se face brusc, cu producerea unor gătuiri neînsemnate, care nu se observă în mod obișnuit. Aceste materiale se numesc fragile; curba lor caracteristică are forma din fig. 3.11c; și materialele fragile au o alungire la rupere, dar aceasta este foarte redusă (sub 2%, uneori chiar sub 1%). La încercarea la tracțiune a unui material fragil, forța maximă și forța ultimă din epruvetă sunt identice.

2.2.9.2 Definirea și clasificarea oțelurilor microaliate cu limită de curgere ridicată

Oțelurile cu limită de curgere ridicată supranumite și oțeluri „HSLA” de la denumirea în limba engleză: High Strength Low Alloy sunt oțeluri care se definesc prin următoarele proprietăți mecanice și tehnologice:

- limită de curgere cu valori cuprinse în intervalul: 300-900 N/mm², determinată pe probe forjate sau laminate (fără tratament termic);

- sudabilitate și deformabilitate la rece foarte bună. Aceste oțeluri pot fi clasificate după criteriile referitoare la structură, compoziție chimică și proprietăți tehnologice, în următoarele trei clase:

- oțeluri microaliate ferito-perlitice cu limită de curgere ridicată;
- oțeluri microaliate cu ferită aciculară și limită de curgere ridicată;
- oțeluri microaliate cu deformabilitate îmbunătățită și limită de curgere ridicată.

Oțeluri din primele două clase mai sunt numite și oțeluri cu dispersoizi iar oțelurile din cea de a treia clasă mai poartă denumirea de oțeluri „dual-phase” după denumirea lor din literatura americană.

Proprietățile mecanice principale și capacitatea de deformare prin îndoire sunt prezentate în tabelul 3.63. Tratamentul termic de detensionare efectuat la temperaturi mai mari de 580 °C poate determina o scădere severă a acestor proprietăți mecanice. Oțelurile microaliate ferito-perlitice sunt aliate cu Mn în proporție de maxim 1,5% pentru o rezistență mecanică corespunzătoare și pentru a se limita călibilitatea și a evita formarea bainitei.

Tabelul 3.62 Compoziția chimică determinată pe oțel lichid a mărcilor de oțeluri cu limită de curgere ridicată, SR EN 10149:1998

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, în % de masă										
		C (max)	Mn	Si (max)	P (max)	S (max)	Al _{total} (max)	Nb	V	Ti	Mo	B
1.	S315MC	0,12	1,30	0,50	0,025	0,020	0,015	0,09	0,20	0,15		
2.	S355MC	0,12	1,50	0,50	0,025	0,020	0,015	0,09	0,20	0,15		
3.	S420MC	0,12	1,60	0,50	0,025	0,015	0,015	0,09	0,20	0,15		
4.	S460MC	0,12	1,60	0,50	0,025	0,015	0,015	0,09	0,20	0,15		
5.	S500MC	0,12	1,70	0,50	0,025	0,015	0,015	0,09	0,20	0,15		
6.	S550MC	0,12	1,80	0,50	0,025	0,015	0,015	0,09	0,20	0,15	0,50	0,005
7.	S600MC	0,12	1,90	0,50	0,025	0,015	0,015	0,09	0,20	0,22	0,50	0,005
8.	S650MC	0,12	2,00	0,60	0,025	0,015	0,015	0,09	0,20	0,22	0,50	0,005
9.	S700MC	0,12	2,10	0,60	0,025	0,020	0,015	0,09	0,20	0,22	—	—
10.	S315NC	0,16	1,40	0,50	0,025	0,020	0,015	0,09	0,10	0,15	—	—
11.	S355NC	0,18	1,60	0,50	0,025	0,020	0,015	0,09	0,10	0,15	—	—
12.	S420NC	0,20	1,60	0,50	0,025	0,020	0,015	0,09	0,10	0,15	—	—

Tabelul 3.63 Proprietăți mecanice și tehnologice ale mărcilor de oțeluri cu limită de curgere ridicată pentru deformare la rece, SR EN 10149:1998

Nr. crt.	Marca de oțel simbolizare alfanumerică	Rezistența la tracțiune [N/mm ²]	Rezistență a la tracțiune R _m [N/mm ²]	Alungire la rupere, [%]		Îndoire la 180° cu diametrul (t) minim de (mm)
				Grosimea nominală < 3 mm L ₀ - 80 mm	Grosimea nominală > 3 mm L ₀ = 5.65 √S ₀ mm	
1.	S315MC	315	390-510	20	24	0,5 t
2.	S355MC	355	430-550	19	23	0,5 t
3.	S420MC	420	480-620	16	19	0,5 t
4.	S460MC	420	520-670	14	17	1 t
5.	S500MC	500	550-700	12	14	1 t
6.	S550MC	550	600-760	12	14	1,5 t
7.	S600MC	600	650-820	11	13	1,5 t
8.	S650MC	650	700-800	10	12	2 t
9.	S700MC	700	750-910	10	12	2 t

Structura oțelurilor microaliate ferito-perlitice cu limită de curgere ridicată este formată preponderent din ferită poligonală cu grăunți fini, durificată prin precipitare. Mărimea medie a grăunților de ferită este de cca. 8-12 um și depinde în mare măsură de viteza de răcire și de unele particularități tehnologice analizate în subcapitolul 3.3.

Oțelurile microaliate cu ferită aciculară și limită de curgere

ridicată reprezintă o altă clasă de oțeluri nestandardizată în România ce se caracterizează printr-o structură formată dintr-o matrice feritică cu grăunți aciculari, având limita de elasticitate cuprinsă între 450 și 650 MPa. Compoziția chimică a acestor oțeluri pentru principalele elemente de aliere este: C = 0,03-0,12%; Mn = 2,0-4,5%; Nb = 0,02-0,06%. Această compoziție determină călibilitatea necesară întârzierii formării feritei poligonale și obținerea unei ferite asemănătoare bainitei superioare cu deosebirea că datorită conținutului scăzut de carbon, lipsesc plachetele fragilizante de carburi dintre plăcile de ferită.

Oțelurile microaliate cu ferită aciculară și limită de curgere ridicată sunt utilizate în principal la obținerea conductelor amplasate în medii cu temperaturi scăzute.

Oțelurile microaliate cu deformabilitate îmbunătățită (Dual Phase) sunt oțeluri cu deformabilitate superioară oțelurilor microaliate ferito-perlitice și celor cu ferită aciculară, caracterizate printr-o structură formată din două faze, obținute prin tratament termic, ce oferă oțelurilor alungire la rupere de până la 30% și o rezistență la tracțiune de până la 1050 N/mm². Structura acestor oțeluri formată dintr-o matrice de ferită fină și ductilă și separări izolate de martensită se obține printr-o succesiune de tratamente termice și deformări plastice ce sunt prezentate în subcapitolul 3.3.

O particularitate a acestor oțeluri este conferită de alura curbei de tracțiune (figura 3.13), care nu prezintă palierul caracteristic deformării eterogene (palierul Luders) la care se propagă o mică zonă deformată plastic, având astfel o stare bună a suprafeței, fără limite Piobert-Luders.

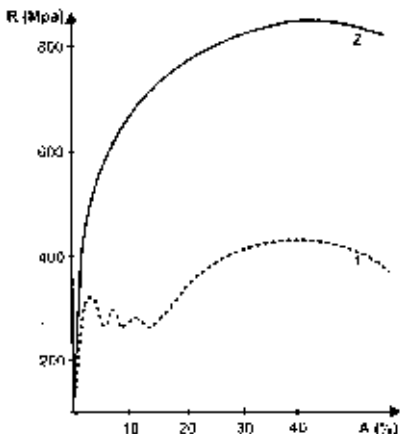


Fig. 3.13 Configurația curbelor de tracțiune ale unor oțeluri cu 0,1% C
 1 - oțel cu limită la curgere ferito-perlitic;
 2 - oțel cu deformare îmbunătățită și limită de curgere ridicată „dual phase”.

Pe lângă mărcile de oțeluri cu limită de curgere ridicată reglementate de Standardul Român SR EN 10149:1998 mai sunt

utilizate mărci de oțeluri cu limită de curgere ridicată, livrate în stare îmbunătățită reglementate de standardele: STAS R532-85 și STAS 9021-89. Compoziția chimică a mărcilor din standardele de stat, care sunt valabile până la înlocuirea lor cu standardele române, este prezentată în tabelul 3.44. Mărcile de oțel, C500 și C690, aliate cu Mn, Mo, Ni, V, sunt din clasa de limită de curgere 500 N/mm² și respectiv 690 N/mm². Valorile minime ale caracteristicilor mecanice la tracțiune obținute în stare călită și revenită sunt prezentate în tabelul 3.45. Aceste oțeluri prezintă un raport mic între limita de curgere și rezistența la rupere ($R_{p0,2}/R_m$) (400/530).

Tenacitatea oțelurilor cu limită de curgere ridicată livrată în stare îmbunătățită, pentru grosimi de produs sub 25 mm, este apropiată de cea a oțelurilor cu granulație fină, într-un domeniu de temperaturi comparabil. Caracteristicile de duritate și tenacitate ale zonei de influență termică la sudare sunt ilustrate în figura 3.13.

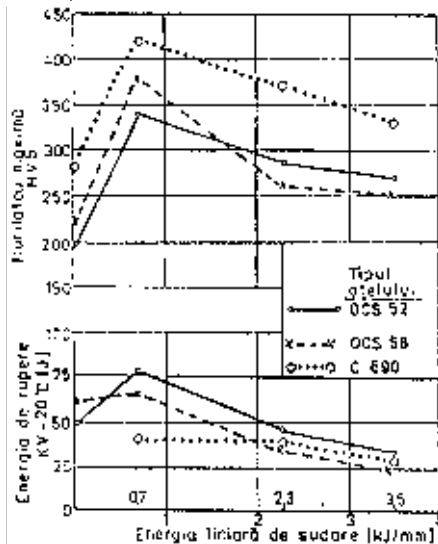


Fig. 3.13 Variația durității și tenacității zonei de influență termică la produsele plate din oțel OCS552, OCS555 și C690

Alegerea corectă a materialelor pentru sudare (calitatea electrodului și a fluxului de sudare), precum și a condițiilor tehnologice de sudare permite obținerea în îmbinarea sudată a unor caracteristici mecanice apropiate de cele ale metalului de bază, fără a mai fi necesar tratamentul termic după sudare.

Tabelul 3.64 Compoziția chimică a oțelurilor cu limită de curgere ridicată, în stare îmbunătățită, STAS R 532-85, STAAS 9021-89

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, în % de masă											
		C	Mn	Si	Smax	Pmax	Cr	Ni	Mo	Ti	V	w	Alte elem.
1.	C420	<0,20	1,10-1,60	0,15-0,40	0,02	0,02	—	<0,70	—	—	—	—	—
2.	C440	<0,22	1,20-1,60	0,20-0,50	0,02	0,02	—	<0,70	—	—	<0,15	—	
3.	C500	<0,20	1,20-1,60	0,15-0,40	0,02	0,02	—	<0,80	—	—	<0,08	B < 0,006	
4.	C620	<0,20	1,00-1,60	0,10-0,40	0,02	0,02	—	£ 1,00	—	—	<0,08	Cu < 0,50 B < 0,006	
5.	C690A	0,10-0,20	0,60-1,00	0,15-0,35	—	—	<0,65	< 1,00	< 0,60	—	—	B < 0,005	
6.	C690B	0,10-0,20	0,4-0,70	0,10-0,40	—	—	<2,00	—	2 0,60	<0,10	—	—	

Tabelul 3.65 Proprietăți mecanice ale oțelurilor cu limită de curgere ridicată, în stare îmbunătățită, STR 532-85, STAS 9021-89

Nr. crt.	Limita de curgere* [N/mm ²]		Rezistența la rupere [N/mm ²]	Alungirea la rupere A5%
	e < 50	e > 50		
1.	420	400	530-680	19
2.	440	—	560-730	17
3.	500	480	620-770	17
4.	620	600	740-890	16
5.	690	620	760-895	16
6.	690	620	795-930	16

Mărcile de oțeluri C420, C440, C500, C620, C690A, C690B sunt destinate elementelor pentru construcții metalice și mecanice foarte puternic solicitate calculate pentru a valorifica limita de curgere foarte ridicată. Dintre aceste construcții cele mai reprezentative sunt: șasiurile de mijloace de transport, stâlpi de hale industriale cu deschidere mare, recipienti cu pereți foarte groși, picioare pentru platforme de foraj marin.

3.2.10 Oțeluri inoxidabile

3.2.10.1 Definirea și clasificarea oțelurilor inoxidabile

Mărcile de oțel inoxidabil folosite pe plan național sunt reglementate atât prin standardele române SR EN 10088:1997 cât și prin standardele de stat (STAS) valabile încă până la înlocuirea lor cu noile SR EN-uri.

Conform standardului SR EN 1088:1997, oțelurile care conțin cel puțin 10,5% Cr și max. 1,2% C sunt considerate oțeluri inoxidabile dacă prin rezistența lor la coroziune este de importanță majoră, în acest standard se intenționează să se includă și oțelurile rezistente la fluaj și oțelurile refractare.

Oțelurile inoxidabile se clasifică, conform SR EN 1088-1:1997, în funcție de structura și compoziția chimică după cum urmează:

- oțeluri feritice semiferitice și martensitice;
- oțeluri feritice și semiferitice;
- oțeluri martensitice;
- oțeluri durificate prin precipitare;
- oțeluri austenitice;
- oțeluri austenito-feritice (Duplex);
- oțeluri rezistente la fluaj;
- oțeluri refractare.

Conform standardelor de stat oțelurile inoxidabile, sunt: oțeluri aliate care conțin 12% Cr cu sau fără adaosuri de nichel, molibden, aluminiu, vanadiu, titan, niobiu, cu structură feritică (sub 0,1% C și 13...30%Cr), martensitică (0,1...0,9%C și 13...18%Cr) și austenitică (sub 0,12% C, 17...25%Cr și 8...27% Ni) obținute prin deformare plastică la cald: 7AlCr130; 8CM70; 8TiCr170; 2TiMoCr180; 1MoCr260 (feritice); 10Cr130; 20Cr130; 30Cr130; 40Cr130; 20MoCr130; 35MoCr165; 45VMoCr145; 90VMoCr180; 10NiMoNiCr175; 12NNiMnCr1.80; 2MoNiCr175; 2CuMoCrNi250; 2NbNiCr250 (austenitice) - STAS 3583-87 sau prin turnare: T15CM70; T15Cr280 (feritice); T6NiCr180; T6MoNiCr180; T10NiCr180; T10MoNiCr180;

T15NiCr180; T15MoNiCr180; T6CuMoNiCr200 (austenitice) - STAS 10718-88.

Caracteristica principală a acestor oțeluri este rezistența lor mare la eroziune. Rezistența la coroziune a oțelurilor inoxidabile este conferită de crom sau de crom și nichel. Adăugarea și a altor elemente se face pentru a se îmbunătăți rezistența la coroziune în medii umede (molibden și cupru), rezistența la oxidare la temperaturi înalte (siliciu, aluminiu și wolfram și molibden), caracteristicile mecanice la temperaturi înalte și joase (wolfram, molibden niobiu și cobalt). Oțelurile inoxidabile, de regulă, se utilizează la temperaturi de până la 800 °C.

Din punct de vedere al compoziției chimice, mărcile de oțel inoxidabil, folosite pe plan-național sunt echivalente cu cele din SR EN 19088:1997, cu unele neconcordanțe la elementele de aliare. În tabelul 3.66 este prezentată corespondența dintre mărcile de oțel inoxidabil din standardul național cu cele din SR EN 1088-1:1995.

Tabelul 3.66 Corespondența dintre mărcile de oțel inoxidabile utilizate pe plan național

STAS 3583-87	SR EN 10088-1:1997
Oțeluri feritice	
7AlCM30	X6CrA113
8CM70	X6Cr17
8TiCr170	X3CrTi17
2TiMoCr 180	X2CrMoTi 18
1MoCr260	—
Oțeluri martensitice	
10Cr130	X12CM3
20CM30	X20CM3
30Cr130	X30CM3
40CM30	X39CM3
20MoCr130	—
35MoCr165	—
45VMoCr145	X50CrMoV 15
90VMoCr180	—
22NiCr170	17CrNi 16-2
Oțeluri austenitice	
2NiCr185	X2CrNi 18-9
5NiCr 180	X5CrNi18-10
10TiNiCr 180'	X6CrNiTi 18-10
10TiMoNiCM80	X6CrNiMoTi 17-12-2
12NNiMnCr	—
2MoNiCr175	XCrNiMo 17-13-3
2CuMoCrNi 250	XINiCrMoCu 25-20-5
2NbNiCr 250	—

Tabelul 3.67 Compoziția chimică a mărcilor de oțeluri inoxidabile conform STAS 3583-87

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %										Mărcare	Obs.	
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V			W
OTELURI AUSTENITICE														
1.	2NiCr185	≤0,03	≤2,0	≤1,0	0,03	0,035	18,0-20,0	10,0-12,5	—	—	—	—	(a)XCS	—
2.	5NiCr180	≤0,07	≤2,0	≤1,0	0,03	0,035	17,0-19,0	8,5-10,5	—	—	—	—	(a)XC	—
3.	10TiNiCr180	≤0,08	≤2,0	≤1,0	0,03	0,035	17,0-19,0	9,0-12,0	—	0,4-0,8	—	—	(a)XT	—
4.	10TiMoNiCr175	≤0,08	≤2,0	≤1,0	0,03	0,035	16,5-18,5	10,5-13,5	2,0-2,5	0,4-0,8	—	—	(a)XN	—
5.	12NNiCr180	≤0,15	7,5-10,0	≤1,0	—	—	17,0-19,0	4,0-6,0	—	—	—	N≤0,25	(a)XB	—
6.	2MoNiCr175	≤0,03	≤0,2	≤1,0	0,025	—	17,0-19,0	12,5-15,0	2,5-3,0	—	—	—	(a)XG	—
7.	2NbNiCr250	≤0,03	≤1,0	≤0,4	0,025	0,035	23,0-26,0	19,0-22,0	—	—	—	Nb=0,2-0,3	(a)XV	—
8.	2CuMoCrNi250	≤0,02	≤2,0	≤1,0	0,025	0,035	24,0-27,0	24,0-27,0	—	—	—	Cu=1,2-2,0	(a)XAL	—
OTELURI MARTENSITICE														
9.	10Cr130	0,08-0,12	≤1,0	≤1,0	0,03	0,04	12,0-14,0	—	—	—	—	—	(V)XN	—
10.	20Cr130	0,17-0,25	≤1,0	≤1,0	0,03	0,035	12,0-14,0	—	—	—	—	—	(V)XT	—
11.	30Cr130	0,28-0,35	≤1,0	≤1,0	0,03	0,035	12,0-14,0	—	—	—	—	—	(V)XA	—
12.	40Cr130	0,35-0,42	<1,0	≤1,0	0,03	0,035	12,0-14,0	—	—	—	—	—	(V)XC	—
13.	20MoCr130	0,17-0,22	≤1,0	≤1,0	0,03	0,035	12,0-14,0	≤1,0	0,9-1,3	—	—	—	(V)XP	—
14.	35MoCr165	0,33-0,45	≤1,0	≤1,0	0,03	0,035	15,5-17,5	≤1,0	0,9-1,3	—	—	—	(V)XCS	—
15.	45VmoCr180	0,42-0,5	≤1,0	≤1,0	0,03	0,035	13,8-15,0	—	0,45-0,6	—	0,10-0,15	—	(V)XAL	—
16.	90VmoCr180	0,9-1,0	≤1,0	≤1,0	0,03	0,035	17,0-19,0	—	0,9-1,3	—	0,07-0,12	—	(V)XG	—
17.	50CM80	0,9-1,0	≤1,0	≤1,0	0,03	0,035	17,0-19,0	—	—	—	—	—	(V)XIZ	—
18.	22NiCr170	0,14-0,23	≤1,0	≤1,0	0,03	0,035	15,5-17,5	1,5-2,5	—	—	—	—	(V)XB	—
OTELURI INOXIDABILE, STAS 3583-87. OTELURI FERITICE														
19.	2AlCr130	≤0,08	≤1,0	≤1,0	0,03	0,035	12,0-14,0	—	—	—	—	Al=0,1-0,3	(9)XC	—
20.	8Cr170	≤0,08	≤1,0	≤1,0	0,03	0,035	15,5-17,5	—	—	—	—	—	(9)XV	—
21.	8TiCr170	≤0,08	≤1,0	≤1,0	0,03	0,04	16,0-20,0	—	—	—	—	—	(9)XT	—
22.	2TiMoCr180	≤0,0825	≤1,0	≤1,0	0,03	0,04	17,0-20,0	—	≤0,6	1,8-2,5	0,4-0,8	N<0,025; Zr=0,4-0,8; Nb=0,4-0,8	(g)XN	—
23.	1MoCr260	≤0,08	≤0,4	≤0,4	—	0,02	0,03	25,0-26,0	—	0,75	—	N≤0,015	(g)XA	—

Tabulul 3.68 Proprietățile mecanice ale mărcilor de oțeluri inoxidabile feritice, STAS 3583-87

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice				Parametrii tratamentului termic									
			R _m	R _{p0.2}	AI	KCU	HB	HRC	Recoacere		Normalizare		Călire		Revenire	
			N/mm ² , min.	N/mm ² , min.	% min.	J/cm ² min.	daN/mm ²		T, °C	Mediu	T, °C	Mediu	T, °C	Mediu	T, °C	Mediu
1.	7AlCr130	R 1	250-400	400-600	80-18	—	185	—	750-800	u, a	—	—	950-1000	u, a	650-700	—
2.	8Cr170	R	270	450-600	20	—	185	—	750-800	u, A	—	—	—	—	—	—
3.	8TiCr170	R	270	450-600	20	—	185	—	750-800	u, A	—	—	—	—	—	—
4.	2TiMoCr180	R	275	412	20	—	217	—	800-1050	u, A	—	—	—	—	—	—
5.	1MoCr260	R	245	412	22	—	190	—	900-1050	u, A	—	—	—	—	—	—

Tabulul 3.69 Proprietățile mecanice ale mărcilor de oțeluri inoxidabile austenitice, STAS 3583-87

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice						Parametrii tratamentului termic							
			Rn0.2	Rm	AI	KCU	HB	HRC	Recoacere		Normalizare		Călire		Revenire	
			N/mm ² , min.	N/mm ² , min.	% min.	J/cm ² min.	daN/mm ²		T, °C	Mediu	T, °C	Mediu	T, °C	Mediu	T, °C	Mediu
1.	2NiCr185	c	180	50-480	45	85	—	—	—	—	—	—	1020-1100	A, a	—	—
2.	5NiCr180	C	195	500-700	45	85	—	—	—	—	—	—	1020-1100	A, a	—	—
3.	10TiNiCr175	c	200	500-730	40	85	—	—	—	—	—	—	1020-1100	A, a	—	—
4.	10TiMoNiCr175	c	210	500-730	35	85	—	—	—	—	—	—	1020-1100	A, a	—	—
5.	12NiNiMoCr180	c	300	640-830	40	—	—	—	—	—	—	—	1000-1100	A, a	—	—
6.	2MoNiCr175	c	190	490-690	45	85	—	—	—	—	—	—	1000-1100	A, a	—	—
7.	2NiMoCr250	c	215	480-680	40	—	—	—	—	—	—	—	1020-1100	A, a	—	—
8.	20CuMoCrNi250	c	220	540-740	40	—	—	—	—	—	—	—	1050-1100	A, a	—	—

Tablul 3.70 Proprietățile mecanice ale mărcilor de oțeluri inoxidabile martenitice, STAS 3583-87

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice					Parametrii tratamentului termic								
			R _{0,2} N/mm ² , min.	R _m N/mm ² , min.	AI % min.	KCU J/cm ² min.	HB daN/mm ²	HR C	Recoacere		Normalizare		Călire		Revenire	
									T, °C	Me- diu	T, °C	Me- diu	T, °C	Me- diu	T, °C	Me- diu
1.	100130	RI	250 420	450-650 600-800	20 18	170 100	200	—	750- 800	c, a	—	—	950-1050	u, a	680- 780	a
2.	200130	R	450	740 650- 800	14	80	230	—	730- 780	c, a	—	—	980-1030	u, a	640- 740	a
3.	30CM30	RI	600	780 800- 1000	11	—	245	45	730- 780	c, a	—	—	980-1030	u, a	640- 740	a
4.	40Cr130	RI	—	800 500	—	—	250	55	730- 780	c, a	—	—	980-1030	u, a	100- 200	a
5.	20MoCr130	RI	550	800 750- 900	14	40	235	—	750- 800	c	—	—	950-1000	u	650- 750	a
6.	35MoCr16T	RI	600	950 800- 950	14	40	285	—	750- 800	c	—	—	980-1030	u	650- 750	a
7.	45VmoCr14 5	R	—	900	—	—	280	50	730- 780	c	—	—	980-1030	u, a	100- 200	a
8.	90VmoCr18 0	R	—	900	—	—	265	58- 64	800- 850	c	—	—	1000- 1050	u	100- 300	a
9.	90Cr180	R	—	900	—	—	255	—	800- 850	c	—	—	1000- 1050	u	100- 300	a

Tabelul 3.71 Compoziția chimică (analiza pe oțel lichid) a oțelurilor inoxidabile feritice, SR EN 1988-1:1997

Marcă de oțel		%											
Simbolizare alfanumerică	Simbolizare numerică	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S	N max.	Cr	Mo	Nb	Ni	Ti	Altele
X2CrNi12	1,4003	0,030	1,00	1,50	0,040	≤0,015	0,030	10,50-12,50			0,30-1,00		
X2CrTi12	1,4512	0,030	1,00	1,00	0,040	≤0,015		10,50-12,50				6x(C+N) ...0,65	
X6CrNiTi12	1,4516	0,08	0,70	1,50	0,040	≤0,015		10,50-12,50			0,50-1,50	0,05...0,35	
X6CM3	1,4000	0,08	1,00	1,00	0,040	≤0,015		12,00-14,00					
X8CrAl13	1,4002	0,08	1,00	1,00	0,040	≤0,015		12,00-14,00					Al: 0,10...0,30
X2CrTi17	1,4520	0,025	0,50	0,50	0,040	≤0,015	0,015	16,00-18,00				0,30...0,60	
X8CM7	1,4016	0,08	1,00	1,00	0,040	≤0,015		16,00-18,00					
X3CrTi17	1,4510	0,05	1,00	1,00	0,040	≤0,015		16,00-18,00				4x(C+N))>0,15< Ti<0,80	
X3CrNb17	1,4511	0,06	1,00	1,00	0,040	≤0,015		16,00-18,00		12xC-1			
X6CrMo17/1	1,4113	0,08	1,00	1,00	0,040	≤0,015		16,00-18,00	0,90-1,40				
X6CrMoS17	1,4105	0,08	1,50	1,050	0,040	0,15...0,35		16,00-18,00	0,20-0,60				
X2CrMoTi17	1,4513	0,025	1,00	1,00	0,040	≤0,015	0,015	16,00-18,00	1,00-1,50			0,30-0,60	

X2CrMoTi1 8-2	1,4521	0,025	1,00	1,00	1,00	0,040	≤0,015	0,030	17,00- 20,00	1,80- 2,50			4x(C+N))+0,15< Ti≤0,80	
X2CrMoTiS 18-2*	1,4523	0,030	1,00	0,50	0,040	0,040	0,15...0 ,35		17,50- 19,00	2,00- 2,50			(C+N)S 0,40	
X6CrNi17- 1*	1,4017	0,08	1,00	1,00	0,040	0,040	≤0,015		16,00- 18,00		1,20- 1,60			
X6CrMoNb 17-1*	1,4526	0,08	1,00	1,00	0,040	0,040	≤0,015	0,040	16,00- 18,00	0,80- 1,40		7c(C+N))+0,10≤ Nb≤1		
X2CrNbZr1 7	1,4590	0,030	1,00	1,00	0,040	0,040	≤0,015		16,00- 18,00			0,35...0 55		Zr>7(C +N)+0, 15
X2CrAlTi18 -2	1,4605	0,030	1,00	1,00	0,040	0,040	≤0,015		17,00- 18,00				4x(C+N))+0,15≤ Ti≤0,80	Al: 1,70...2 ,10
X2CrTiNb1 8	1,4509	0,030	1,00	1,00	0,040	0,040	≤0,015		17,50- 18,50			3xC+0, 30≤Nb≤ 1,00	0,10...0 ,60	
X2CrMoTi2 9-4	1,4592	0,025	1,00	1,00	0,030	0,030	≤0,010	0,045	28,00- 30,00	3,50- 4,50			4x(C+N))+0,15≤ Ti≤0,80	

Tabelul 3.72 Compoziția chimică (analiza pe oțel lichid) a oțelurilor inoxidabile martensitice și durificate prin precipitare, SR EN 1088-1:1997

Marcă de oțel		%										
Simbolizare alfanumerică	Simbolizare numerică	C	Si max.	Mn max.	P max.	S	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Alteie
X12Cr13	1,4006	0,08...0,15	1,00	1,50	0,040	≤0,015	11,50...13,50				≤0,75	
X12CrS13	1,4005	0,08...0,15	1,00	1,50	0,040	0,15...0,35	12,00...14,00		≤0,60			
X20Cr13	1,4021	0,16...0,25	1,00	1,50	0,040	≤0,015	12,00...14,00					
X30Cr13	1,4028	0,26...0,35	1,00	1,50	0,040	≤0,015	12,00...14,00		≤0,60			
X29XCrS13	1,4029	0,25...0,32	1,00	1,50	0,040	0,15...0,25	12,00...13,50					
X39Cr13	1,4031	0,38...0,42	1,00	1,50	0,040	≤0,015	12,50...14,50					
X48CM3	1,4034	0,43...0,50	1,00	1,50	0,040	≤0,015	12,50...14,50					
X50CrMoV15	1,4116	0,45...0,56	1,00	1,50	0,040	≤0,015	14,00...15,00					V=0,10...0,20
X70CrMo15	1,4109	0,65...0,75	1,00	1,50	0,040	≤0,015	14,00...16,00		0,40...0,80			
X14CrMoS17	1,4104	0,10...0,17	1,00	1,50	0,040	0,15...0,35	15,50...17,50		0,20...0,60			
X39CrMo17-1	1,4122	0,35...0,45	1,00	1,50	0,040	≤0,015	15,50...17,50		0,80...1,30		< 1,00	
X105CrMo17	1,4125	0,95...1,20	1,00	1,00	0,040	≤0,015	16,00...18,00		0,40...0,80			
X90CrMoV18	1,4112	0,85...0,95	1,00	1,00	0,040	≤0,015	17,00...19,00		0,90...1,30			V=0,07...0,12

X17CrNi16-2	1,4057	0,12...0,22	1,00	1,50	0,040	≤0,015	15,00...17,00				1,50...2,50	
X3CrNiMo13-4	1,4313	≤0,05	0,70	1,50	0,040	≤0,015	12,00...14,00		0,30...0,70		3,50...4,50	N > 0,020
X4CrNiMo16-5-1	1,4418	≤0,06	0,70	1,50	0,040	≤0,015	15,00...17,00		0,80...1,50		4,00...8,00	N ≤ 0,020
X5CrNiCuNb16-4	1,4552	≤0,07	0,70	1,50	0,040	≤0,015	15,00...17,00	3,00...5,00	≤0,60	5xC...0,45	3,00...5,00	
X7CrNiAl17-7	1,4588	≤0,09	0,70	1,00	0,040	≤0,015	16,00...18,00				6,50...7,80	Al=0,70...1,50
X5CrNiMoA115-7-2	1,4532	≤0,010	0,70	1,20	0,040	≤0,015	14,00...16,00		2,0...3,0		6,50...7,80	Al=0,70...1,50
X5CrNiMoCuNb14-5	1,4594	≤0,07	0,70	1,00	0,040	≤0,015	13,00...15,00	1,20...2,00	1,20...2,00	0,15...0,60	5,00...6,00	

Tabulul 3.73 Compoziția chimică analizată pe oțel lichid, a oțelurilor inoxidabile austenitice, SR EN 1088-1:1997

Marcă de oțel		%											
Simbolizare alfanumerică	Simbolizare numerică	C	Si	Mn	P max.	S	N	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Ti
X10CrNi18-8	1.4310	0,05-0,15	≤2,00	≤2,00	0,045	≤0,015	≤0,11	16,0-19,0				6,0-9,50	
X2CrNiM18-7	1.4318	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,10-0,20	16,5-18,5				6,0-8,0	
X2CrNi18-9	1.4307	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,11	17,5-19,5				8,0-10,0	
X2CrNi19-11	1.4306	≤0,030	≤1,00	<2,00	0,045	≤0,015	0,11	18,0-20,0				10,00-12,00	
X2CrNiM18-10	1.4311	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,12-0,22	17,0-19,5				8,50-11,5	
X5ONiH8-10	1.4301	≤0,07	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,11	17,0-19,5				8,0-10,50	
X8CrNiS18-9	1.4305	≤0,10	≤1,00	<2,00	0,045	0,15-0,35	+0,11	17,0-19,0	≤1,00			8,0-10,0	
X6CrNiTi18-10	1.4541	≤0,08	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015		17,0-19,0				9,0-12,0	5xC-0,70
X6CrNiM18-10	1.4550	≤0,08	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015		17,0-19,0			10xC-1,0	9,0-12,0	
X4CrNi18-12	1.4303	≤0,06	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,11	17,00-19,00				11,00-13,00	
X1CrNi25-21	1.4335	≤0,020	≤0,25	≤2,00	0,045	≤0,010	0,11	24,00-26,00		≤0,20		20,00-22,00	
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,11	16,50-18,50		2,00-2,50		10,00-13,00	
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	<0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,12-0,22	16,50-18,50		2,00-2,50		10,00-12,00	
X5CrNiyo17-12-2	1.4401	≤0,07	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,11	16,50-18,50		2,00-2,50		10,00-13,00	
X1CrNiMoN25-22-2	1.4466	≤0,020	≤0,70	≤2,00	0,025	≤0,015	0,10-0,16	24,00-26,00		2,00-2,50		21,00-23,00	
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	≤0,08	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015		16,50-18,50		2,00-2,50		10,50-13,50	5xC-0,70
X6CrNiMoN17-12-2	1.4580	≤0,08	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015		16,50-18,50		2,00-2,50	10x01,00	10,50-13,50	
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,11	16,50-18,50		2,50-3,00		10,50-13,00	
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	<0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,12-0,22	16,50-18,50		2,50-3,00		11,00-14,00	
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	≤0,05	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,11	16,50-		2,50-3,00		10,50-	

X2CrNiMo17-14-3	1,4435	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,010	0,11	18,50					13,00
X2CrNiMoN18-12-4	1,4434	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,10-0,20	17,00- 19,00			2,50-3,00		12,50- 15,00
X2CrNiMo18-15-4	1,4438	<0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	<0,015	0,11	16,50- 19,50			3,00-4,00		10,50- 14,00
X2CrNiMoN17-13-5	1,4439	≤0,030	≤1,00	≤2,00	0,045	<0,015	0,12-0,22	17,50- 19,50			3,00-4,00		13,00- 16,00
X1 CrNiSi18-15-4	1,4361	≤0,015	3,70-4,50	≤2,00	0,045	≤0,015	0,11	16,50- 18,50			4,00-5,00		12,50- 14,50
X12CrMnNi17-7-5	1,4372	≤0,15	≤1,00	5,50-7,50	0,045	≤0,015	0,05-0,25	16,00- 18,00			≤0,20		14,00- 16,00
X2CrMnNi17-7-5	1,4371	≤0,030	≤1,00	6,00-8,00	0,045	≤0,015	0,15-0,20	16,00- 17,00					3,50-5,50
X12CrMnNi18-9-5	1,4373	≤0,15	≤1,00	7,50- 10,50	0,045	≤0,015	0,05-0,25	17,00- 19,00					4,00-6,00
X3CrNiCu19-9-2	1,4560	≤0,035	≤1,00	1,50-2,00	0,045	≤0,015	0,11	18,00- 19,00			1,50-2,00		8,00- 9,50
X6CrNiCuS 18-9-2	1,4570	≤0,08	≤1,00	≤2,00	0,045	0,15-0,35	0,11	17,00- 19,00			1,40-1,80		8,00- 10,00
X3CrNiCu18-9-4	1,4567	≤0,04	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,015	0,11	17,00- 19,00			3,00-4,00		8,50- 10,50
X3CrNiCuMo17-11-3-2	- 1,4578	≤0,04	≤1,00	≤1,00	0,045	≤0,015	0,11	16,50- 17,50			3,00-3,50	2,00-2,50	10,00- 11,00
X1NiCrMoCu31-27-4	1,4563	≤0,020	≤0,70	≤2,00	0,030	≤0,010	0,11	26,0028, 00			0,70-1,50	3,00-4,00	30,00- 32,00
X1 NiCrMoCu25-20-5	1,4539	≤0,020	≤0,70	≤2,00	0,030	≤0,010	0,15	19,00- 21,00			1,20-2,00	4,00-5,00	24,00- 26,00
X1CrNiMoCuN25-25-5	1,4537	≤0,020	≤0,70	≤2,00	0,030	≤0,010	0,17-0,25	24,00- 26,00			1,00-2,00	4,70-5,70	24,00- 27,00
X1CrNiMoCuN20-18-7-1	1,4547*	≤0,020	≤0,70	≤1,00	0,030	≤0,010	0,18-0,25	19,50- 20,50			0,50-1,00	6,00-7,00	17,50- 18,50
X1 NiCrMoCuN25-20-7	1,4529	≤0,020	≤0,50	≤1,00	0,030	≤0,010	0,15-0,25	19,00- 21,00			0,50-1,50	6,00-7,00	24,00- 26,00

Tabelul 3.74 Compoziția chimică analizată pe oțel lichid, a oțelurilor austenito-feritice, SR EN 1088-1:1997
 Marcă de oțel

Simbolizare alfanumerică	Simbolizare numerică	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	N	Cr	Cu	Mo	Ni	W
X2CrNiN23-4*	1,4362*	0,030	1,00	2,00	0,03 5	0,01 5	0,05- 0,20	22,00- 24,00	0,10-0,60	0,10-0,60	3,50- 5,50	
X3CrNiMoN27-5-2	1,4460	0,050	1,00	2,00	0,03 5	0,01 5	0,05- 0,20	25,00- 28,00		1,30-2,00	4,50- 6,50	
X2CrNiMoN22-5-3	1,4462	0,030	1,00	2,00	0,03 5	0,01 5	0,10- 0,22	21,00- 23,00		2,50-3,50	4,50- 6,50	
X2CrNiMoCuN25-6-3	1,4507	0,030	0,70	2,00	0,03 5	0,01 5	0,15- 0,30	24,00- 26,00	1,00-2,50	2,70-4,00	5,50- 7,50	
X2CrNiMoN25-7-4	1,4410*	0,030	1,00	2,00	0,03 5	0,01 5	0,20- 0,35	24,00- 26,00		3,00-4,50	6,00- 8,00	
X2CrNiMoCuWN25-7-4	1,4501	0,030	1,00	1,00	0,03 5	0,01 5	0,20- 0,30	24,00- 26,00	0,50-1,00	3,00-4,00	6,00- 8,00	0,50-1,00

Tabelul 3.75 Proprietățile mecanice la temperatura ambiantă a oțelurilor ferritice în stare recoaptă și rezistența la coroziune intergranulară, SR EN 1088-2:1997

Marcă de oțel		Produs	Grosime mm, max.	Limită de curgere,		Rezistența la tracțiune, R _m , N/mm ²	Alungire la rupere		Rezistența la coroziunea intergranulară	
Simbolizare alfanumerică	Simbolizare numerică			N/mm ² min. (long)	N/mm ² min. (tr)		A ₅₀ mm < 3 mm grosime, % min. (long + tr)	A > 3 mm grosime, % min. (long + tr)	în stare de livrare	după sudură
Mărci standardizate										
X2CrNi12	1,4003	C	6	250	320	450...650	20	nu	nu	nu
		H	12	250	280		18			
		P	25	210	220		25			
X2CrTi12	1,4512	C	6			380...560		nu	nu	nu
		H	12							
		C	6				23			
X6CrNiTM2	1,4516	H	12	280	320	450...650		nu	nu	nu
		P	25	250	280		20			
		C	6	240	250					
X6CrM3	1,4000	H	12	220	230	400...600		nu	nu	nu
		P	25	220	230		19			
		C	6	230	250					
X6CrAl13	1,4002	H	12	210	230	400...600		nu	nu	nu
		P	25	210	230		17			
		C	6	260	280					
X6Cr17	1,4016	H	12	240	260	450...600		da	da	nu
		P	25	240	260		20			
		C	6	240	260		18			
X3CrTi17	1,1510	H	12	230	240	130...630		da	da	nu
		P	25	230	240		20			
		C	6	230	240		23			
X3CrNb17- X6CrMo17-	1,4511 1,4113	C	6	230	240	420...600		da	da	da
		C	6	260	280		23			
		C	6	260	280		18			

1		H	12										
X2CrMoTi1 8-2	1,4521	C	6	300	320	420...640	20	da	da	da	da	da	da
		H	12	280	300	400..600							
		P	25	280	300	420...620							
Mărci speciale													
X2CrTi17	1,4520	C	6	180	200	380-530	24	da	da	da	da	da	da
X2CrMoTi1 7-1	1,4513	C	6	200	220	400-550	23	da	da	da	da	da	da
X6CrNi17-1	1,4017	C	6	480	500	650-750	12	da	da	da	da	da	nu
X6CrMoNb1 7-1	1,4526	c	6	280	300	430-560	25	da	da	da	da	da	da
X2CrNbZr1 7	1,4590	c	6	230	250	400-550	23	da	da	da	da	da	da
X2CrAlTi18- 2	1,4605	c	6	280	300	500-650	25	da	da	da	da	da	da
X2CrTiNb18	1,4509	c	6	230	250	430-630	18	da	da	da	da	da	da
X2CrMoTi2 9-4	1,4592	c	6	430	450	550-700	20	da	da	da	da	da	da

Tabelul 3.76 Proprietăți mecanice la temperatura ambiantă a oțelurilor austenitice în stare de călire de punere în soluție și rezistența la coroziunea intergranulară, SR EN 10088-2:1997

Simbolizarea oțelului	Num e rică	Pro- dus	Grosime mm, max.	Limită de curgere		Rezistența la tracțiune N/mm ²	Alungirea la rupere		Energia de rupere prin șoc (ISO-V) KV		Rezistența la coroziune intergranulară ⁷⁾	
				R _{p0.2}	R _{p1.0}		A _{g0mm} 3 mm grosime, %, min., (tr.)	A _{g3mm} grosime %, min., (tr.)	>10mm grosime, J. min	(long.)	(tr.)	după tratament de sensibilizar e
Mărci standardizate												
X10CrNi18-8	1,43 10	C	6	250	280	600...950	40	40	—	—	nu	nu
		H	12	330	370	680...850	35	40	—	—	da	da
X2CrNiN18-7	1,43 18	P	75	330	370	630...830	45	45	90	60	da	da
		C	6	220	250	520...670	45	45	—	—	da	da
X2CrNi18-9	1,43 07	H	12	200	240	500...650	45	45	90	90	da	da
		P	75	200	240	520...670	45	45	—	—	da	da
X2CrNi19-11	1,43 06	C	6	220	250	520...670	45	45	—	—	da	da
		H	12	200	240	500...650	45	45	90	60	da	da
X2CrNiN18-10	1,43 11	P	75	200	240	500...650	40	40	—	—	da	da
		C	6	290	320	550...750	40	40	90	60	da	da
X5CrNi18-10	1,43	P	75	270	310	540...750	40	40	90	60	da	da
		C	6	230	260	540...750	—	—	—	—	da	da

01	H	12	210	250		45	45	90	60	da	
		75	210	250	520...720	45	45				
X8CrNiS18-9	P	75	190	230	500...700	35	35	—	—	nu	nu
	C	6	220	2S0	520... 720			—	—		da
X5CrNiTi18-10	H	12	200	240		40	40	90	60	da	
	P	75	200	240	500...700			—	—		
X4CrNi18-12	C	6	220	250	600... 850	45	45	—	—	da	nu
	C	6	240	270	530...680	40	40	—	—	da	da
X2CrNiMo17-12-2	H	12	220	260				90	60		
	P	75	220	260	520... 670	45	45	—	—		da
X2CrNiMo17-11-2	C	6	300	330				—	—		
	H	12	280	320	580... 780	40	40	90	60	da	
X5CrNiMo17-12-2	P	75	280	320				—	—		
	C	6	240	270	530...680	40	40	—	—	da	nu
1,4401	H	12	220	260				90	60		
	P	75	220	260	520...670	45	45	—	—	da	

(continuare tabelul 3.76)

Simbolizarea oțelului	Numere rică	Pro- dus	Grosime mm, max.	Limită de curgere		Rezistența la tracțiune N/mm ²	Alungirea ta rupere		Energia de rupere prin șoc (ISO-V) KV >10mm		Rezistența la coroziune intergranulară ⁷⁾	
				R _{90,2}	R _{90,1}		A _{60m} mm 3 mm grosime, %, min., (tr.)	A _{≥3mm} grosim e, %, min., (tr)	(long.)	(tr.)	în stare de livrare	după tratament de sensibilizar e
X6CrNiMoTi17-12-2	1,457 1	C	6	240	270	540...690	40	40	—	—	da	da
		H	12	220	260	520...670	40	40	90	60	da	da
		P	75	220	260							
X2CrNiMo17-12-3	1,443 2	C	6	240	270	550...700	40	40	—	—	da	da
		H	12	220	260	520...670	45	45	90	60	da	da
		P	75	220	260							
X2CrNiMo18-14-3	1,443 5	C	6	240	270	550...700	40	40	—	—	da	da
		H	12	220	260	520...670	45	45	90	60	da	da
		P	75	220	260							
X2CrMMoN17-13-5	1,443 9	C	6	290	320	530...780	35	35	—	—	da	da
		H	12	270	310	530...780	40	40	90	60	da	da
		P	75	270	310							
X1NiCrMoCu25-20-5	1,453 9	C	6	240	270	530...730	35	35	—	—	da	da
		H	12	220	260	520...570	35	35	90	60	da	da
		P	75	220	260							
Mărci speciale												
X1CrNi2S-21	1,433 5	P	75	200	240	470...670	40	40	90	60	da	da
X6CrMnNb1S-10	1,455 0	C	6	220	250	520...720	40	40	—	—	da	da
		H	12	200	240							
		P	75	200	240	500...700						
X1CrNiMoN25-	1,446	P	75	250	290	540...740	40	40	90	60	da	da

22-2	6															
X1CrNiMoNb17-12-2	1,458 0	P	75	220	260	520...720	40	40	90	60	da	da				
X2CrNiMoN17-13-3	1,442 9	C	6	300	330	580...780	35	40	—	60	da	da				
		H	12	280	320		90									
		P	75	280	320		40									
X3CrNiMo17-13-3	1,443 6	C	6	240	270	550...700	40	40	—	60	da	nu				
		H	12	220	260	90										
		P	75	220	260	40										
X2CrNiMoN18-12-4	1,443 4	c	6	290	320	570...770	35	35	—	60	da	da				
		H	12	270	310	90										
		P	75	270	310	40										
X2CrNiMo18-15-4	1,443 8	c	6	240	270	550... 700	35	35	—	60	da	da				
		H	12	220	260	90										
		P	75	220	260	40										

(continuare tabelul 3.76)

Simbolizarea oțelului	Num e rică	Pro- dus	Grosime mm, max.	Limită de curgere		Rezistența la tracțiune FL N/mm ²	Alungirea la rupere		Energia de rupere prin șoc (ISO-V) KV >10 mm grosime, J. min		Rezistența la coroziune intergranulară ⁷⁾	
				R _{p0.2}	R _{p0.1}		A _{60n} mm 3 mm grosime, %, min., (tr.)	A>3mm grosim e, %, min., (tr)	(long.)	(tr.)	în stare de livrare	după tratament de sensibilizar e
X1CrNiSi18-15-4	1,436 1	P	75			530...730	40	40	90	60	da	da
X12CrMnNiN17-7-5	1,437 2	C	6			750...950	45	45	—	—	da	nu da
		H	12				40	40	90	60		
		P	75									
X2CrMn Ni N17-7-5	1,437 1	C	6			650...850	45	45	—	—	da	nu da
		H	12				40	40	90	60		
		P	75									
X12CrMnNiN18-9-5	1,437 3	C	6			680...880	45	45	—	—	da	nu
		H	12				40	40	90	60		
		P	75									
X1NiCrMoCu31-27-4	1,456 3	P	75			600...800	40	40	90	60	da	da
X1NiCrMoCuN25-25-5	1,453 7	P	75			500...700	40	40	90	60	da	da
X1CrNiMoCuN20-18-7	1,454 7	C	6			650...850	35	35	—	—	da	da
		H	12				40	40	90	60		
		P	75									
X1NiCrMoCuN25-20-7	1,452 9	P	75			650...850	40	40	90	60	da	da

Tabelul 3.77 Proprietățile mecanice la temperatura ambiantă a oțelurilor martensitice în stare tratată termic, SR EN 1088-2:1997

Simbolizarea oțelului	Nume- rică	Produs 1)	Grosim e mm, max.	Tratame nt termic ²⁾	Duritate		Limită de curgere, N/mm ² min. (tr.)	Rezistență a la tracțiune, R _m N/mm ²	Alungirea la rupere		Energia absorbită la rupere prin șoc (ISO+V) >10mm grosime min	Duritate	
					HR B max	HV sau HR C			A _{60m} mm grosime, %, min., (long.)	Az>3mm grosime %, min., (long+tr)		HRC	HV
X12Cr13	1,4006	c	6	A	90	200	-	max 800	20	—	—	—	—
		H	12										
		P	75	QT550 QT650		400 450		550...750 650...850	15 12	—	prin acord	—	—
X20Cr13	1,4021	c	3	QT					—	—	—	44...50	440...530
		c	6	A	95	225	-	max 700	15	—	—	—	—
		H	12										
X30Cr13	1,4028	P	75	QT650 QT750			450 550	650...850 750...950	12 10	—	prin acord	—	450...550
		c	3	QT					—	—	—	45...51	450...550
		c	6	A	97	235	-	max. 740	15	—	—	—	—
X39Cr13	1,4031	H	12										
		P	75	QT800			600	800...1000	10	—	—	—	—
		c	3	QT					—	—	—	47...53	480...580
X46Cr13	1,4034	c	6	A	96	240		max. 760	12	—	—	—	—
		H	12										
		C	6	A	99	245	—	max 780	12	—	—	—	—
X50CrMoV15	1,4116	H	12										
		C	6	A	100	280	—	max 850	12	—	—	—	—

X39CrMo17- 1	1,4122	H	12													47...53	480...5 80		
		C	3	QT		—			—						—		—	—	
X3CrNiMo13- 4	1,4313	c	6	A	100	280										—	—		
		H	12							max 900					12		—	—	
		P	75	QT780				650			780...980					14		—	—
				QT900	-			800			900...110 0					11		70	—
X4CrNiMo16- 5-1	1,4416	P	75	QT840		—			680					14		—	—		

1) C = bandă laminată la rece; H = bandă laminată la cald; P = tablă laminată la cald;
2) A = racopt, QT = călit și revenit

Proprietățile mecanice ale oțelurilor inoxidabile depind de structura de bază a acestora după călire și de temperatura de lucru (fig. 3.14).

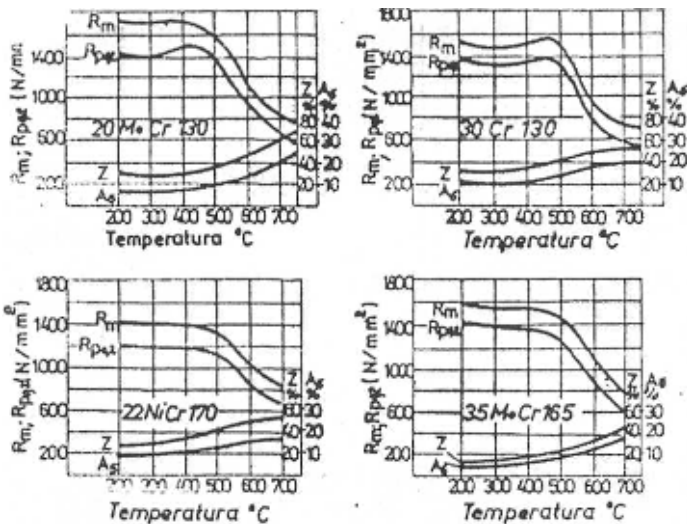


Fig. 3.14 Variația proprietăților mecanice ale oțelurilor inoxidabile cu temperatura de lucru

Se constată că aceste oțeluri își păstrează rezistența mecanică până la circa $500^{\circ}C$. Astfel, oțelurile martensitice prezintă rezistența la rupere cea mai mare ($450...1000 N/mm^2$), apoi cele austenitice ($480...830 N/mm^2$) și feritice ($400-700 N/mm^2$). La oțelurile feritice și martensitice diferența dintre limita de curgere și rezistența la rupere este mică ($200...300 N/mm^2$), iar la oțelurile austenitice este foarte mare ($400...500 N/mm^2$), ceea ce este explicabil prin capacitatea oțelurilor austenitice de a se durifica prin deformare, mai accentuat decât cele feritice sau martensitice (fig. 3.15 și fig. 3.16).

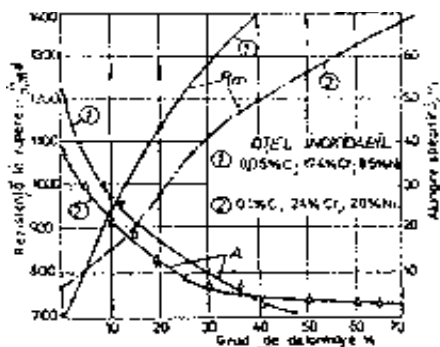


Fig. 3.15 Durificarea oțelurilor austenitice prin deformare

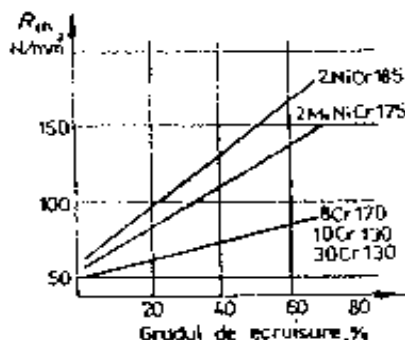


Fig. 3.16 Capacitatea de ecrusare a oțelurilor inoxidabile

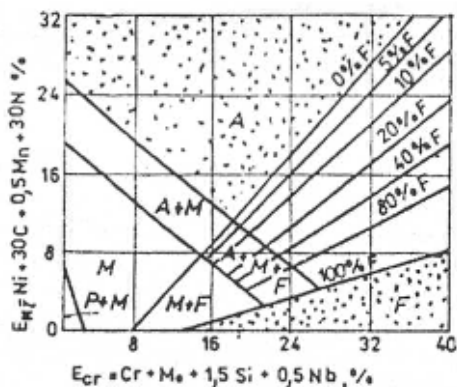


Fig. 3.17 Structura oțelurilor inoxidabile (Diagrama Schaeffer)

Structura austenitică a unor oțeluri inoxidabile este asigurată de prezența nichelului și manganului peste 12% în conținut echivalent, conform diagramei Schaeffler, prezentată în figura 3.17.

Structura oțelurilor inoxidabile prezentată în diagrama Schaeffler depinde de raportul ECr/ENi (fig. 3.18).

Oțelurile inoxidabile feritice sunt monofazice și nu suferă transformări structurale la încălzire și răcire, au rezistența la coroziune superioară celor martensitice, dar inferioară celor austenitice. Sudabilitatea lor și prelucrabilitatea prin presare la rece este mărită prin adaosuri de

aluminii, nichel, crom, molibden, titan, niobiu și prin micșorarea conținutului de carbon.

Oțelurile inoxidabile martensitice cu structură monofazică după răcirea în aer liber (normalizare) sunt caracterizate pe lângă rezistență bună la coroziune în diverse medii și prin duritate mare de 43...60 HRC, care le fac apte pentru instrumente de tăiere și organe de mașini rezistente la uzare.

E_{Cr} E_{Ni}	STRUCTURA							
	F	M	A	F+M	M+F	A+F	A+M	A+M+F
004..16			///					
01..2				///				
01..8		///						
16..4								///
2..12					///			
4..13	///							
4..18						///		
4..25							///	

Fig. 3.18 Structura oțelurilor inoxidabile, în funcție de raportul dintre conținutul de crom și nichel

Oțelurile inoxidabile austenitice sunt cele mai performante din punctul de vedere al rezistenței la coroziune, într-un domeniu foarte larg de temperaturi (1 ...1000 °C), dar și cele mai scumpe (datorită nichelului).

Singurul lor neajuns, în special al celor crom-mangan, este susceptibilitatea la coroziunea fisurantă sub tensiune, mai ales în medii care conțin soluții de cloruri și la temperaturi înalte. Pentru a micșora acest inconvenient și pentru a crește rezistența oțelurilor austenitice la coroziune intercristalină, se adaugă titan sau niobiu în cantități de 5% pentru 1%C. La aceste oțeluri, la temperaturi negative, are loc creșterea rezistenței (R_m , $R_{p0,2}$, HB) și scăderea ușoară a tenacității (A, KCU).

Prelucrabilitatea prin așchiere a oțelurilor inoxidabile este scăzută datorită proprietăților lor specifice: tenacitate mare, ecruisare puternică în timpul așchierii, conductibilitate termică mică, evacuare de așchii continue și plastice care aderă la tăișul sculei.

Gradul de ecruisare al oțelurilor austenitice fiind mai mare, ele sunt cele mai greu așchiabile.

Sudarea oțelurilor inoxidabile se face cu precauții, deoarece prin sudare este afectată rezistența la coroziune a materialului din zona cordonului sudat. Precauțiile constau în aplicarea unei preîncălziri la 100...400°C și a unei recoaceri la 630...750°C după sudare pentru

oțelurile care nu conțin titan și nichel (oțelurile martensitice cu peste 0,35% C nu sunt sudabile). Celelalte se sudează cu precauții și cu material de adaos austenitic. Oțelurile feritice și austenitice sunt perfect apte pentru deformare plastică la rece prin îndoire, vâlțuire, curbare, mandrinare, ambutisare adâncă, în timp ce oțelurile martensitice sunt foarte fragile.

Întrucât conductivitatea termică a oțelurilor inoxidabile este cu 50...70% mai mică decât cea a oțelurilor carbon, prelucrarea lor prin deformare plastică la cald (forjare, matrițare, laminare) se face cu mari precauții. Temperatura prea înaltă de deformare provoacă fisuri și ruperi, iar prea scăzută provoacă cutări sau tensiuni inegale care duc la fisurare. Oțelurile austenito-feritice au capacitate de deformare plastică mai redusă decât cele austenitice.

Oțelurile inoxidabile turnate în piese, feritice și austenitice, au caracteristici mecanice mai scăzute decât cele deformate plastic: $R = 440...780 \text{ N/mm}^2$; $R_{p0.2} = 190...590 \text{ N/mm}^2$; $A = 6...30\%$; $HB = 140-280$. Se folosesc de obicei în stare de călire de punere în soluție. Rezistența lor la coroziune este comparabilă cu a oțelurilor inoxidabile obținute prin deformare plastică la cald.

Oțelurile inoxidabile au un domeniu foarte larg de utilizare în industria construcțiilor metalice, constructoare de mașini, chimică, navală, medicală etc.

Oțelurile inoxidabile se livrează sub formă de table, benzi, bare, țevi, profile laminate, trase, forjate etc.

Principalele utilizări, în industria chimică, alimentară, medicală, echipamente energetice, construcții civile, arhitectură și mijloace de transport etc. ale acestor oțeluri, sunt prezentate în tabelul 3.79:

Marca oțelului	Indicații de utilizare
A. OTELURI FERITICE	
7AlCr130	Elemente de mașini și instalații care lucrează la 350°C...450°C în industria chimică, petrochimică, turbine hidraulice;
8Cr170	Piese care lucrează în medii cu agresivitate medie (leșii slabe, acizi organici oxidanți): tacâmuri, vase și articole de menaj, cuve mașini de spălat, chiuvete, decorațiuni interioare la automobile, recipiente în industria laptelui, celulozei, hârtiei, zahărului, amidonului, drojdiei de bere etc.
8TiCr170	Utilaj chimic în special sudat, care lucrează în medii cu agresivitate medie: schimbătoare de căldură, rezervoare pentru acizi etc. Elemente de construcții fără șocuri care lucrează la temperaturi sub -20 °C.
Marca oțelului	Indicații de utilizare
2TiMoCr180	Piese deformate plastic la rece care lucrează în medii cu agresivitate moderată: piulițe, șuruburi, țevi, recipiente pentru apă, schimbătoare de căldură, vase și aparate pentru industria alimentară. Oțel economic înlocuitor al oțelurilor crom-nichel.
1 MoCr260	Elemente pentru utilaje și instalații în industria chimică ce lucrează în medii

	reducătoare, acide și în prezența ionilor de clor.
T15Cr170	Piese rezistente în acid fosforic 60... 100% până la 80 °C, acid acetic la 20 °C, acid formic 85...100% până la 30 °C.
T15Cr280	Piese rezistente la coroziune în acid azotic de maximum 65% până la fierbere, soluții sulfuroase, acizi organici.
B. OTELURI MARTENSITICE	
10CM30	Elemente de mașini și utilaje care lucrează cu apă și abur: palete pentru turbine cu abur și hidraulice, ventilile, armături și piese pentru pompe, scuturi pentru turbine, articole de menaj etc.
20Cr130	Piese care lucrează în apă și abur la presiuni mijlocii și în medii slab agresive (soluții apoase de săruri ale acizilor organici și acid azotic): palete pentru turbine cu abur și hidraulice, piese pentru pompe, armături, ventilile, instrumente medicale, aparate pentru gimnastică și sport, articole de uz casnic etc.
30Cr130 40Cr130	Scule de tăiere (cuțite, foarfece, bisturie), instrumente chirurgicale, scule de măsurare (calibre), arcuri, bile de rulmenți, articole de menaj etc.
20MoCr130	Organe de asamblare și piese solicitate la 450...600 °C în industria chimică și petrochimică, arcuri, elemente elastice pentru compresoare, palele de turbine, piese de pompe, armături, utilaje miniere, instrumente medicale etc.
35 MoCr165	Piese rezistente la uzare și coroziune până la 500...600°C în industria chimică, petrochimică, construcția de locomotive, motoare termice, organe de asamblare, arbori de pompe, arbori de motor de bărci de apă dulce și limitat apă de mare etc.
45VMoCr145	Produse cu capacitate mare de tăiere; lame de cuțit, foarfece, instrumente chirurgicale, scule de măsurare (șublere) și control (calibre).
90VMoCr180	Produse cu capacitate foarte mare de tăiere: cuțite de carne și tranșare, bisturie; scule pentru prelucrări la rece, piese puternic solicitate la uzare în medii corosive din industria minieră, chimică și petrolieră, rulmenți, ace de ventilile, duze de injecție etc.
90Cr180	Piese supuse la uzură mare în medii corosive: scaun de supape, cochilii și ajutaje pentru turnare sub presiune, rulmenți, cuțite, bușe de mare duritate etc.
22NiCr170	Elemente puternic solicitate mecanic în medii agresive, la temperaturi ridicate în apă, vapori, leșii și acizi oxidanți: arbori, pivoți, elemente de pompe, tije de pistoane, arbori pentru bărci cu motor în apă sărată etc.
C. OTELURI AUSTENITICE	
2NiCr185	Elemente de utilaje care lucrează cu sau fără presiuni la temperaturi înalte până la 350...550°C în prezența sau în absența mediilor corosive în industria chimică a acidului azotic, farmaceutică și în tehnica nucleară.
5NiCM80	Elemente și instalații tehnologice care lucrează în medii corosive. Construcții criogenice. Tehnică portuară. Instalații sanitare, conducte de apă curentă, ceasuri, podoabe, articole de artă etc.
Marca otelului	Indicații dc utilizare
10TiNiCr180	Elemente din utilaje tehnologice pentru industria chimică, metalurgică, alimentară și a materialelor de construcții care lucrează în medii puternic corosive (acizi oxidanți) până la 400...500°C dacă acestea nu descompun grăunții. Construcții criogenice. Camere de ardere.
10TiMoNiCr115	Elemente din utilaje și instalații pentru industria chimică, metalurgică și petrochimică ce lucrează la temperaturi de 550...670°C, cu sau fără medii puternic corosive (acizi neoxidanți și halogeni).
12NNiMnCr180	Oțel inoxidabil economic înlocuitor al oțelurilor crom-nichel în industria chimică și criogenie.
2MoNiCr175	Elemente din utilaje și instalații care lucrează în medii puternic corosive (cloruri și acizi neoxidanți) la solicitări și temperaturi înalte (550 °C) la obținerea ureei, fibre artificiale, celuloză, hârtie, industria textilă etc. Tehnică portuară și exploatarea marine.
2CuMoCrNi250	Elemente din utilaje și instalații din industria chimică ce lucrează în acid

	sulfuric, fosforic, formic, citric, lactic etc. schimbătoare de căldură, recipiente de transport etc. până la 400 °C.
2NbNiCr250	Elemente din utilaje și instalații termice în contact cu acid azotic (65%) la fierbere și acid adipic.
T6NiCr180 T10NiCr180 T15NiCr180	Piese rezistente la coroziune în: acid azotic sub 50% până la fierbere sau 50...100% până la 50 °C; acid fosforic sub 40% până la fierbere sau 40...100% până la 80 °C; acid sulfuric sub 80...100% până la 30 °C; acid formic orice concentrație până la 10 °C; acid clorhidric maximum 2% până la 20 °C, acid acetic orice concentrație până la 80 °C.
T6MoNiCr180 T10MoNiCr180 T15MoNiCr180	Piese rezistente la coroziune în: acid azotic sub 40% până la fierbere sau 40...100% până la 60 °C; acid fluorhidric sub 100% la 20 °C; acid fosforic sub 35% până la fierbere sau 35...100% până la 90 °C; acid clorhidric sub 2% până la 20 °C; acid sulfuric sub 15% și de 70...100% până la 40 °C; acid formic sub 40% până la 40 °C și acid acetic orice concentrație până la fierbere.
T6CuMoNiCr200	Piese rezistente la coroziune în: acid azotic sub 40% până la 40 °C, acid clorhidric sub 5% până la 20°C; acid formic sub 20% până la fierbere și cu 40...100% până la 60 °C; acid fosforic sub 60% până la fierbere și cu 60...100% până la 110 °C și acid sulfuric cu orice concentrație până la 40 °C.

3.3. Particularități privind obținerea oțelurilor pentru construcții metalice

În ansamblu oțelurile pentru construcții metalice acoperă un domeniu larg de utilizare și posedă proprietăți fizico-mecanice foarte diferite, de la valori ce caracterizează calitatea obișnuită până la valori ce conferă o calitate superioară. În plus, mărcile de oțeluri din această categorie posedă o mare diversitate de compoziții chimice și condiții de calitate privind puritatea în incluziuni nemetalice și gaze.

Toate aceste considerente fac aproape imposibilă tratarea unitară a temei obținerii oțelurilor pentru construcții, și chiar a unor etape din procesul tehnologic cum ar fi cea a elaborării oțelului. Din acest motiv în prezentul subcapitol vor fi prezentate doar unele particularități tehnologice de obținere și cu precădere, acelea care se referă la elaborare.

Problemele specifice ale elaborării oțelurilor pentru construcții metalice fac referire la tehnologia de elaborare în cuptorul electric cu arc care prezintă multiple avantaje mai ales din punct de vedere al calității oțelului elaborat.

3.3.1 Aspecte tehnologice ale elaborării oțelurilor pentru construcții

În scopul optimizării procesului tehnologic și îmbunătățirii calității oțelului elaborat, sunt vizate următoarele aspecte principale:

- extinderea afinării cu oxigen la toate clasele de oțeluri pentru construcții;
- îmbunătățirea calității materialelor refractare;

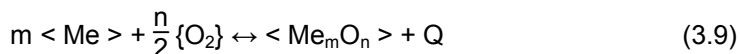
- mărirea eficienței economice prin creșterea capacității cuptoarelor;
- utilizarea cuptorului în regim UHP (Ultra-High-Power);
- realizarea afinării dezoxidării și alierii în instalații speciale: procedeele A.O.D. (Argon Oxygen Decarburation), V.O.D. (Vacuum-Arc Degasing);
- dezoxidarea și degazarea în vid în instalații de tip B.V. (Bachumer-Verein), D.H. (Dortmund-Horder Huttenunion), R.H. (Ruhr-Stahl-Hattinger).

3.3.1.1 Topirea oțelurilor pentru construcții metalice

Pregătirea și calculul încărcăturii respectă principiile generale prezentate în subcapitolul 2.4. Proprietățile materialelor din încărcătură se stabilesc pe baza ecuațiilor de bilanț a elementelor carbon (vezi §2.4.1) și oxigen. Variația tehnologică de elaborare cu folosirea oxigenului la topire impune stabilirea pe bază de calcul stoichiometric a necesarului de oxigen pentru reacțiile de oxidare până la topirea O_{ox} cu relații de tipul:

$$O_{ox} = 1,33 (< C > - [C]_t) + 1,14 < Si > + 0,29 (< Mn > - [Mn]_t) + 1,29 (< P > - [P]_t) + (0,29 \times 0,12 + 0,30 \times 0,88) Fe_{oxidat} + 0,46 (< Cr > - [Cr]_t + \dots + \frac{M_O}{M_{Me}} (< Me > - [Me]_t) + O_{[bm]t}$$

în care se consideră că siliciul se oxidează complet (până la urme) la topire, iar fierul - 12% la FeO și 88% la Fe₂O₃. M_o este necesarul de oxigen stoichiometric pentru oxidarea unui atom de element Me conform reacției de oxidare directă în sistemul eterogen încărcătură metalică-atmosferă:



respectiv de oxigen provenit din FeO în cazul reacției de oxidare indirectă în sistemul eterogen baie metalică în formare -zgură - atmosferă:



Pentru a determina oxigenul rămas în soluție în baia metalică la

terminarea topirii $O_{[bm]t}$ se poate lua în considerare relațiile de tipul:

$$O_{[bm]t} = \frac{16}{72} \cdot \frac{0,0124 + 0,05 [C]_t}{[C]_t} \quad (3.11)$$

$$\text{FeO}_{[\text{bm}]t} = \frac{f}{[\text{C}]_t} + g \sum (\text{FeO})_t + h_t \quad (3.12)$$

în care: f, g, h sunt indici de corelație calculați în funcție de bazicitatea zgurei, relații citate în literatura de specialitate [11, 12, 13], dar care pot fi aplicate mai ales la băi metalice nealiante la topire.

Valoarea termenilor cantității de oxigen disponibil până la topire ($[\text{O}]_{\text{ox}t}$) se poate aprecia luând în considerare:

O_{rg} - oxigenul furnizat de rugina fierului vechi (considerată a fi Fe_2O_3), care se apreciază în funcție de gradul de oxidare a acestuia, luând orientativ pentru un fier vechi de calitate circa 2% Fe_2O_3 , pentru un fier vechi obișnuit 4% Fe_2O_3 , iar pentru un fier ruginit, circa 8% Fe_2O_3 ;

U_{atm} - oxigenul adus de atmosfera cuptorului se poate calcula cu o relație de tipul:

$$O_{\text{atm}} = 0,1 \cdot \mu \cdot \left(\frac{t_{\text{inc}}}{2} + t_{\text{top}} \right) + (q_{\text{fv}} + q'_{\text{fo}}) \quad (3.13)$$

în care: μ este cantitatea specifică de oxigen primită de încărcătură de h atmosfera cuptorului (în kg/t·h) și variază în funcție de modul cum este condusă topirea;

t_{inc} , t_{top} - timpul de încărcare și de topire, în h;

q_{fv} , q'_{fo} - proporțiile de fier vechi și fontă solidă, în f, calculate din ecuațiile de bilanț pentru carbon:

$$\%C_1 \cdot q_{\text{fv}} + \%C_2 \cdot q'_{\text{fo}} = \langle C \rangle \cdot 100 \quad (3.14)$$

$$q_{\text{fv}} + q'_{\text{fo}} = 100 \text{ [Kg]} \quad (3.15)$$

sau din ecuațiile pentru carbon și un alt element $\langle \text{Me} \rangle$ din încărcătură conform relațiilor (3.16-3.18), când este necesară urmărirea concentrației acestui element,

$$\%C_1 \cdot q_{\text{fv}} + \%C_2 \cdot q'_{\text{fo}} + \%C_3 \cdot q'' = 100 \langle C \rangle \quad (3.16)$$

$$\% \text{Me}_1 \cdot q_{\text{fv}} + \% \text{Me}_2 \cdot q'_{\text{fo}} + \% \text{Me}_3 \cdot q'' = 100 \langle \text{Me} \rangle \quad (3.17)$$

$$q_{\text{fv}} + q'_{\text{fo}} + q'' = 100 \text{ [Kg]} \quad (3.18)$$

în care: $\%C_1$, $\%C_2$, $\%C_3$ reprezintă conținuturile de carbon în fierul vechi, fontă și respectiv într-o altă categorie de fier vechi (aliat) sau un feroaliaj simbolizate aici cu q'' (în kg); iar $\% \text{Me}_1$, $\% \text{Me}_2$, $\% \text{Me}_3$ - conținuturile în elementul Me al acelorași materiale.

Din ecuația de bilanț a oxigenului rezultă cantitatea de oxigen de adăugat în diverse variante tehnologice (cu folosirea minereului, a oxigenului gazos, sau a amândouă) până la topire. De asemenea, rezultă O_{ud} , rezultă din suma $\sum O_{\text{dt}} = O_{\text{rg}} + O_{\text{atm}} + O_{\text{adt}}$ prin comparare cu suma $\sum O_{\text{met}} - O_{\text{ox}t} + O_{[\text{bm}]t}$, folosind relația:

$$O_{\text{adt}} = \sum (O_{\text{ox}t} + O_{[\text{bm}]t}) - (O_{\text{rg}} + O_{\text{atm}}) \quad (3.19)$$

Desigur, la calculul de detaliu al bilanțului oxigenului trebuie luate în considerare și alte cantități de oxigen, cu toate că ele sunt mai puțin semnificative sau se compensează reciproc:

- oxigenul trecut în zgură prin zgurificarea unei mici cantități de material refractar din vatră și perete;
- oxigenul rămas în zgură datorită unei părți din minereu (de densitate mică) rămas în zgură;
- oxigenul din minereu, pierdut prin disocierea parțială a oxizilor superiori de fier.

Ecuțiile de bilanț pentru oxigen și carbon și corelațiile dintre acestea sunt elemente de calcul utilizate și în cazul folosirii, din considerente economice, a unor materiale în încărcătură de calitate inferioară: fier vechi ruginit, fier vechi cu aderențe de material refractar de la turnare, fontă de calitate inferioară, încărcătură cu fosfor ridicat (peste 0,05...0,06%, fiind de dorit să nu depășească totuși 0,08%) sau cu sulf ridicat. Prin bilanțul de oxigen, considerând ca oxigen disponibil numai pe cel adus de încărcătură Org și cel furnizat de atmosferă Oatm, se iau în considerare următoarele oxidări pentru elemente; în jur de 20-30% pentru carbon (uneori și mai mult), 90-100% (practic complet) pentru siliciu (și vanadiu dacă este în încărcătură), peste 50% din mangan (ajunge până la 75%), peste 50% din fosfor, oxidări avansate pentru crom și wolfram dacă acestea (ca și vanadiu) au ajuns în încărcătură prin sortarea necorespunzătoare a fierului vechi sau pur și simplu prin folosirea unui fier vechi provenit din mărci de oțel slab aliate. Metoda de topire cu oxidare completă deși este mai simplă este utilizată mai rar la elaborarea oțelurilor de construcție deoarece oțelul elaborat conține mai multe gaze și incluziuni nemetalice, vitezele de reacție fiind mai dificil de controlat.

3.3.1.2 Afinarea oțelurilor pentru construcții metalice

La această categorie de oțeluri trebuie acordată o atenție deosebită alimentării băii metalice cu oxigen atât sub aspectul asigurării necesarului de oxigen cât și sub aspectul reglării alimentării cu oxigen în timp a băii metalice, pentru a se asigura condiții favorabile din punct de vedere cinetic desfășurării decarburării cu viteza dorită.

Necesarul de oxigen pentru oxidarea tuturor elementelor însoțitoare din baia metalică (1...n) și zgurificarea lor (1...m) rezultă din relația:

$$\Delta n_{[O]} = [(1...m)(Me_xO_y)] \cdot \frac{Q_{zg}}{100} - (1...m)(Me_xO_y) \frac{Q_{zg}}{100} - [(1...n) [Me]_i]$$

$$\cdot \frac{Q_{BM}}{100} - (1...h) \cdot [Me]_o \frac{Q_{BM}}{100} \quad (3.20)$$

în care: Q_{BM} și Q_{ZG} - reprezintă masa băii metalice și a zgurei

(1 ...n)[Me]_i și (1...m)(Me_xO_y)_i, conținutul inițial al elementelor din baia metalică și a oxizilor acestora din zgură;

(1 ...n)[Me]_o și (1..m), compozițiile băii metalice și a zgurei la oprirea afinării într-un stadiu intermediar sau final.

Pentru oxidarea fierului în timpul afinării se poate folosi relația:

în care: Q_{Bm} și Q_{zg} - reprezintă masa băii metalice și a zgurei;

$$\Delta Fe_{[O]} = [(FeO)_o \cdot \frac{Q_{zg}}{100} \cdot (FeO)_i \cdot \frac{Q_{zg}}{100}] - [[Fe]_i \cdot \frac{Q_{BM}}{100} - [Fe]_o \cdot \frac{Q_{BM}}{100}] \quad (3.21)$$

Gradientul oxigenului dizolvat în baia metalică între cele două stadii ale procesului de afinare este următorul:

$$\Delta Fe_{[O]} = \pm [[O]_i \cdot \frac{Q_{BM}}{100} - [O]_o \cdot \frac{Q_{BM}}{100}] \quad (3.22)$$

Ecuția de bilanț pentru cantitatea totală de oxigen necesară este:

$$\sum_{p=1}^{p=m+2} \Delta p[O] = \Delta [O]_{total} \quad (3.23)$$

unde p este numărul ecuațiilor parțiale de bilanț luate în calcul.

Din ecuația de bilanț 3.22 și implicit din ecuația finală de bilanț 3.23 rezultă necesitatea reglementării alimentării băii metalice cu oxigen astfel încât să se respecte valoarea de restricție pentru oxigenul de la sfârșitul afinării [O]₀. Restricția este condiționată de influența conținutului de oxigen al băii metalice la sfârșitul afinării asupra ansamblului de procese metalurgice ce se desfășoară în etapa de dezoxidare și aliere.

Viteza de decarburare și durata decarburării sunt parametri care influențează în cea mai mare măsură condițiile prescrise majorității oțelurilor pentru construcții metalice.

3.3.1.3 Dezoxidarea și alierea oțelurilor pentru construcții metalice

Această etapă are un pregnant caracter de particularizare, pentru fiecare marcă de oțel în parte existând scheme de dezoxidare specifice condițiilor date. La toate mărcile de oțel se disting însă următorii indicatori:

Gradul de dezoxidare a oțelului, calculabil cu relația

$$\eta_d = \frac{[O]_o - [O]_{tr}}{[O]_o} \cdot 100, [\%] \quad (3.24)$$

în care: $[O]_o$ este conținutul de oxigen în baia de oțel la oprirea afinării, care poate fi apreciat cu una din relațiile citate în literatura de specialitate [11]:

$$[O]_o = \frac{0,0036 + 0,0033 [C]_o}{[C]_o}, [\%]$$

$$[O]_o = 0,03 \cdot (1 - v_c) \pm 0,002 \quad (3.26)$$

unde v_c este viteza de decarburare, în % C/h și

$$[O]_o = 0,00183 \cdot \sum(Fe)_o + 0,05 \pm 0,006 \quad (3.27)$$

în care: $\sum(Fe)_o$ este conținutul total de Fe în zgură în % iar $[O]_{tr}$, conținutul de oxygen la turnare.

Gradul de calmare a oțelului, determinat cu relația

$$\eta_0 = \frac{q_1 c_1 + q_2 c_2 + q_3 c_3 + \dots}{100} \quad (3.28)$$

în care q_1, q_2, q_3 sunt capacitățile de dezoxidant, în kg/t;

c_1, c_2, c_3 - cifrele caracteristice pentru capacitatea de dezoxidare a fiecărui dezoxidant, apreciate cu relația ponderală:

$$C = \%Mn + 3 \times \%Si + 11 \times \%Ca + 18 \times \%Al \quad (3.29)$$

Cantitățile de dezoxidanți q_1, q_2, q_3 din relația (3.28) se calculează fie în baza unui calcul stoichiometric pentru legarea cantității de oxigen în funcție de natura fiecărui dezoxidant, fie cu relații globale pentru dezoxidare și aliere, în care efectul de dezoxidare se ia în considerare prin arderea de elemente,

$$q_{ja} = \frac{([E]'' - [E]') \cdot 10}{100 - a} \cdot \frac{[E]}{100} \cdot P \quad (3.30)$$

în care q_{ja} este cantitatea de feroaliaj, în kg pe șarjă;

$[E]'$ - conținutul de element dezoxidant și (sau) de aliere în oțel după dezoxidare-aliere, în %;

$[E]''$ - conținutul de element în feroaliaj, în %;

a - arderea (pierderea) de element de dezoxidare sau aliere, în %;

P - masa șarjei, în t.

Arderea de element este funcție de un ansamblu de factori

printre care: compoziția chimică a băii metalice în momentul adăugării elementului dezoxidant și de aliere, regimul termic al cuptorului și regimul zgurei.

3.3.1.4 Conducerea electrică a cuptorului și regimul termic

Trasarea unor diagrame de lucru pentru fiecare cuptor electric și utilizarea lor în conducerea electrică este de mare importanță pentru asigurarea regimului termic adecvat elaborării oțelurilor de construcții. De mare utilizare poate fi trasarea unor diagrame practice de lucru (fig. 3.19) în funcție de puterea activă medie P stabilită pentru perioada de topire cu relația [16]:

$$P = \frac{W_t}{t_t - t_{ot}}, [\text{kW}] \quad (3.31)$$

în care W , este consumul de energie electrică în perioada de topire, în kWh;

t_t este durata perioadei de topire, în h;

t_{ot} este durata perioadelor de oprire în timpul topirii, în h.

Cu aceste diagrame se pot urmări consumul specific de energie electrică:

$$W = \frac{W_1}{G} [\text{kWh/t}] \quad (3.32)$$

și durata specifică a duratei de topire

$$t = \frac{t_1 - t_0}{G} = \frac{t}{G} [\text{h/t}] \quad (3.33)$$

în care t este durata efectivă a topirii, în h;

G - greutatea șarjei, în [t].

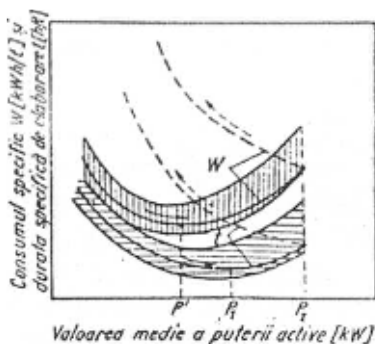


Fig. 3.19 Model de diagramă practică de lucru a unui cuptor electric

Se mai poate determina și urmări de asemenea productivitatea

specifică a cuptorului

$$P = \frac{G}{t}, [t/h] \quad (3.34)$$

Acest gen de diagrame permit să se stabilească limita rațională a valorii puterii active (P_1 , P_2) pentru funcționarea cuptorului (în cadrul unor domenii de referință) la diferite regimuri de lucru.

3.3.3 Considerații generale asupra metodelor de obținere a oțelurilor cu limită de curgere ridicată

Oțelurile microaliate ferito-perlitice cu limită de curgere ridicată suferă un tratament termomecanic specific compus din două etape: condiționarea austenitei și răcirea controlată. Condiționarea austenitei are ca scop obținerea unei austenite cu putere mare de germinare la temperatura Ar_3 și se realizează prin: recristalizarea controlată prin laminare la cald sau laminare convențională controlată. Recristalizarea controlată prin laminare la cald constă într-o laminare finală la o temperatură cât mai scăzută dar deasupra temperaturii de recristalizare a austenitei obținându-se o structură cu grăunți echiaxiali. Laminarea convențională spre deosebire de recristalizarea controlată și laminarea clasică are o temperatură de lucru a ultimei treceri inferioară temperaturii de recristalizare a austenitei, dar superioară punctului Ar_3 ceea ce conduce la obținerea unor grăunți alungiți de austenită. Microalierea cu Ti, Nb V permite ca pe parcursul răcirii să apară precipitate foarte fine și dispersate în interiorul grăunților de ferită sub forma de rețea determinând îmbunătățirea rezistenței mecanice. La oțelurile cu ferită aciculară după condiționarea austenitei se practică o răcire controlată cu viteză mai mare ca la cele ferito-perlitice, grăunții de ferită nemaifiind poligonali ci aciculari. Fenomenul se datorează și compoziției chimice mai sărace în carbon și în elementele dispersoide Ti și V.

Oțelurile „Dual Phase” suferă o succesiune de trei tratamente: 1) condiționarea feritei; 2) tratament intercritic; 3) consolidare. Condiționarea feritei are ca scop obținerea unei ferite deformate care să permită formarea unui număr cât mai mare de germeni de austenită la încălzire. Există două soluții de realizare: 1) deformare plastică la rece; 2) deformare plastică controlată la cald. Tratamentul intercritic se efectuează în două variante în funcție de compoziția oțelului și anume: 1) austenitzare parțială și călire; 2) tratament termomecanic cu deformarea austenitei stabile. Prima variantă se aplică oțelurilor aliate cu Mn și constă dintr-o încălzire la o temperatură între Ac_1 și Ac_3 urmată de menținere pentru realizarea echilibrului termostatic între

austenită și ferită finalizată prin mase astfel încât să se obțină numai ferită, martensită și austenită reziduală, fără perlită sau bainită. Tratamentul termomecanic cu deformarea austenitei stabile constă în austenitizare parțială, urmată în general de o laminare la cald, iar în final de o răcire cu o viteză suficient de mare pentru a se obține numai ferită martensită și austenită reziduală, în mod asemănător cu structura obținută în cazul austenitizării parțiale și a călirii. Această variantă se aplică oțelurilor microaliate cu elemente ce îmbunătățesc călibilitatea: Cr, Mn, Mo.

3.3.4 Aspecte tehnologice specifice elaborării și turnării oțelurilor inoxidabile

Tehnologiile practicate în prezent în producerea oțelului inoxidabil pot fi grupate astfel:

Procedee la care procesele de oxido-reducere se desfășoară la presiunea atmosferică, în cuptor electric cuc arc sau în convertizor cu suflare de oxigen.

Procedee de la care procesul de decarburare se efectuează la presiuni scăzute și care în funcție de modul de realizare a micșorării presiunii parțiale a oxidului de carbon se clasifică în:

- procedee cu diluția presiunii parțiale a oxidului de carbon respectiv;
- procedeul A.O.D.;
- procedeul C.L.U;
- procedee de decarburare în vid, realizate în instalații de vid, respectiv:
 - fără aport de căldură: V.O.D și RH-OB;
 - cu aport de căldură (încălzire cu arc electric).

3.3.4.1 Tehnologia de elaborare a oțelului inoxidabil prin procese de oxido-reducere în cuptorul electric

Această tehnologie se realizează în cuptor bazic prin metoda de topire cu oxigen parțială și insuflare de oxigen în baia metalică.

Încărcătura se compune din deșeuri de oțel carbon, deșeuri de oțeluri inoxidabile și ferocrom standard. Conținutul de carbon la topire este cu 0,3-0,4% peste limita prescrisă de oțel și se practică adausuri de var în încărcătură de 2-3%. Insuflarea oxigenului se face când temperatura oțelului este de cca. 1650 °C cu un consum de 3-4 m³/t la o presiune de minim 8 at. La sfârșitul afinării cu oxigen temperatura băii metalice este de regulă peste 1750 °C, iar conținutul de crom în zgură de cca. 20% fiind necesară reducerea zgurei, pentru regenerarea

cromului, fază ce influențează considerabil eficiența tehnologiei. Amestecul reducător se compune din 15 kg silicocrom/t, 4 kg ferosiliciu cu 75% Si/t, 3 kg silicocalciu/t și 1,50 kg Al granule/t. După reducerea zgurei aceasta se evacuează avansat formându-se o nouă zgură bazică din var proaspăt și fluorină care favorizează desfășurarea proceselor de desulfurare. Tot în această fază se efectuează corecțiile de compoziție după care se execută evacuarea.

3.3.4.2 Tehnologia de elaborare a oțelului inoxidabil prin procedee de diluție a presiunii parțiale a oxidului de carbon

În principiu aceste procedee tehnologice constau în micșorarea presiunii parțiale p_{CO} cu ajutorul unui gaz de diluție, de regulă argon sau azot. Sunt dezvoltate industrial două procedee de bază: A.O.D. și C.L.U. La ambele procedee, convertizorul de afinare lucrează cuplat cu un cuptor electric, de la care primește încărcătura metalică, înalt aliată cu crom.

În procedeul A.O.D. oxigenul este suflat împreună cu argon printr-un sistem de duze plasate orizontal în apropierea vetrei convertizorului, în timp ce la procedeul C.L.U. duzele de suflare sunt amplasate în vatra convertizorului, iar în locul argonului se folosește abur.

Compoziția chimică a încărcăturii pentru convertizorul cu suflare de oxigen și argon este de regulă în următoarele limite: 0,5-1,0%C; 0,15-0,30% Si; 1,55-1,65% Mn (pentru oțeluri austenitice); 0,70-0,80% Mn (pentru oțeluri feritice); cromul este la mijlocul intervalului solicitat prin compoziția chimică finală a oțelului; nichelul și molibdenul sunt la limita inferioară a intervalului solicitat prin compoziția chimică finală a oțelului. Înainte de prelucrarea încărcăturii metalice lichide de la cuptorul electric în convertizor se încarcă 5 kg/t var proaspăt și uneori 0,10% Si, la o granulație de 5-30 mm. Având convertizorul în poziția de încărcare (prin duze însuflându-se aer) se începe încărcarea topiturii metalice, urmărindu-se limitarea introducerii în convertizor a zgurei formate în cuptorul electric. Se cuplează sistemul de aducțiune a fluidelor de lucru (oxigen și argon) la parametrii stabiliți tehnologic și se aduce treptat convertizorul în poziția de lucru, care este la circa 5° față de verticală, înspre poziția duzelor.

Principalele relații de calcul folosite pentru determinarea necesarului de agent oxidant, de elemente de aliere și de adaosuri sunt:

Oxigenul total necesar

$$O_2 = 9,3C + 8,0Si + 1,4Mn + \frac{17,2}{1 + 50[C_O]} + 2,0 [m_N^3 / t] \quad (3.35)$$

în care: C este conținutul de carbon al încărcăturii;

Si este conținutul de siliciu al încărcăturii +% Si adăugat în timpul procesului;

Mn - conținutul de manganal încărcăturii +% Mn adăugat în timpul procesului; nu se socotesc adaosurile de siliciu și de mangan făcute în timpul dezoxidării;

[C_o] -conținutul final de carbon;

sau

$$\text{Oxigen (m}_N^3) = 0,0093\Delta C_G + 0,0080[Si]G + 0,0020,7[Mn]G + 0,0029\Delta CrG + 0,002\Delta Fe \cdot G \quad (3.36)$$

în care: G este masa încărcăturii, în kg;

ΔC - % carbon îndepărtate în procesul de afinare;

ΔCr - % crom, oxidat, admitându-se că la oțelurile inoxidabile cu carbon normal se oxidează circa 2,5%;

ΔFe - % fier oxidat, admitându-se 1% pentru carbon final de max. 0,03% și respectiv 0,5% pentru conținuturi de carbon mai ridicate.

Adaosul de siliciu:

- pentru reducere:

$$1,25 [O_{tot} - (O_C + O_{Si})] \cdot \frac{G}{100} \quad (3.37)$$

în care: O_C și O_{Si} este oxigenul consumat pentru oxidarea carbonului și siliciului;

- pentru aliere:

$$\%Si \times \frac{G}{100} \quad (3.38)$$

Adaosul de mangan:

$$[\%Mn_{dorit} - 0,85Mn_{initial}] \times \frac{G}{100} \quad (3.39)$$

Adaosul de crom:

$$[\%Cr_{\text{dorit}} - 0,98Cr_{\text{initial}}] \times \frac{G}{100} \quad (3.40)$$

Oxidul de calciu necesar procesului de afinare (nu cuprinde și cel necesar desulfurării) se determină pentru un raport de bazicitate de circa 2 cu relația

$$CaO_{\text{nec}} = 4 \cdot ([\%Si]_{\text{oxidat}} \cdot \frac{G}{100} + Si_{\text{dezoxid}}) \quad (3.41)$$

În primele faze ale afinării argonul poate fi înlocuit cu azot. Consumurile specifice de gaze pentru răcirea duzei și diluția presiunii parțiale a oxidului de carbon este: Ar = 12 m³/t, N) 5 m³t (la oțeluri cu C_{min} = 0,05%) și Ar = 25m³/t, N = 5 M³/t (pentru oțeluri inoxidabile cu C_{min} = 0,03To).

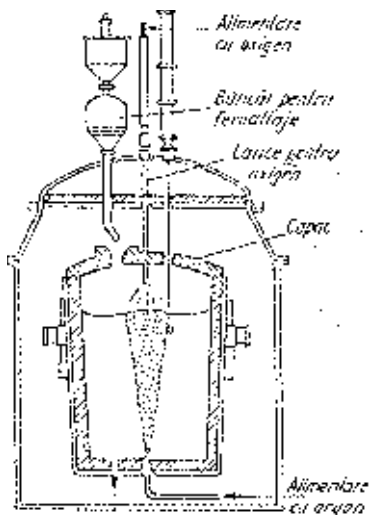
3.4.4.3 Tehnologia de elaborare a oțelului inoxidabil prin decarburare cu oxigen în instalații de vid

Supunând oțelul lichid acțiunii vidului se intensifică decarburarea, degazarea, vaporizarea, reducerea suspensiilor oxidice. Efectul diferă cu metoda de tratare, scopul principal fiind scăderea conținutului de [O], [C], [H] și [N].

Scăderea presiunii parțiale a oxidului de carbon poate fi realizată și prin menținerea topiturii în instalații de vid de tipul celei reprezentate în fig. 3.20 și 3.21 sau a unei instalații cu aport exterior de căldură (de exemplu, de tip FINKL sau ASEA-SKF) prin adaptarea în consecință a unei lănci de suflare a oxigenului.

În timpul decarburării în vid, cu suflare de oxigen, baia este agitată prin barbotare cu argon prin intermediul unei cărămizi poroase montate în fundul oalei de tratare. Pentru prevenirea stropilor și debordării în exterior în timpul suflării pe sus a oxigenului, oala este dimensionată corespunzător și este prevăzută și cu un scut termic (capac de protecție captușit cu material refractar).

În cazul instalației de tip V.O.D. oțelul este decarburat în prealabil în cuptorul electric până la un conținut de carbon de 0,3-0,5%. Oxigenul se insuflă când presiunea este de 50 torr și continuă pe măsură ce carbonul se micșorează la o depresiune de 15-20 torr. După consumarea cantității de oxigen calculată se efectuează dezoxidarea zgurei cu ferosiliciu corecția compoziției și evacuarea.



Orificiu de turnare

Fig. 3.20 Schema de principiu a instalației de afinare cu utilizare de vacuum (proces V.O.D.)

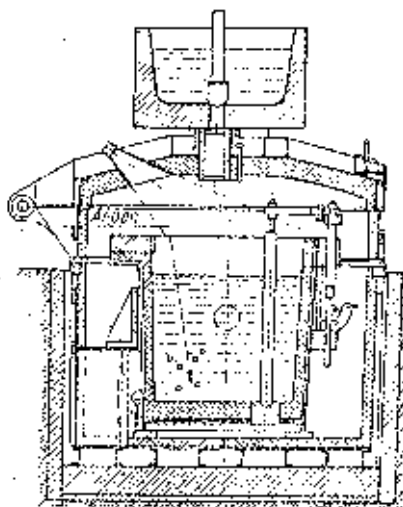


Fig. 3.21 Instalația de tratare a oțelului în camera de vid

Metoda tratării oțelului în camera de vid (fig. 3.21) constă în amplasarea oalei de turnare într-o cameră în care pe măsură ce este micșorată presiunea, scade și presiunea parțială p_{CO} (ca și p_{H_2} și p_{N_2}). Ca urmare, reacția $[C] + [O] = \{CO\}$ este intensă și la conținuturi foarte mici de $[C]$, acesta devenind dezoxidant puternic. Vidul se face însă simțit numai pe o adâncime h_x și determinantă pentru viteza reacției de decarburare este difuziunea de oxigen de la adâncimi peste h_x până la bulele de CO.

Când fierberea pe adâncimea h_x încetează, bulele de CO mai sunt germinate la suprafața oțelului, unde presiunea ferostatică este mică, însă bulele nu cresc. În aceste condiții are importanță numai desprinderea bulelor deci nu se justifică prelungirea menținerii oțelului în spațiul de vid după încetarea fierberii.

Barbotând cu argon suflat la fundul oalei din momentul în care fierberea slăbește, crește numărul bulelor care străbat oțelul, acesta este agitat și omogenizat mai intens.

3.3.4.4 Particularități privind turnarea și solidificarea oțelurilor inoxidabile

Turnarea oțelurilor inoxidabile este diferită pe grupe de mărci și chiar specifică mărcii în funcție de proprietățile fizico-chimice ale oțelului în stare lichidă. Dintre proprietățile care influențează direct comportarea oțelului la turnare și solidificare se enumera: viscozitatea, tensiunea superficială, temperatura lichidus și intervalul de solidificare.

Dintre elementele prezente în oțelurile inoxidabile influența cea mai însemnată asupra vâscozității și fluidității o are cromul. Variația vâscozității cinematice în sistemul fier-crom este redată în fig. 3.22 unde se poate observa că oțelurile cu conținut de crom de

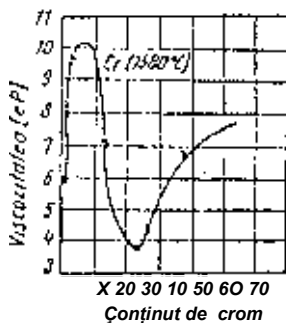


Fig. 3.22 Influența cromului asupra vâscozității în sis. Fe-Cr

5... 10% au cea mai ridicată viscozitate; această comportare se explică prin aceea că în astfel de topituri, în prezența carbonului și azotului, are loc crearea unor grupări preferențiale, de dimensiuni relativ mari, care determină creșterea energiei de activare a curgerii vâscoase. Cum odată cu creșterea în continuare a conținutului de crom se înmulțesc legăturile slabe, de tipul Fe-C și Cr-Cr, viscozitatea se micșorează, în această situație fiind majoritatea oțelurilor inoxidabile. Elementele care formează carburi, nitruri și oxizi, în oțelurile inoxidabile, măresc viscozitatea acestora. Prezența suspensiilor (incluziuni nemetalice cu dimensiuni max. 0,3

mm) provoacă creșterea vâscozității conform relației lui Einstein:

$$\eta = \eta_0 \cdot (1 + 2.59) \quad (3.42)$$

unde: η este viscozitatea topitului cu prezența suspensiilor;

η_0 - viscozitatea topitului fără suspensii; (p - cantitatea de suspensii).

Pentru verificarea fluidității oțelului se fac determinări tehnologice utilizând vâscozimetrul U sau spirală.

Este cunoscut faptul că viscozitatea (implicit și fluiditatea) depinde exponențial de temperatură prin relația:

$$\eta = \frac{A}{v} \cdot e^{\frac{E_v}{RT}} \quad (3.43)$$

în care A este o constantă caracteristică oțelului;

v - volumul specific al oțelului respectiv la 1873 °K;
R - constanta gazelor perfecte;
T - temperatura absolută.

Supraîncălzirea deasupra temperaturii lichidus determină comportarea la turnare, calitatea suprafeței lingourilor și structura acestora. Temperatura lichidus (TLd) se determină experimental prin analize termice sau se calculează cu relația:

$$T_{LD} = T_{LFe} - \sum C_j \cdot [\%j] \quad (3.44)$$

unde T_{LFe} - temperatura lichidus a fierului pus;

Q - factori de corecție specifici elementelor însoțitoare (de aliere) pentru 1% din elementul respectiv de aliaj (se adoptă din tabele).

Turnarea oțelurilor inoxidabile pentru construcții metalice se efectuează în lingouri destinate prelucrării la cald prin laminare sau forjare.

Se cunosc următoarele metode de turnare:

- turnarea prin sifon, care este cel mai des utilizată datorită reducerii defectelor de turnare;
- turnarea directă, practică în special în cazul lingourilor mari pentru forjă;
- turnarea continuă, oferă avantaje economice și calitate superioară a oțelului;
- turnarea centrifugă, mai rar utilizată la oțelurile inoxidabile;
- turnarea sub presiune, prezintă avantajul obținerii unor semifabricate de calitate superioară cu indici de scoatere mare;
- retopirea electrică sub zgură asigură lingouri de înaltă calitate și compactitate ridicată cu indici de scoatere cu 10-15% superioare tehnologiei clasice. Indiferent de metoda de turnare cei mai importanți parametri tehnologici sunt viteza de turnare și temperatura de turnare.

Parametrii care se corelează cu marca de oțel tipul lingoului, metoda de turnare și cu condițiile tehnologice în ansamblu.

Turnarea sub presiune intră în categoria metodelor speciale de turnare. Schematic procesul tehnologic se realizează ca în fig. 3.23 astfel că din oale cu oțel lichid sub acțiunea presiunii de argon metalul urcă în cristalizorul de grafit preîncălzit la 900-1000 °C.

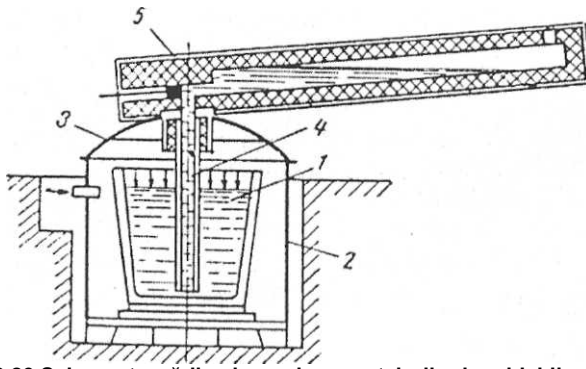


Fig. 3.23 Schema turnării sub presiune a oțelurilor inoxidabile

1 - oțel lichid; 2 - recipient sub presiune; 3 - mufă specială; 4 - tub de alimentare; 5 - cristalizor din grafit

Procesul decurge cu productivitate înaltă, ciclul cuprinzând:

- a) umplerea cristalizorului (cu dimensiuni 250x1000x9000 mm) în 90 s;
 - b) striparea după 9-12 min;
 - c) răcirea cu apă a cristalizorului în 5-6 min.;
 - d) acoperirea suprafeței interioare cu vopsea specială.
- Durabilitatea cristalizorului este de 1000-1200 turnări.

CAPITOLUL IV

Fonte

În capitolul II s-au prezentat aceste materiale metalice feroase din punct de vedere al compoziției chimice, structurii și metodelor de obținere. Spre deosebire de oțeluri aceste materiale nu prezintă o anumită clasă destinată în mod special construcțiilor metalice, domeniile lor de utilizare fiind foarte diverse. Fontele de a doua fuziune pot fi considerate însă utile alături de oțelurile pentru construcții metalice în aplicații ce vizează acest domeniu de utilizare vast denumit „construcții metalice”. În tabelul 4.1 sunt date principalele categorii de fonte de a doua fuziune alături de câteva din multiplele posibilități de utilizare.

Mărcile de fontă și condițiile tehnice de calitate sunt standardizate, în România fiind valabile atât standardele de stat cât și noile Standarde Române, care sunt versiuni în limba română a Standardelor Europene. În viitor standardele de stat vor fi înlocuite cu cele aliniate la Normele Europene.

Noua simbolizare a fontelor dată de Standardul Român SR EN 1560:1999 cuprinde o simbolizare alfanumerică și una numerică. Simbolizarea alfanumerică ocupă maxim șase poziții, cu următoarele semnificații:

- *poziția 1*: EN semnifică normele Europene;
- *poziția 2*: simbolul fontei GI unde G reprezintă piesă turnată și I fontă;
- *poziția 3*: simbolul caracteristic grafitului (L - lamelară; S-feroidală; M - maleabil; V - vermiculară; N - fără grafit; Y - structură indicată în standardul produs);
- *poziția 4*: simbolul macrostructurii sau microstructurii (A - austenită, F - ferită; P - perlită; M - martensită; L - ledeburită; Q - călită și revenită; B - inimă neagră (numai pentru fontele maleabile); W - inimă albastră);
- *poziția 5*: simbolul de clasificare în funcție de caracteristicile mecanice sau în funcție de compoziția chimică. Poziția se separă prin cratimă de precedentă. Simbolul este reprezentat prin cifre.

Fig. 4.1 Tipuri de fonte de a doua fuziune și utilizări principale

Nr. crt.	Tipul fontei	STAS	Symbol	Domenii de utilizare
1.	Fonte cenușii cu grafit lamelar turnate în piese	569-82	Fc	Lingotiere, carcase, forme metalice, fittinguri, suporturi și sănii pentru mașini unelte, batiuri, bloc motor, cilindri motor, arbori cotiți, roți dințate segmente de ungere și etanșare, corpuri de pompe. ($R_m = 100+400 \text{ N/mm}^2$, $A_5 < 1,2\%$; $KCU < 3,2 \text{ J/cm}^2 < \text{HB} - 100-300$)
2.	Fonte cenușii turnate în piese pentru mașini unelte	8341-86	Fcx	Montanți .traverse, batiuri, cărucioare, sănii etc (HB = 170-450, E = $(90-130) \times 10^3 \text{ N/mm}^2$)
3.	Fonte maleabile turnate în piese	569-79	Fm	În construcția de mașini și în instalații hidraulice pentru piese cu tenacitate mare: bucușe, cămăși de cilindri, roți dințate, arbori cotiți, amtrite, tamburi de frână, arbori cu came etc. ($R_m = 300-700 \text{ N/mm}^2$)
4.	Fonte cu grafit nodular turnate în piese	6071-82	Fgn	Piese de mare rezistența mecanică, rezistență la oxidare, uzare și șoc termic în construcția de mașini, arbori cotiți, segmenti, tamburi pentru ???m roți dinațate, cremaliere, fittinguri din gotiere, cilindri de laminor etc ($R_m = 350-1400 \text{ N/mm}^2$, $A_5 = 4 - 18\%$)
5.	Fonte cu grafit vermicular turnate în piese	12443-86	Fgv	Lingotiere mari, batiuri pentru mașini unelte, chiuloase pentru motoare Diesel, pistoane, segmenti, armături industriale, corpuri de pompe carcase. ($R_m = 300-650 \text{ N/mm}^2$, $KCV = 20 \text{ J/cm}^2$, $A_5 = 1 - 10\%$)
6.	Fonte rezistente la uzură în condiții de frecare cucergerne turnate în piese	6707-79	F _{cA} F _{grA} F _{rrA}	Segmenti de piston pentru motoare termice, piese care lucrează în condiții de uzură cu viteză periferică mare, în contact cu arbori din oțel tratați sau netratați termic.
7.	Fonte rezistente la uzură abrazivă turnate în piese	11246-79	F _a	Corpuri de măcinare, cilindri de laminor, săboți de frână, fălci de cocasor (HB = 350-500, $R_m = 200-400 \text{ N/mm}^2$, $KCV=0$)
8.	Fonte austenitice turnate în piese	10066-75	Fal, Fagn	Carcase sub presiune pentru generatoare de turbină, piese rezistente la coroziune în baze, acizi diluați, apă marină, soluții de săruri rezistente la cald, piese rezistente la șoc termic cu dilatare termică mică

Tabelul 4.2 Exemple de mărci de fonte conform simbolizării SR EN 1560:1990

Nr. crt.	Marca fontei	
1.	EN-GJL-150	Fontă cu grafit lamelar cu $R_m = 150$ NW.
2.	EN-GJL-150C	Fontă cu grafit lamelar cu $R_m = 150$ N/mm ² din probă prelevată din piesă turnată.
3.	EN-GJL-150U	Fontă cu grafit lamelar cu $R_m = 150$ N/mm ² din probă atașată la piesă turnată.
4.	EN-GJL-150S	Fontă cu grafit lamelar cu $R_m = 150$ N/mm ² din probă turnată separat.
5.	EN-GJL-HB155	Fontă cu grafit lamelar cu duritatea HB = 155.
6.	EN-GJV-150S	Fontă cu grafit vermicular cu $R_m = 150$ N/mm ² din probă turnată separat.
7.	EN-GJMW-360-12S	Fontă maleabilă cu inimă albă cu $R_m = 360$ N/mm ² ; A = 12% din probă turnată separat.
8.	EN-GJMB-300-6S	Fontă maleabilă cu inimă neagră cu $R_m = 300$ N/mm ² ; A = 8% din probă atașată la piesă turnată.
9.	EN-GJS-800-8U	Fontă nodulară (cu grafit sferoidal) cu $R_m = 800$ N/mm ² ; A = 8% din probă atașată la piesă turnată.
10.	EN-GJS-400-18S-RT	Fontă nodulară (cu grafit sferoidal) cu $R_m = 400$ N/mm ² , cu energia minimă la rupere prin șoc pe epruvete Charpy cu creștătură de 18 J, din probă atașată la piesă turnată, la temperatura ambiantă (23 °C).
11.	EN-GJL-XNi-Mn13-7	Fontă cu grafit lamelar cu %Ni = 13; %Cr = 7.
12.	EN-GJN-X300CrNiSi9-5-2	Fontă albă (fără grafit) cu %C = 3; %Cr = 9; %Ni = 5; %Si = 2.

Rezistența la tracțiune se indică prin valori minime în [N/mm²] ca de exemplu: EN-JGL-150C unde 150 este rezistența la tracțiune în N/mm² iar C simbol care indică modul de prelevare a probelor. În exemplul dat C reprezintă probă prelevată din piesa turnată. Mai există două simboluri: U - probă atașată la piesă și S - probă turnată separat.

Alungirea se indică imediat după valoarea minimă a rezistenței la tracțiune prin valori minime corespunzătoare mărcii și are valoarea exprimată în procente. Se dă un exemplu: EN-GJMW-450-7S unde cifra 7 reprezintă alungirea.

Rezistența la încovoiere la șoc, dacă se specifică se indică imediat după valoarea minimă a rezistenței la tracțiune prin valori minime corespunzătoare mărcii, exprimate în N/mm².

Temperatura la care se determină rezistența la încovoiere prin șoc se indică prin litere (RT - temperatură ambiantă, LT - temperatură scăzută) ca în exemplu: EN-GJS-400-18S-RT.

În cazul clasificării funcție de duritate intervine unul din simbolurile cunoscute: HB, HV, HR, ca în exemplul: EN-GJL-HB155.

- *poziția 6*: o literă care reprezintă condiții suplimentare și se separă de poziția 5 prin cratimă, ca în exemplul: EN-JMW-360-12S-W (W - sudabilitate pentru suduri de îmbinare; D - piesă brută turnată; H - piesă supusă tratamentului termic; Z - condiții suplimentare specificate în comandă).

În tabelul 4.2 sunt prezentate câteva exemple de mărci de fonte, cu unele observații privind structura sau caracteristicile mecanice, conform SR EN-urilor.

CAPITOLUL V

Aliaje neferoase

Cu toate că în prezenta lucrare s-au avut în vedere în principal materialele metalice feroase pentru construcții metalice, am considerat că se cuvine să menționăm și aliajele neferoase, mai ales datorită evoluției acestora în direcția înlocuirii oțelurilor și fontelor. O ascensiune considerabilă în acest sens au înregistrat-o aliajele de aluminiu în special în sfera structurilor îmbinate cu și fără sudură, în construcția de automobile, în transportul fluidelor (înlocuirea țevilor din oțel și fontă) sau în domenii speciale cum ar fi tehnica aerospațială. Din multitudinea de aliaje neferoase (pe bază de Ni, Ti, Cr, Mo, Sn, Au, Ag) cea mai largă utilizare o au aliajele de aluminiu și aliajele pe bază de cupru.

Aluminiul este cel mai răspândit metal de pe suprafața Terei, găsindu-se într-o concentrație de 7% în litosferă. Se utilizează atât în stare pură cât și sub formă de aliaje. În stare pură este folosit pentru conductoare electrice în construcția aeronautică și de autovehicule, la fabricarea obiectivelor de uz casnic. Sub formă de aliaj se utilizează în special sub formă de aliaje binare cu Cu, Mg, Zn, Mn, Si, Ni, Fe sau complexe de tip duraluminu, aliaje pentru pistoane etc.

Aliajele aluminiului sunt destinate obținerii produselor deformate plastic atunci când nu conțin mult aluminiu și nu au eutectice în structură (Al-Cu; Al-Mn; Al-Mg, duraluminu etc.) și pentru turnare când au mai puțin aluminiu și au eutectice în structură (Al-Cu; Al-Si; Al-Mg, duraluminu etc). Creșterea proprietăților de rezistență a aliajelor de aluminiu se realizează prin ecruisare sau călire de punere în soluție și îmbătrânire. Mărcile de aliaje de aluminiu și condițiile tehnice de calitate sunt prezentate atât în standardele de stat (STAS 7607/1-86, 7608-80, 201/1-80) cât și în noile standarde române (SR EN 573-1:1995). În tabelul 5.1 sunt prezentate câteva mărci de aliaje de aluminiu, conform SR EN 573-1:1995 cu simbolizarea alfanumerică a acestora.

Tabelul 5.1 Mărci de aluminiu și de aliaje pe bază de aluminiu conform SR EN 573-1:1995

Nr. crt.	Marca aluminiului sau aliajului pe bază de aluminiu	Categoria aluminiului sau aliajului pe bază de aluminiu
1.	EN AW-1100 [Al 99,0%]	Aluminiu tehnic (Al = 99,00%)
2.	EN AW-1070 [Al 99,7%]	Aluminiu tehnic (Al = 99,70%)
3.	EN AW-1199 [Al 99,99%]	Aluminiu tehnic (Al = 99,99%)
4.	EN AW-2011 [AlCu6BiPb] (A = aluminiu; W = wrought)	Aliaj de aluminiu cu cupru, deformabil (Cu = 6%; Bi < 1%; Pb < 1%). (Cuprul este elementul principal de aliere; conținuturile de bismut și de fier sunt date în ordine alfabetică).
5.	EN AW-7050 [AlZn6CuMgZr]	Aliaj de aluminiu cu zinc, deformabil (Zn = 6%; Cu < 1%; Mg < 1%; Zr < 1%). (Cuprul este elementul principal de aliere; simbolurile chimice sunt limitate la patru elemente de aliere).
6.	EN AC-21000 [AlCu4MgZTi] (A = aluminiu; C = cast)	Aliaj de aluminiu cu cupru, turnat (Cu = 4%; Mg < 1%; Ti < 1%).
7.	EN AC-4400 [AlSi11]	Aliaj de aluminiu cu siliciu, turnat (Si = 11%).

Semnificațiile simbolurilor utilizate la simbolizarea alfanumerică a mărcilor de aluminiu și aliaje deformabile pe bază de aluminiu este dată de Standardul Român SR EN 573-1:1995 care este identic cu Standardul European EN 573-1:1994, reprezentând traducerea în limba română a acestuia. Aliajele de aluminiu pentru deformare au proprietăți mecanice bune (de exemplu, duraluminiul are $R_m = 480-500 \text{ N/mm}^2$, $HB = 150$), iar în funcție de compoziția lor chimică au rezistență la coroziune mare (cu excepția duraluminiului care pentru creșterea rezistenței la coroziune se plachează prin metalizare cu aluminiu), refractaritate bună și coeficient redus de dilatare - în special cele din sistemul Al-Cu-Ni-Fe-Mg pentru pistoane). Aliajul AlZn6Mg2,5Cu1,5 (duralumin cu zinc) are cea mai înaltă rezistență mecanică ($R_m = 500-700 \text{ N/mm}^2$) și o bună rezistență la coroziune. Comportarea la oboseală a aliajelor de aluminiu este diferită de cea a aliajelor feroase, prin faptul că și la un număr foarte mare de cicluri de rezistență la oboseală scade continuu, în special la aliajele durificabile prin îmbătrânire, la care lipsește palierul de pe curba caracteristică.

Aliajele de aluminiu deformabile se utilizează sub formă de bare profile, table, benzi, piese laminate, matrițate, forjate extrudate, bare trase, trefilate etc. care pot fi tratate superficial prin oxidare anodică (eloxare) sau placare care le conferă densitate superficială, existență la uzură și la coroziune mare. Aceste produse sunt utilizate

în construcții navale, construcții civile, suprastructuri de aeronave, containere, elice, recipiente, conducte etc.

Aliajele pe bază de cupru cele mai utilizate sunt bronzurile (Cu-Si, Cu-Al, Cu-Be, Cu-Pb, Cu-Si, Cu-Mn etc.) și alamele (Cu-Zn). Aceste aliaje mai pot conține două sau trei elemente de aliere formând sisteme complexe. Cuprul de puritate înaltă, rafinat electrolitic este utilizat atât ca materie primă pentru obținerea aliajelor enumerate cât și sub formă de produse (bare, plăci, benzi, table, sârme pentru utilizări în industria constructoare de mașini și electrotehnică, chimică etc. Cuprul pur și aliajele sale poate fi prelucrat prin deformare plastică și prin tunare.

Compoziția chimică a aliajelor pe bază de cupru și caracteristicile mecanice sunt standardizate atât conform standardelor de stat (STAS 2033-80, 1512-80, 1096-83, 95-87, 93-80, 197/2-83, 198/2-81, 199/2-86, 204-77) cât și conform standardelor române SR ISO 1990:1993. În tabelul 5.2 sunt date câteva exemple de mărci de cupru și aliaje pe bază de cupru conform noii standardizări SR ISO 1190/1:1993.

Tabelul 5.2 Mărci de cupru și aliaje pe bază de cupru conform SR ISO 1190/1:1993

Nr. crt.	Marca cuprului sau aliajului pe bază de cupru	Categoria cuprului sau aliajului pe bază de cupru
1.	Cu-FRTP (Furnace Refined Tough Pitch)	Cupru rafinat termic, cu oxigen (Cu s 99,00%)
2.	Cu-FRHC (Furnace Refined High Conductivity)	Cupru rafinat termic, dezoxidat cu fosfor, cu conductivitate electrică ridicată (Cu £ 99,00%)
3.	Cu/DHP (Desoxygenized High Phosphorus)	Cupru rafinat termic, dezoxidat cu fosfor, cu conținut ridicat de fosfor (Cu > 99,00%) (P = 0,013-0,050%)
4.	Cu-DLP (Deoxygenized, Low Phosphorus)	Cupru rafinat electrolitic, retopit în aer, cu oxigen (Cu £ 99,00%)
5.		Cupru rafinat electrolitic, retopit în aer, dezoxidat cu fosfor, cu conținut scăzut de fosfor (Cu Z 99,00%), (P = 0,004-0,012%)
6.	Cu-OFE (Oxygen Free Extra)	Cupru rafinat electrolitic, retopit în atmosferă inertă, fără oxigen, super (Cu = 99,00%)
7.	CuZn36Pb3	Aliaj pe bază de cupru cu Zn = 36% și Pb = 3%, deformabil (Alamă cu zinc și plumb)
8.	GS CuZn40MnAl	Aliaj pe bază de cupru cu Zn = 40%, Mn = 1%, turnat în amestec de formare (Aliaj cu mangan și aluminiu)
9.	GM CuZn40MnAl	Aliaj pe bază de cupru cu Zn = 40%, Mn = 1%, și Al = 1%, turnat în cochilă (Alamă cu mangan și aluminiu)
10.	CuAl1Fe5Ni5	Aliaj pe bază de cupru cu Al = 1%, Fe = 5% și Ni = 5%, deformabil (Aluminiul este elementul principal de aliere; conținuturile de fier și nichel sunt menționate în ordine alfabetică)
11.	CuNi18Zn27	Aliaj pe bază de cupru cu Ni = 18% și Zn = 27%, deformabil (Maillechort) (Nichelul este elementul principal de aliere)

Simbolizarea alfanumerică conform SR ISO 1190/1:1993 conține simbolul chimic „Cu”, urmat de o serie de litere majuscule, care se referă la tipul cuprului, în cazul mărcilor de cupru rafinat (vezi tabelul 5.1). Aliajele de cupru conțin simbolul elementului de bază „Cu” și cele ale elementelor de aliere urmate de valorile concentrației în ordine descrescătoare. Aliajele turnate în piese conțin prefixul G urmat de o altă literă în funcție de procedeul de turnare: GS - turnat în nisip, GM - tunare în corbilă, GZ - turnare centrifugală, GC -turnare continuă, GP - turnare sub presiune, GV - turnare cu vibrație.

Următoarele simboluri exprimă stările de bază de livrare a produselor:

- **M** - recopt, pentru produsele deformate care au fost supuse unei recoaceri complete și pentru produsele turnate, supuse unei recoaceri destinate îmbunătățirii ductilității și stabilizării caracteristicilor;

H - simbol urmat întotdeauna de o a doua literă corespunzătoare diferitelor grade de ecrusare;

- **T** - (tratată termic) pentru produsele a căror rezistență mecanică poate fi îmbunătățită prin tratament termic, asociat sau nu, cu o ecrusare suplimentară.

Se pot aplica pentru Cu și aliajele sale următoarele tratamente termice: călire, recoacere de omogenizare, restaurare și recristalizare.

Pentru mărcile de cupru elaborate în România sunt valabile atât reglementările date de STAS-uri cât și cele conform SR ISO până la o înlocuire integrală a vechii standardizări cu cea nouă.

Bibliografie

1. Alexandru, I., Popovici, R., Călin, M., Bulancea, V., Alexandru, A., Baciuc, C., Cojocaru, V., Carcea, I., Paloșanu, G., *Alegerea și utilizarea materialelor metalice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1997
2. Brădie, V., Bratu, C., Chira, I., *Tehnologia elaborării și turnării oțelului*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979
3. Sofroni, L., *Elaborarea și turnarea aliajelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1975
4. Vacu Silvia, Ursu, V., Faur, S., Rizescu, C., Dobrescu, M., Miha, V., Berceanu, E., Marinescu, I., Moldovan, V., *Elaborarea oțelurilor aliate*, voi. I și II, Editura Tehnică, București, 1980
5. Ciucescu, D., Ciucescu, E., *Oțeluri microaliate cu limită de curgere ridicată (HSLA)*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 2000
6. Cicescu, D., *Studiul materialelor*, Editura Plumb, Bacău, 2001
7. Dădea, S., *Manualul inginerului metalurg*, Editura Tehnică, București, 1978.
8. Cojocaru, V., *Bazele elaborării aliajelor feroase*, Editura Cermi, Iași, 1997
9. *Bases de choix des acirs en construction metallique*, O.T.U.A., Paris, 1986
10. *Bases de choix des aciers a outils*, O.T.U.A., Paris, 1986
11. *Metals Handbook*, voi. I, Metals Park, Ohio, American Society for Metals, 1978
12. Trusculescu, M., *Oțeluri inoxidabile și refractare*, Editura Facla, Timișoara, 1983
13. Geru, N., *Metalurgie fizică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
14. Geru, N. ș.a., *Teoria structurală a proprietăților metalelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980
15. *Materiale metalice. Structură, proprietăți, utilizări*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1995
16. Geru, N., ș.a., *Proprietățile metalelor și metode fizice de control*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1967
17. Hatarăscu, O. ș.a., *Îndreptar de metalurgie*, Editura Tehnică, București, 1998
18. Hopulele, I., Alexandru, I., Gălușcă, D.G., *Tratamente termice și termochimice*, voi. I-II, Institutul Politehnic Iași, 1983
19. Cheșa, I., Lascu-Simion, N., Mureșanu, C., Rizescu, C., Teodorescu, S.M., *Mărci și produse din oțel*, Editura Tehnică, București, 1989

20. Cojocaru, V., *Fonte utilizate în construcția de mașini*, Editura „Gh. Asachi” Iași, 1995
21. Baci, G., Alexandru I., Popovici, R., Baci, M., *Știința materialelor metalice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1996
22. Ioniță, Gh., Coșmeleață, D., Bane, M., Coșmeleață, G., Dumitrescu, C., *Evoluția și proprietățile materialelor*, Editura Științifică Fundația Metalurgică Română, București, 2001
23. *Culegere de standarde comentate, Țevi de oțel*, voi. I și II, Asociația de Standardizare din România, București, 1999
24. *Culegere de standarde comentate*, Supliment Oțeluri, Asociația de Standardizare din România, București, 1999
25. *Culegere de standarde comentate, Fonte și oțeluri turnate*, Institutul Român de Standardizare, București, 1996