



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSOANELOR VÂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



UNIVERSITATEA
TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA

Investește în oameni!

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

AXA PRORITARĂ 1 "Educația și formarea profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere".

DOMENIUL MAJOR DE INTERVENȚIE 1.3 "Dezvoltarea resurselor umane în educație și formare profesională"

TITLUL PROIECTULUI: "Școală universitară de formare inițială și continuă a personalului didactic și a trainerilor din domeniul specializărilor tehnice și ingineresti - DidaTec"

COD CONTRACT: POSDRU/87/1.3/S/60891

BENEFICIAR: Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Modulul 11: Fonte și oțeluri. Oțeluri aliate. Tipuri de oțeluri utilizate în construcții

Autor: S.I. dr. ing. Larisa Meliță
Departamentul de Căi Ferate, Drumuri, Poduri și Materiale
Universitatea Tehnică de Construcții București

Scop



Modulul 11 al cursului de *Materiale de Instalații* vă prezintă noțiuni referitoare la elaborarea fontelor și oțelurilor precum și tipurile de oțeluri folosite în construcții. De asemenea, vă precizează cum se obțin aceste oțeluri, vă face o clasificare a acestora, după compoziție și destinație, și vă prezintă simbolizarea lor alfanumerică.

Obiective



La finalul Modulului 11 veți putea să:

1. Explicați cum se elaborează fontele și oțelurile.
2. Faceți o clasificare a fontelor după procesul lor de elaborare.
3. Precizați care sunt elementele de aliere ale oțelurilor.
4. Clasificați oțelurile după compoziția chimică.
5. Clasificați oțelurile după destinație.
6. Citiți simbolizarea alfanumerică a oțelurilor și să o explicați.

Durată



Durata medie de studiu individual: 2 ore.



11.1. Generalități

Fontele și oțelurile sunt aliaje ale fierului cu carbonul, cele mai cunoscute și utilizate materiale metalice. Oțelurile au un conținut de carbon cuprins între 0 și 2,11%, fontele între 2,11 și 6,67%, iar în practică se utilizează oțeluri cu până la 1,5% C și fonte cu până la 4,5% C. Aliajele fier-carbon mai conțin: *mangan* – care mărește duritatea și rezistența la uzură, *siliciu* – care crește elasticitatea și rezistența la oboseală, *fosfor și sulf* – elemente dăunătoare care nu se pot înlătura complet; fosforul produce fragilitate la rece, iar sulful, fragilitate la cald.

Fierul este un metal de culoare cenușie-albastră, cu densitatea de 7870 kg/m^3 și temperatura de topire de 1538°C care cristalizează în forme cristalografice diferite, în funcție de temperatură: C.V.C. (cub cu volum centrat) care are 48 de plane de alunecare și C.F.C. (cub cu fețe centrate) care are 12 plane de alunecare (vezi Modulul 8). Trecerea de la o stare alotropică la alta este însoțită de degajare sau absorbție de căldură latentă de transformare, care se realizează la temperaturi bine definite ce se numesc **puncte critice de transformare alotropică**. Pe curba de răcire a fierului pur (fig. 11.1) aceste puncte sunt evidențiate prin paliere (punctele A_{r3} și A_{r4}).

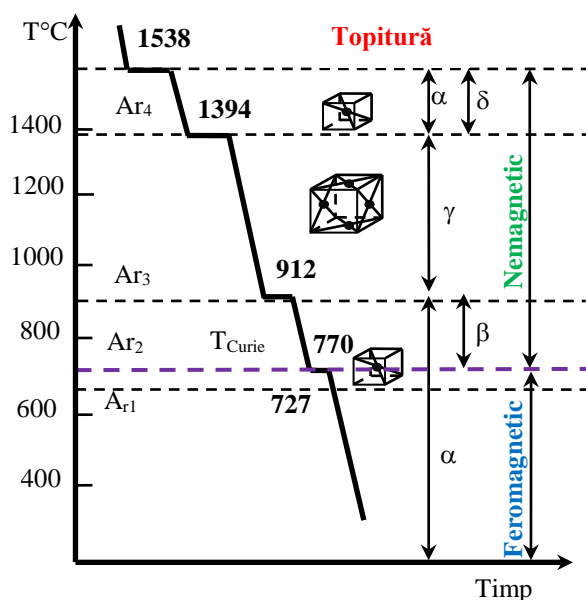


Figura 11.1 Curba de răcire a fierului pur

Din diagrama de răcire a fierului pur se observă că:

Fierul α are o structură cristalină cubică cu volum centrat (C.V.C.) și este stabil de la temperatura ambiantă până la temperatura de 912°C , A_{r3} . Între temperatura ambiantă și temperatura de 770°C , A_{r2} care se numește **punctul Curie**, fierul α este feromagnetic, iar peste 770°C devine paramagnetic. Din această cauză, inițial, formei structurale de fier existente între 770°C și 912°C i s-a dat denumirea de fier β . Ulterior s-a renunțat la această denumire deoarece între fierul α și fierul β nu există alte diferențe.

Fierul γ are o structură cristalină cubică cu fețe centrate (C.F.C.) și este stabil între 912°C și 1394°C , A_{r4} .

Fierul δ are o structură cristalină cubică cu volum centrat (C.V.C.) și este stabil între 1394°C și temperatura de topire, 1538°C .

Punctul A_{r1} nu apare pe diagrama de răcire a fierului pur, sub formă de palier, pentru că nu se întâlnește la acesta, ci doar la aliajele fierului cu carbonul adică la fonte și oțeluri.

Cea mai importantă transformare a fierului, din punct de vedere practic, este cea de la 912°C , când αFe trece în γFe , transformare însoțită de o mărire bruscă de volum a celei elementare de cristalizare. Fierul α are celula elementară mai mică (C.V.C.) și dizolvă la 727°C maxim 0,02% C, formând soluția solidă numită **ferită**, iar fierul γ are celula elementară mai mare (C.F.C.) și dizolvă la 1148°C maxim 2,11% C, formând soluția solidă numită **austenită**.

Fierul se prelucurează bine prin deformare plastică la cald și la rece, se sudează, se lipește și are o așchiabilitate bună.

11.2. Diagrama fier-carbon

Fierul, cel mai utilizat metal în industrie, reprezintă 95% din producția mondială de metale, ca și masă. În stare pură are o culoare alb-argintie, este moale ($\text{HB} = 70$ unitati Brinell) și are foarte puține utilizări în tehnică. Împreună cu cel mai important element chimic de aliere al său carbonul, formează cele mai cunoscute aliaje: oțelul și fonta, în care rezistența mecanică poate crește și peste 1000 ori. Astfel, Fe și C realizează o diagramă de solubilitate totală în stare lichidă și parțial solubilă în stare solidă. Carbonul se găsește pe diagrama fier-carbon fie în stare pură, sub formă de grafit, fie sub forma compusului chimic Fe_3C numit **cementită**.

Diagrama fier – carbon, prezentată în fig. 11.2, este o diagramă complexă compusă din trei diagrame binare, *cu eutectic*, *cu eutectoid* și *cu peritectic*, iar principalii constituenți metalografici ai săi sunt:

a) Constituenții structurali omogeni

- **ferita** - o soluție solidă de intersiție de carbon în αFe , cu un conținut foarte redus de carbon, între 0,006% la temperatura obișnuită până la 0,02% la 727°C ; este moale, maleabilă și feromagnetică până la 770°C – temperatura Curie, devenind paramagnetică peste această temperatură;

- **austenita** – soluție solidă de interstiție de carbon în γFe cu max. 2,11% C la 1148°C ; limita de saturație a carbonului (între 2,11% și 0,77%,) în γFe scade cu temperatura de la 1148°C la 727°C și este însoțită de separarea carbonului sub formă de cementită secundară, $\text{Fe}_3\text{C}^{\text{II}}$; austenita este relativ moale ($\text{HB} = 200 \text{ daN/mm}^2$), are rezistență mecanică mare ($R_m = 750 \text{ N/mm}^2$), este plastică ($A_{p r} = 50\%$), tenace cu $\text{KCU} = 20 \text{ daN/cm}^2$ și rezistentă la coroziune; este nemagnetică și stabilă în oțeluri și fonte la temperaturi peste 727°C , iar în oțelurile înalt aliate este stabilă chiar la temperatura obișnuită;

- **cementita** (Fe_3C) – compus chimic cu 6,67% C, foarte dur ($\text{HB} = 700\text{-}800 \text{ daN/mm}^2$) și casant. După aspectul la microscopul metalografic aceasta poate avea o structură lamelară, globulară, iar după momentul de apariție poate fi: **cementită primară** ($\text{Fe}_3\text{C}^{\text{I}}$) care apare direct din faza lichidă, **cementită secundară** ($\text{Fe}_3\text{C}^{\text{II}}$) care se separă din faza solidă și **cementită terțiară** ($\text{Fe}_3\text{C}^{\text{III}}$) care se separă din ferită la temperatura de 727°C producând o scădere a plasticității fierului. Este foarte fragilă ($\text{KCU} = 0$), se topește la aproximativ 1600°C și este slab feromagnetică sub 210°C , după care își pierde proprietățile magnetice peste această temperatură.

b) Constituenți structurali eterogeni

- **perlita** - *eutectoidul* sistemului - amestec mecanic de ferită și cementită secundară, $\text{Fe}_3\text{C}^{\text{II}}$ cu 0,77% C la 727°C (punctul S), ce se separă din faza solidă. După aspectul la microscopul metalografic

poate fi: lamelară, globulară sau în rozetă, are o duritate medie ($HB = 205 \text{ daN/mm}^2$), rezistență mecanică mare ($R_m = 800-850 \text{ N/mm}^2$), alungire la rupere bună ($A_{pr} = 15\%$), reziliență satisfăcătoare și este feromagnetică;

- **ledeburita** – *eutecticul* sistemului - cu 4,3% C la 1148°C (punctul C) este formată dintr-un amestec mecanic de austenită și cementită primară, Fe_3C^I ; este dură și fragilă, iar sub 727°C se transformă în perlită și cementită.

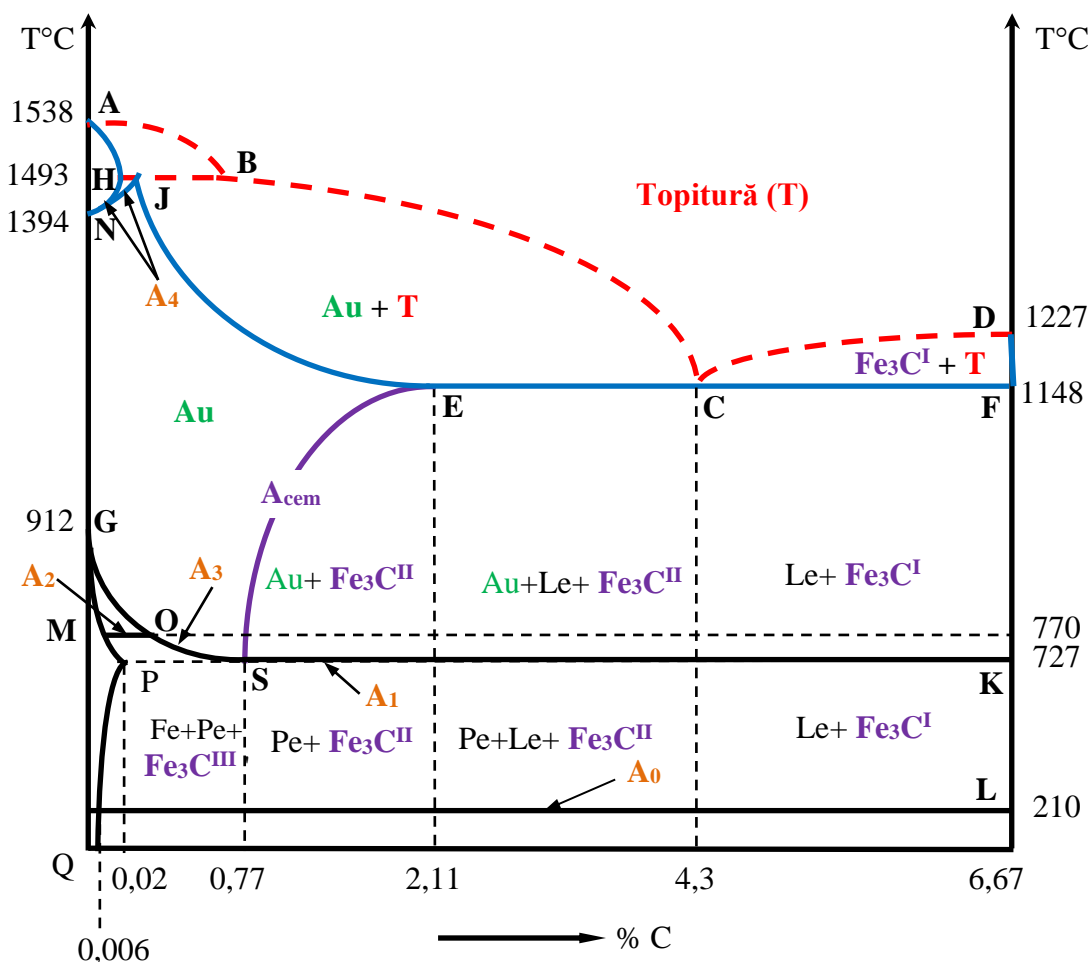


Figura 11.2. Diagrama fier – carbon

c) **Principalele puncte ale diagramei Fe-C sunt următoarele:**

- A – punctul de topire al fierului pur, 1538°C ;
- B – punct de tranziție;
- J – punct peritectic;
- H – punctul de solubilitate maximă a carbonului în δFe , 1493°C ;
- N – punctul de transformare alotropică ($\delta\text{Fe} \Leftrightarrow \gamma\text{Fe}$), 1394°C ;
- D – punctul de topire a cementitei, 1227°C ;
- E – punctul de solubilitate maximă a carbonului în γFe , 1148°C ;
- C – punct eutectic;
- F – punct de tranziție;
- G – punctul de transformare a ($\gamma\text{Fe} \Leftrightarrow \alpha\text{Fe}$), 912°C ;
- M – punctul de transformare magnetică, 770°C ;

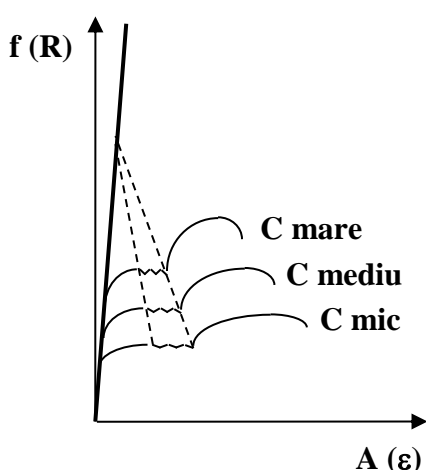
- O - punctul de transformare magnetică 770°C ;
- P - punct de solubilitate maximă a carbonului în αFe , 727°C ;
- S - punct eutectoid;
- K - punct de tranziție;
- Q - punct de solubilitate maximă în αFe la temperatura ambiantă;
- L - punct de tranziție.

d) **Linia ABCD este linia lichidus**, iar **linia AHJECFD este linia solidus**. De asemenea, pe diagramă mai apar linii de transformare în stare solidă astfel:

- Linia A_0 corespunzătoare izotermei de la 210°C evidențiază temperatura Curie a cementitei;
- Linia A_1 sau PSK arată sfârșitul transformării eutectoide a austenitei în perlită;
- Linia A_2 sau MO corespunzătoare izotermei de la 770°C evidențiază temperatura Curie a feritei;
- Linia GP arată sfârșitul transformării austenitei în ferită;
- Linia A_3 sau GOS arată începutul transformării austenitei în ferită;
- Linia ES sau A_{cem} arată separarea cementitei secundare C^{II} din austenită la răcire;
- Linia A_4 corespunzătoare liniei HN este linia sfârșitului transformării soluției solide γFe în soluție solidă $\delta (\alpha)\text{Fe}$;
- Linia A_4 corespunzătoare liniei JN este linia începutului transformării soluției solide γFe în soluție solidă $\delta (\alpha)\text{Fe}$.

e) **Aliajele Fe-C care conțin între 0,006 și 2,11% C se numesc oțeluri** care la rândul lor se clasifică după conținutul de carbon în:

- oțeluri hipoeutectoide (0,006-0,77% C) care au în structura lor ferită și perlită, aceasta din urmă crește proporțional cu creșterea conținutului de C;
- oțeluri eutectoide (0,77% C) care, după tratamentul termic de recoacere (vezi Modulul 12), au în structura lor numai perlită;
- oțeluri hipereutectoide (0,77-2,11% C) care au în structura lor cementită secundară și perlită.



Conținutul de C în oțeluri influențează curbele caracteristice ale acestora. Astfel, un procent crescător de C conduce la creșterea de cementită, constituent chimic foarte dur, care duce la îngustarea palierului de curgere, la micșorarea alungirii și gâtuirii la rupere. Prin urmare, cresc: limita la curgere, rezistența la rupere (fig.11.3) și duritatea oțelurilor.

Figura 11.3 Variația palierului de curgere la oțelurile cu un conținut variabil de C

f) *Aliajele Fe-C care conțin între 2,11% C și 6,67 % C se numesc fonte* care se clasifică după conținutul de carbon în:

- *fonte hipereutectice* (2,11-4,3% C) care au în structura lor perlită și ledeburită;
- *fonte eutectice* (4,3% C) care au în structura lor numai ledeburită;
- *fonte hipereutectice* (4,3-6,67% C) cu ledeburită și cementită în structura lor.

Mai jos sunt prezentate microstructurile unor constituenți structurali ai aliajelor Fe – C.

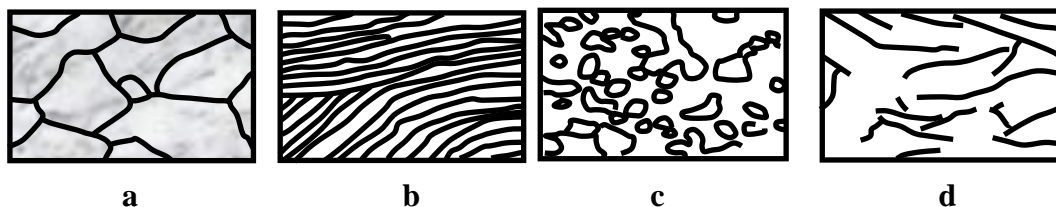


Figura 11.4 Microstructura unor constituenți structurali ai aliajelor Fe-C. (a) firită x 250; (b) perlita lamelară x 500; (c) perlita globulară x 500; (d) fontă cenușie cu grafit lamelar x 500.

Diagrama fier-carbon se utilizează cel mai mult în industria metalurgică pentru a se preciza temperaturile de topire ale aliajelor, pentru precizarea condițiilor de compoziție și temperatură la aplicarea tratamentelor termice aliajelor metalice, pentru stabilirea temperaturilor optime de prelucrare prin deformare plastică la cald a oțelurilor etc.

11.3. Elaborarea fontei

Fonta, care este un aliaj al fierului cu carbonul în procent de 2,11 - 6,67%, se elaborează din *minereuri de fier* ce conțin: magnetită Fe_3O_4 ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), hematită Fe_2O_3 , limonită $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, siderita FeCO_3 și pirită, împreună cu *mangan*, *fondați* pentru formarea zgurii, *combustibil*, care prin ardere furnizează carbon și căldura necesară topirii materiilor prime solide, și *aer îmbogățit cu oxigen* pentru întreținerea arderii. Pirită, deoarece are un conținut considerabil de sulf (~ 30%), înainte de a fi utilizată se supune procesului termic de prăjire pentru îndepărtarea sulfului; se obțin oxizii de sulf care se folosesc la fabricarea acidului sulfuric, iar cenușa de pirită care rezultă după prăjire, deoarece conține Fe_2O_3 , se utilizează la elaborarea fontei.

Fonta se elaborează într-un cuptor înalt care se numește *furnal*, în urma unor reacții fizico-chimice complexe, împreună cu zgura și gazele de furnal.

Minereurile de fier înainte de a fi introduse în furnal sunt procesate prin: mărunțire (concasare și măcinare), clasare, îmbogățire în fier (minereu util) prin procedee electromagnetice sau prin flotație și aglomerare (brichetare). Sterilul sau impuritățile minereurilor este alcătuit din roci silicioase (cuarț, argilă) și se numește ganga.

Fondații au rolul de a reduce temperatura de topire a minereului de fier și de a se combina cu sterilul din minereu cu care formează zgura. Se pot folosi ca fondați: calcarul, dolomitul sau cuarțitul în funcție de natura sterilului (acidă sau bazică).

Combustibilul utilizat este *cocsul metalurgic* care are dublu rol: de reducător al oxizilor de fier și sursă de carbon care se aliază cu fierul și formează fonta.

Elaborarea continuă a fontei în furnal se bazează pe *principiul contracurentului*. Pe la partea superioară se introduc materiile prime (minereurile de fier, cocs și fondanți), în straturi alternative, care formează *curentul descendent*; acestea avansează în cuptor pe măsură ce zgura și fonta se formează și se evacuează pe la partea inferioară; gazele de ardere fierbinți, care rezultă, formează *curentul ascendent* evacuându-se pe la partea superioară a furnalului (fig.11.5).

Furnalul căptușit cu cărămidă refractară este alcătuit din: *cuvă* de formă tronconică pentru a favoriza coborârea materiilor prime, *pântece* de formă cilindrică, *etalaj* de formă tronconică și *creuzet* de formă cilindrică (fig. 11.5).

Sub acțiunea gazelor, prin arderea combustibilului și a căldurii rezultate, încărcătura coboară treptat în furnal către zonele de temperatură înaltă. În aceste zone ia naștere fonta lichidă, care se scurge în partea de jos a furnalului numită creuzet. Zona creuzetului este cea mai solicitată deoarece trebuie să reziste la temperaturi înalte de 1.600-1.800°C, la coroziunea chimică a fontei și la încărcătura furnalului.

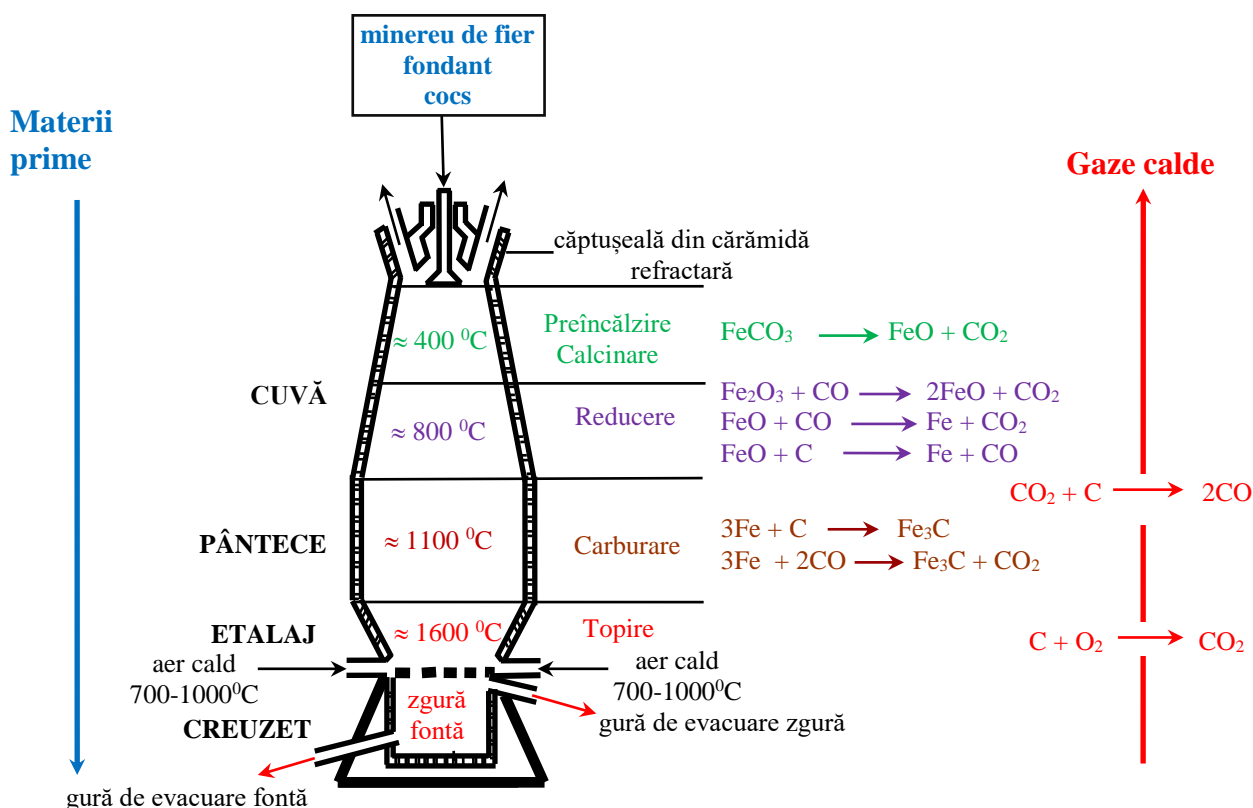


Figura 11.5 Reprezentarea schematică a furnalului și a proceselor fizico-chimice

Deoarece zgura are o densitate mai mică decât fonta, aceasta plutește în creuzet deasupra fontei topite. Zgura poate fi acidă sau bazică; dacă raportul $(\text{MgO} + \text{CaO})/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) > 1$ aceasta este bazică. Zgura de furnal se utilizează la obținerea unor cimenturi uzuale (vezi tab. 4.4. Modulul 4).

Procesele fizico-chimice care au loc în furnal sunt prezentate în fig. 11.5.

Un furnal modern poate avea o înălțime de 28-34 m, un volum util de 700 -1.700 m³, iar producția în 24 de ore poate ajunge la 3.000 tone de fontă.

Fonta obținută se numește *fontă brută* sau *fontă primară (de fuziune)*, conține 2,3-5% C, impurități de Mn, Si, P, S etc. și se toarnă în lingouri (blocuri).



Proprietățile fontelor variază în limite largi funcție de structura lor astfel: masa volumică, ρ variază între 7.000 - 7.700 kg/m³, rezistența maximă, R_m între 100 – 1.500 MPa, alungirea plastică la rupere, A_{pr} între 0,2 - 25%, reziliența KCU între 0 - 17 daJ/cm² și duritatea Brinell, HB între 120-700 daN/mm².

Fontele se utilizează în cea mai mare parte la elaborarea oțelurilor, dar și la fabricarea unor piese turnate care au proprietăți mecanice bune și prețuri de cost scăzute față de cele obținute prin deformare plastică sau sudare.

I. Fonta de fuziune (primară) în funcție de compoziția chimică se clasifică în: *fontă de afânare, fontă brută de turnătorie și fontă brută aliată*.

a) Fonta de afânare este fonta de primă fuziune, elaborată în furnal, care are un conținut ridicat de mangan, de aceea se mai numește și *fontă manganoasă*, iar pentru că în spărtură are culoare albă se mai numește și *fontă albă*. Aceasta reprezintă cca. 80% din producția totală de fontă brută, fiind utilizată la obținerea de oțeluri în convertizoare și în cuptoare cu vatră.

b) Fonta brută de turnătorie are un conținut ridicat de siliciu, de aceea se mai numește *fontă silicioasă* și reprezintă cca. 15% din totalul de fonte. Se utilizează la elaborarea fontei de a doua fuziune din care se obțin piese turnate.

c) Fonta brută aliată este o fontă de primă fuziune care se utilizează la elaborarea oțelurilor și ca adaos de aliere

II. Fontele de turnătorie (secundare) sunt fonte de a doua fuziune elaborate în cubilouri sau cuptoare electrice destinate turnării pieselor în construcția de mașini. După structură și destinație acestea se clasifică în: *fonte cenușii, maleabile și speciale (aliat)*.

a) Fontele cenușii au carbonul în cea mai mare parte sub formă de grafit, iar în spărtură au un aspect cenușiu. Se clasifică în:

a1) Fonta cenușie cu grafit lamelar are grafitul sub formă de lamele cu vârfuri ascuțite (fig. 11.6a), ceea ce conduce la concentrarea tensiunilor motiv pentru care prezintă caracteristici mecanice slabe: $R_m \leq 250$ N/mm², $A_{pr} = 0,5\%$, HB = 120-187 daN/mm². Aceste caracteristici se pot îmbunătăți prin adăugarea de Ca, Ba sau Sr când se obține un grafit lamelar cu vârfuri rotunjite (fig. 11.6b) sau prin adăugarea de Cs și Mg când se obține grafit vermicular (fig. 11.6c) cu următoarele caracteristici mecanice: $R_m = 300-450$ N/mm², $A_{pr} = 0,8-5\%$.

a2) Fonta cenușie cu grafit nodular are grafitul compactizat la maximum sub formă nodulară sau sferoidală (fig. 11.6e) prezentând proprietăți mecanice îmbunătățite față de fonta cu grafit lamelar astfel: $R_m = 350-900$ N/mm², $A_{pr} = 2-22\%$, HB = 130-360 daN/mm². Pentru nodulizare se introduc în oala de turnare: Mg, Si, Ca Ba și aliaje ale acestora. Se folosește la confecționarea unor piese rezistente la uzură cum ar fi: arbori cotiți, roți dințate, segmenti, saboți de frână, cilindri de laminor, la obținerea unor piese rezistente la coroziune: corpuri de pompe și compresoare, elice navale și la obținerea de piese refractare: lingotiere, matrițe, creuzete, țevi pentru cuptoare.



b) Fontele maleabile sunt fonte cu grafit așezat sub formă de cuiburi (fig. 11.6d) care se obțin prin tratamentul termic de recoacere de maleabilizare prin care cementita Fe_3C se descompune în fier și grafit.

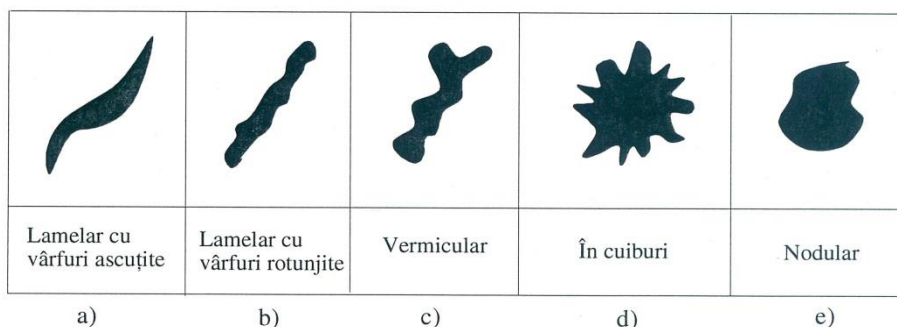


Figura 11.6 Forme de grafit în fonte

c) Fontele speciale sau aliate provin din fontele cenușii, albe sau maleabile care, ulterior, sunt supuse unor tratamente termice; astfel, prezintă proprietăți mecanice și fizico-chimice speciale; se folosesc cu elementele de aliere: Ni, Cr, Mo, Mn, W, Ti, Zr, V etc. Din această categorie de fonte fac parte: *fonta antifricțiune, de fricțiune, refractară și austenitică*.

c1) Fonta antifricțiune sau fonta rezistentă la uzare în condiții de frecare cu ungere este o fontă ce conține grafit lamelar sau nodular sau fontă maleabilă, aliată cu Mn (7,5-12,5%), Cr, Ni, Ti, Cu Al și Mg. Având un coeficient de frecare scăzut se utilizează la confecționarea lagărelor, unde înlocuiește aliajele neferoase.

c2) Fonta de fricțiune sau fonta rezistentă la uzare abrazivă este o fontă albă sau înalt aliată cu Cr (1,5-28%), Ni, Mo, Cu, Mn și Si. Are un coeficient de frecare mare și rezistență la uzură ridicată. Se utilizează la fabricarea saboților și a discurilor de frânare, la fabricarea unor piese utilizate în industria minieră și în instalațiile de formare și sablare din turnătorii.

c3) Fonta refractară este o fontă aliată cu Cr, Si și Al, rezistentă la oxidare și cu tendință mică de a-și mări volumul la temperaturi înalte (până la $1100^{\circ}C$). Se utilizează la confecționarea unor piese care se folosesc în aer și gaze, la temperaturi ridicate: armături pentru cuptoare, țevi recuperatoare de căldură, țevi de eșapament, supape, retorte refractare.

c4) Fonta austenitică sau fonta rezistentă la temperaturi joase (fonta criogenică) este o fontă înalt aliată cu Ni (12-36%), Cr și Mn, cu proprietăți speciale până la aproximativ $-200^{\circ}C$: rezistență bună la coroziune, rezistență bună la uzură în condiții de frecare cu ungere, rezistență la șoc termic. Se folosește la fabricarea unor piese utilizate în industria chimică (pompe, compresoare, filtre, robinete), la fabricarea unor piese pentru mașini electrice (flanșe, borne, bușe de izolatoare, carcase de întrerupătoare), instrumente de măsură și control, piese pentru mașini-unelte de precizie, matrițe pentru industria sticlăriei și piese pentru instalațiile frigorifice utilizate până la $-196^{\circ}C$. Deoarece are rezistență bună în medii puternic corozive se mai numește și *fonta anticorozivă*.

11.4. Elaborarea oțelului

Oțelul este aliajul fierului cu carbonul (de la 0,006% până la 2,11%) împreună cu elementele însoțitoare ($Mn \leq 0,9\%$, $Si \leq 0,45\%$, $P \leq 0,04\%$, $S \leq 0,04\%$, și uneori cu elemente de aliere (Cr, Co, Ni, Si, Ti, Mn, Mo, P, W, S, Al, B, V etc.). Elaborarea oțelului este un proces fizico-chimic complex,

iar procedeul tehnologic poate fi de *reducere directă* în care se folosește ca materie primă minereul de fier sau de *reducere indirectă* în care se folosește ca materie primă fonta de afânare (fonta albă).

a) Procedeul tehnologic de *reducerea directă* a minereurilor de fier se poate realiza la temperaturi joase de $500 - 1.100^{\circ}\text{C}$ în urma căruia se obține buretele de fier. Cele mai cunoscute procedee sunt: Armco, Elkem, Esso-Fior, Krupp, Purofer. Alt procedeu tehnologic de reducere directă se realizează la temperaturi înalte, de peste 1400°C , când se obține oțelul în stare lichidă (procedeele Basset și Stürzelberg). Avantajul folosirii acestor procedee este că nu se folosește ca și combustibil cocsul metalurgic, care este scump și din ce în ce mai puțin, ci combustibili mai ieftini cum ar fi: lignitul, semicocsul, hidrocarburile gazoase naturale sau combustibilii lichizi. Procedeul tehnologic de reducere directă are un consum specific de energie ridicat.

b) Procedeul tehnologic de *reducere indirectă* este cel mai utilizat fiind folosit la elaborarea a peste 95% din producția mondială de oțel. Principiul de elaborare constă în eliminarea unei părți din carbonul și elementele însoțitoare din fontă, prin oxidare cu oxigen, până la limitele prescrise pentru oțel. Produsele de oxidare rezultate, nedorite, trec în zgură sub formă de silicați sau alți compuși și sub formă de gaze ca CO și CO_2 . Elaborarea se realizează în convertizoare, cuptoare electrice sau cuptoare cu vatră.

Dintre cuptoarele de elaborare a oțelului cele mai utilizate sunt convertizoarele cu oxigen, în care materia primă este fonta albă (fonta de afânare), fierul vechi, feroaliajele și fondanții, dar și sursele de carbon. Astfel, pentru recarburare se folosește: cocs, grafit sau cărbune, ca fondanți se pot folosi: calcarul, varul metalurgic, silica și magnezia, care au rolul de a micșora temperatura de topire a amestecului de materii prime și pentru a controla cantitatea și calitatea zgurii, iar ca feroaliaje se folosește fonta aliată care are rolul de a introduce în oțel elemente de aliere. Oxigenul se insuflă în fonta topită la temperaturi de $1.150 - 1.200^{\circ}\text{C}$, omogenizează topitura, oxidează parțial fierul, iar FeO care se formează oxidează carbonul și elementele însoțitoare în ordinea afinității chimice pentru oxigen: Si, Mn, C și P. Sulfur, cel mai nedorit element însoțitor, este scos sub formă de CaS în zgură de către fondanți (calcar). Oțelul topit obținut are temperatura de $1.550 - 1.600^{\circ}\text{C}$ și se toarnă fie discontinuu, în lingotiere, când se obțin lingouri, fie continuu prin răcirea recipientului în care se toarnă continuu oțel și extragerea semifabricatului format ca urmare a solidificării acestuia (vezi carte Chimie).

Calitatea oțelului este influențată de procedeul tehnologic folosit, de condițiile din cuptorul de elaborare și de bazicitatea zgurii. Astfel, cu cât zgura este mai bazică cu atât oțelul este mai calitativ deoarece înseamnă că s-au eliminat, în mare măsură, elementele nedorite: sulfur și fosforul din compoziția acestuia. Oțelurile se deosebesc prin incluziunile nemetalice și prin conținutul de gaze. Producția mondială de oțel poate ajunge la 1,2 miliarde tone/an, iar în România la 5 milioane de tone/an.

11.5. Tipuri de oțeluri utilizate în construcții

11.5.1. Clasificarea oțelurilor

Clasificarea oțelurilor se poate face după mai multe criterii cum ar fi: după conținutul de carbon, duritate și plasticitate, după structura caracteristică, după compoziția chimică, după forma de livrare, după gradul de dezoxidare și după destinație sau după clasele principale de calitate.

În continuare sunt prezentate oțelurile clasificate *după compoziția chimică* și *după clasele principale de calitate*.

11.5.1.1. Clasificarea oțelurilor după compoziția chimică

În funcție de **compoziția chimică** pe oțel lichid, conform SR EN 10020, mărcile de oțel se clasifică în *oțeluri nealiat* (*oțeluri-carbon*), *oțeluri aliate* și *oțeluri inoxidabile*.

a) Oțelurile nealiat (*oțeluri carbon*) sunt aliaje ale Fe și C, împreună cu o serie de elemente însoțitoare (Al, B, Bi, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Si, Ti, V, W, Zr etc.) aflate în proporții nesemnificative. După conținutul de carbon acestea se clasifică în: *oțeluri pentru cementare* ($< 0,25\%$ C), *oțeluri pentru îmbunătățire* ($0,25 < C < 0,65\%$) și *oțeluri pentru scule* ($> 0,65\%$).

b) Oțelurile aliate sunt aliaje care, în afară de Fe și C, conțin și elemente de aliere (Cr, Ni, Mn, Si, W, Mo, V, Al, Cu, Ti, Nb, Zr, B - cele mai importante) în limite stabilite de standard, cu scopul de a îmbunătăți unele proprietăți fizice (conductibilitatea electrică, caracteristicile magnetice, rezistența la radiații), mecanice (rezistența, plasticitatea, tenacitatea) sau chimice (rezistența la coroziune în diferite medii) ale oțelurilor. Îmbunătățirea acestor caracteristici se face și cu ajutorul tratamentelor termice, în urma cărora se obțin structuri optime ale aliajului (vezi Modulul 12).

Elementele de aliere influențează transformările alotropice ale fierului astfel încât produc modificări în compoziția și structura oțelurilor. După influența pe care o exercită asupra transformărilor alotropice ale fierului, elementele de aliere se pot grupa în:

- i. elemente de aliere care ridică punctul critic de transformare A_4 (1394°C) și coboară pe A_3 (912°C) adică, măresc domeniul austenitei și reduc domeniul feritei, motiv pentru care se numesc **elemente gamagene**; din această grupă, numită și grupa nichelului, fac parte: Ni, Mn, Co, Cu etc.
- ii. elemente de aliere care coboară pe A_4 și ridică pe A_3 , micșorând domeniul austenitei și mărand domeniul feritei, motiv pentru care se numesc **elemente alfagene**; din această grupă fac parte Cr, Mo, W, Si, Ti, Al, V și se numește grupa cromului deoarece Cr micșorează domeniul austenitei deși, până aproape de 10%, acesta coboară atât punctul A_4 cât și punctul A_3 (fig. 11.2).

Toate elementele de aliere, cu excepția Co, deplasează punctul S (eutectoidul) și punctul E (eutecticul) de solubilitate maximă a carbonului în γFe din diagrama Fe-C spre stânga, adică spre un conținut mai mic de carbon (fig. 11.7).

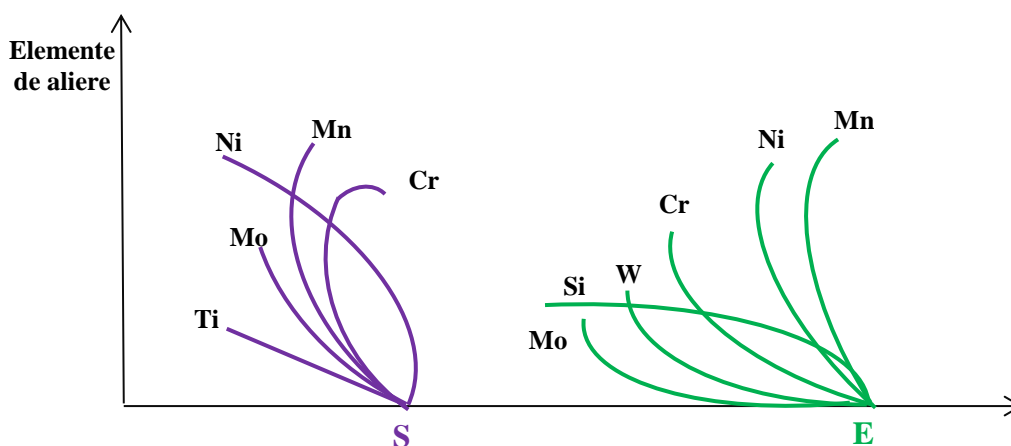


Figura 11.7 Influența elementelor de aliere asupra punctelor S și E



Elementele de aliere se pot găsi în oțeluri sub diferite forme:

- *dizolvate în ferită*, cu care formează soluții solide (Ni, Co, Si, Al, Cu etc.);
- în *combinații cu carbonul*, cu care formează carburi sau soluții solide pe bază de carburi (Mn, Cr, W, V, Mo, Ti, Zr etc);
- în *combinații cu fierul* sau unele cu altele, formând compuși intermetalici (FeCr, FeV, Fe₂Mo, Fe₂W, Fe₃Ti etc.);
- în *combinații cu diferite impurități*, sulf, oxigen etc., cu care formează incluziuni nemetalice ca sulfuri, oxizi etc.;
- în *stare liberă*, sub formă de particule dispersate în masa oțelului aliat.

c) Oțelurile inoxidabile sunt oțeluri care conțin cel puțin 10,5% Cr și maximum 1,2% C. Elementele de aliere semnificative sunt: Cr și Ni, Mo, Mn, N, Ti și sau Nb. După proprietățile de utilizare acestea sunt: *oțeluri rezistente la coroziune*, *oțeluri refractare* și *oțeluri rezistente la fluaj*, iar după microstructură acestea sunt: *oțeluri feritice*, *martensitice*, *austenitice*, *austenito-feritice* și *oțeluri durificate prin precipitare*.

Cromul și nichelul sunt elementele de aliere cele mai importante ale oțelurilor inoxidabile care dau ordinea de bază pentru clasificarea mărcilor de oțeluri în standardele Europene, EN. Astfel, oțelurile cu Cr sunt cunoscute ca mărci de oțeluri feritice, iar oțelurile cu Cr-Ni sunt cunoscute ca mărci de oțeluri austenitice. **Cr** formează un strat subțire de protecție (oxid de crom), rezistent la acțiunea mediilor corozive: aer, apă de mare, acizi, săruri, soluții alcaline. **Ni** contribuie la creșterea rezistenței la coroziune în medii slab oxidante sau neoxidante dar și a ductilității, rezistenței mecanice la cald și a sudabilității.

Molibdenul îmbunătățește rezistența la coroziune, în special la coroziunea în puncte în mediu clorurat. Mărcile de oțeluri cu peste 2% Mo se pot numi oțeluri CrNiMo.

Manganul se adaugă ca înlocuitor al Ni ca element gamagen și pentru creșterea solubilității azotului.

Azotul, ca element ce stabilizează austenita, se adaugă ca înlocuitor al Ni ca și element gamagen și pentru creșterea rezistenței mecanice dar și a rezistenței la coroziune în puncte.

Titanul și/sau niobiul împiedică precipitarea carburilor de crom, la răcire după tratamentul termic și/sau sudare. Astfel, prin introducerea acestor elemente de aliere se pot fabrica oțeluri cu un conținut scăzut de carbon, ieftine și calitative, cu proprietăți mecanice bune până la 600°C. De asemenea Ti și Nb conferă rezistență la coroziunea intercristalină și măresc sudabilitatea.



11.5.1.2. Clasificarea oțelurilor în clase principale de calitate

Clasificarea oțelurilor în clasele principale de calitate este prezentată în schema de mai jos:

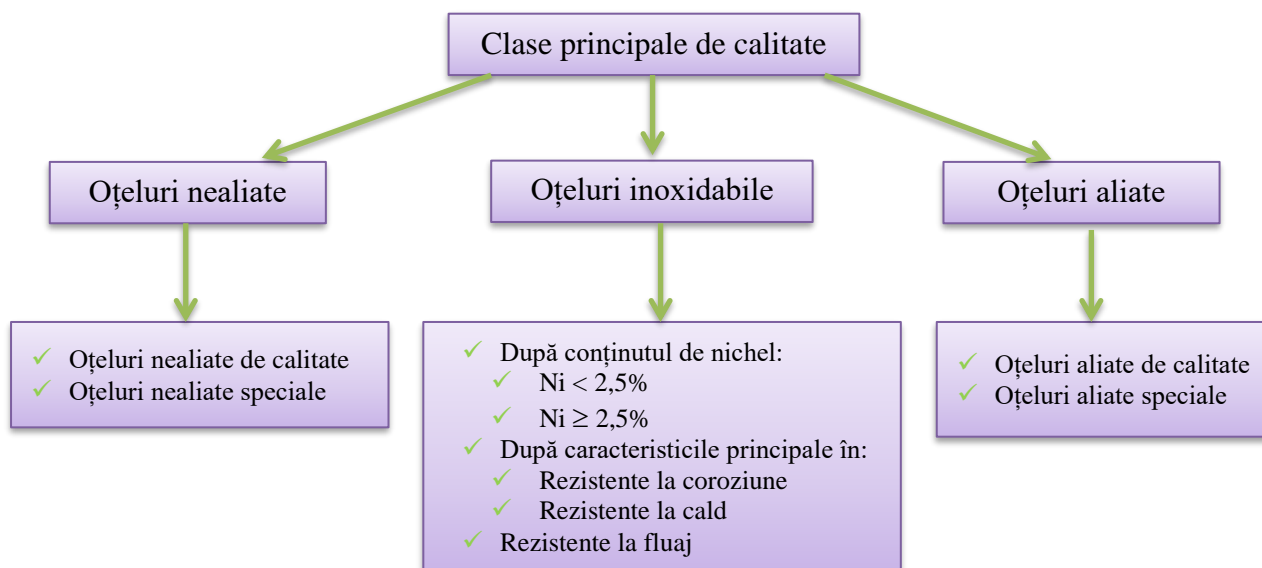


Figura 11.8 Clasificarea oțelurilor în clase principale de calitate

I. Oțeluri nealiat

a) Oțelurile nealiat de calitate sunt mărci de oțeluri elaborate îngrijit care, în general, au proprietăți specifice de tenacitate, de control al mărimii grăuntelui și/sau deformabilitate, adică au prescripții severe de calitate. De exemplu, oțelurile pentru electrotehnică sunt oțeluri care au condiții specificate pentru valorile minime ale inducției magnetice, polarizării sau permeabilității.

b) Oțelurile nealiat speciale au un grad de puritate ridicat față de oțelurile nealiat de calitate, mai ales în privința incluziunilor nemetalice și satisfac una sau mai multe dintre următoarele condiții, ca urmare a tratamentelor termice de *călire-revenire sau durificare superficială*:

- rezistență la încovoiere prin șoc minimă, specificată în urma tratamentului de călire și revenire;
- adâncime de durificare prin călire specificată sau o duritate superficială specificată în stare călită, călită-revenită, sau durificată superficial;
- conținuturi scăzute de incluziuni nemetalice;
- conținuturi maxime specificate de fosfor și sulf ($\leq 0,020\%$ pentru oțel lichid și $\leq 0,025\%$ pentru oțel solid);
- valori minime ale energiei de rupere Charpy pe epruvete cu creștătură în V la -50°C ($> 27 \text{ J}$ pentru epruvete prelevate longitudinal și $> 16 \text{ J}$ pentru epruvete prelevate transversal);
- conductivitate electrică specificată peste $9 \text{ S}\cdot\text{m}/\text{mm}^2$;
- conținutul de carbon minim specificat, $\geq 0,25\%$ pe oțel lichid, pentru tratamentul termic de durificare prin precipitare și o structură feritico - perlitică.

Aceste oțeluri se folosesc pentru: obținerea de bare pentru arcuri de înaltă rezistență, electrozi, sârmă pentru cord metalic, reactori nucleari cu conținuturi limitate de $\text{Cu} \leq 0,10\%$, $\text{Co} \leq 0,05\%$, $\text{V} \leq 0,05\%$, armături precomprimate etc.

II. Oțelurile inoxidabile sunt oțeluri înalt aliate, în special cu Cr și Ni, rezistente la coroziune chiar și în medii puternic oxidante și la temperaturi ridicate, în care procentul de Cr este de minimum 10,5%, iar cel de Ni poate fi mai mic sau mai mare de 2,5% (fig.11.8); conținutul de carbon trebuie să fie de maximum 1,2%. Elementele de aliere semnificative au fost prezentate în subcapitolul 11.5.1.1c.

a) După proprietățile de utilizare se clasifică în:

a1) Oțeluri rezistente la coroziune - sunt oțeluri care conțin cel puțin 10,5% Cr sub formă de oxid de crom format spontan; au o bună rezistență la atacurile locale sau uniforme ale mediului coroziv.

a2) Oțeluri refractare - sunt oțeluri austenitice sau feritice, cu o bună rezistență la oxidare și la efectele gazelor calde și a produselor de combustie la temperaturi > de 550°C. În atmosferă oxidantă, Cr, Si și Al din oțel formează un strat protector de oxid care diminuează atacul datorat sulfului. În atmosferă reducătoare, unde nu se formează niciun oxid, o creștere a conținutului de Ni va reduce pierderea de C și de N, dar crește susceptibilitatea la atacul sulfului.

a3) Oțeluri rezistente la fluaj - sunt oțeluri martensitice sau austenitice cu o bună rezistență la deformare sub tensiuni mecanice de lungă durată la temperaturi > de 500°C

b) După microstructură se clasifică în:

b1) Oțeluri feritice (cu α Fe) - sunt oțeluri care se supun tratamentelor termice de recoacere la temperaturi de la 750°C la 950°C pentru a se evita formarea austenitei care, la răcire, se transformă în martensită ce poate determina o fragilizare datorită creșterii mărimii grăunților cristalini. Aceste oțeluri au o sudabilitate redusă, datorită sensibilității lor la coroziunea intergranulară și datorită fragilității în zona afectată termic

b2) Oțeluri martensitice - sunt oțeluri care conțin, în principal, martensită formată din austenită tratată termic sau prin prelucrare la rece. Dacă în structura oțelurilor există o cantitate mare de ferită, oțelurile se numesc *ferito-martensitice* sau *semi-feritice*.

Oțelurile martensitice au de obicei un conținut de C între 0,08 și 1%, se durifică prin răcire în aer, rezistența mecanică poate crește printr-un tratament termic de călire, iar ductilitatea este îmbunătățită printr-un tratament de revenire; aceste oțeluri sunt dificil de sudat. Pentru a putea fi mai ușor sudate, anumite oțeluri martensitice sunt elaborate cu un conținut scăzut de C, de 0,06%, și cu Ni între 3-6%, pentru a avea o compoziție echilibrată care, să favorizeze formarea austenitei reziduale după călire și revenire; aceste oțeluri se numesc *austenito-martensitice* sau *martensitice cu nichel*. Există și oțeluri *super martensitice*, folosite în industria petrolieră, care au un conținut de Cr de 11 - 13%, Ni de 2 - 6%, Mo de la 0% până la 3% și maximum 0,030 %C și N. Aceste oțeluri au o rezistență ridicată, o bună reziliență și o bună sudabilitate.

b3) Oțeluri austenitice (cu γ Fe) - sunt oțeluri care conțin în principal austenită și sunt oțeluri moi, deoarece austenita nu se durifică prin tratament termic, iar rezistența mecanică se crește prin elemente de aliere interstițiale, în special N; aceste oțeluri sunt înmuiate în soluție solidă în domeniul 1000°C - 1200°C. Elementele gamagene ca Ni, C și N favorizează structura austenitică, pe când elementele alfa-gene ca Si, Cr, și Mo favorizează structura feritică. Mărcile de oțeluri austenitice convenționale conțin urme de ferită δ (fig. 11.1) pentru a ameliora sudabilitatea.

Stabilitatea structurii austenitice depinde de cantitatea de elemente de aliere. Oțelurile cu un conținut de elemente de aliere aflate la limita inferioară, nu sunt stabile structural deoarece se pot transforma în oțeluri cu martensită, prin prelucrare la rece și/sau prin răcire la temperaturi scăzute.

Mărcile de oțeluri austenitice stabile, adică cele fără ferită, se numesc oțeluri *complet austenitice* și li se impun precauții specifice în timpul transformării la cald și la sudare. Mărcile austenitice cu o bună rezistență la coroziune, în medii agresive, sunt oțeluri cu un conținut ridicat de Cr, Mo și N; aceste oțeluri se numesc *super austenitice*.

b4) Oțeluri austenito-feritice - sunt oțeluri care conțin atât austenită, între 30-50%, cât și ferită; aceste oțeluri au rezistență mecanică superioară oțelurilor austenitice, de aceea au nevoie de o energie superioară pentru a se deforma la rece, și o bună rezistență la coroziunea sub sarcină.

b5) Oțeluri durificate prin precipitare - se obțin în urma tratamentului termic de călire - revenire, în care se modifică caracteristicile mecanice funcție de condițiile specifice ale tratamentului termic. Precipitarea compușilor intermetalici: carburi, nitruri sau faze care conțin cupru în structura martensitică determină o creștere a rezistenței mecanice după tratamentul termic de călire – revenire (vezi Modulul 12).

III. Oțeluri aliate care, după cantitatea de elemente de aliere, se pot clasifica în:

- oțeluri slab aliate, cu mai puțin de 2,5% elemente de aliere;
- oțeluri mediu aliate, care conțin între 2,5 și 10% elemente de aliere;
- oțeluri înalt aliate, cu mai mult de 10% elemente de aliere.

a) Oțelurile aliate de calitate sunt oțeluri care se elaborează la fel de îngrijit ca și oțelurile nealiate și, care, au și ele specificate foarte exact, de exemplu: tenacitatea, controlul mărimii grăuntelui și/sau deformabilitatea etc. Aceste oțeluri nu sunt destinate tratamentului termic de călire și revenire sau de durificare superficială. Din această categorie fac parte:

- oțelurile de construcții cu granulație fină, sudabile în care sunt incluse și oțelurile pentru recipiente sub presiune și țevi și care trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- limita de curgere $R_{p0,2}$ să fie $< 380 \text{ N/mm}^2$, pentru grosimi $\leq 16 \text{ mm}$;
- conținutul elementelor de aliere să fie sub limita prescrisă de compoziția chimică;
- valori minime ale energiei de rupere Charpy pe epruvete cu creștătură în V la $-50^\circ\text{C} \leq 27 \text{ J}$ pentru epruvete prelevate longitudinal, sau cu valori minime $\leq 16 \text{ J}$ pentru epruvete prelevate transversal.

- oțelurile aliate pentru șină de cale ferată, pentru palplanșe și pentru armături de mină;

- oțelurile aliate pentru produse plate laminate la cald sau la rece utilizate în cazuri în care au loc deformări la rece; acestea conțin elemente de finisare a granulației cum sunt: borul, niobiul, titanul, vanadiul și/sau zirconiu;

- oțelurile aliate în care cuprul este singurul element de aliere specificat;

- oțelurile pentru electrotehnică care sunt oțeluri ce au ca elemente de aliere, în principal, Si sau Al; acestea contribuie la satisfacerea condițiilor prevăzute pentru valorile maxime ale pierderilor totale specifice sau pentru valorile minime ale inducției magnetice, polarizării sau permeabilității caracteristice oțelurilor pentru electrotehnică.

b) Oțelurile aliate speciale sunt mărci de oțeluri, altele decât oțelurile inoxidabile, care sunt caracterizate prin controlul precis al compoziției chimice și prin condiții speciale de fabricare și control pentru a le îmbunătăți caracteristicile. Această categorie de oțeluri include: oțeluri pentru construcții mecanice și oțeluri aliate pentru recipiente sub presiune, oțeluri pentru rulmenți, oțeluri pentru scule, oțeluri rapide și oțeluri cu proprietăți fizice speciale; din această ultima categorie fac parte: oțelurile feritice cu nichel cu coeficient de dilatare controlat sau oțelurile pentru rezistențe electrice.

11.5.2. Simbolizarea oțelurilor

Simbolizarea oțelurilor se face în sisteme de simbolizare care sunt grupate astfel:

I. Sistem de simbolizarea numerică conform SR EN 10027-2 în care se utilizează coduri de simbolizare 1XXYY(ZZ) unde:

- 1 reprezintă cifra atribuită tuturor mărcilor de oțel;
- XX este numărul grupei de oțel care se referă la compoziția chimică și la unele caracteristici mecanice și tehnologice;
- YY este numărul de ordine corespunzător unei mărci de oțel, specificat de un anumit standard;
- ZZ numere rezervate pentru o eventuală extindere.

Exemple:

- ✓ 1.1140(ZZ) oțel nealiat special
- ✓ 1.2834(ZZ) oțel aliat pentru scule care lucrează la rece
- ✓ 1.2714(ZZ) oțel aliat pentru scule care lucrează la cald

II. Sistem de simbolizare alfanumerică conform SR EN 10027-1 care se grupează în două categorii principale:

Categoria 1 - oțeluri simbolizate în funcție de utilizare și caracteristicile fizice sau mecanice;

Categoria 2 - oțeluri simbolizate în funcție de compoziția lor chimică.

a) Structura simbolizărilor alfa numerice pentru **categoria 1** - funcție de utilizare și caracteristicile fizice sau mecanice - este dată de simbolurile principale și simbolurile suplimentare, după cum urmează:

a1) Oțel de construcții

a1.1) Simbolurile principale sunt date de literele S sau G urmate de trei cifre *nnn* care indică valoarea limitei minime de curgere (poate fi limita de curgere superioară R_{eH} , limita de curgere inferioară R_{eL} sau limita de curgere convențională $R_{p0.2}$, în funcție de condiția specificată în standardul de produs corespunzător) specificată, în MPa, pentru cea mai mică grosime din interval; S – simbolul pentru oțel de construcții, iar G – simbolul pentru piese turnate din oțel.

a1.2) Simbolurile suplimentare

Grupa 1

Energia de rupere, Joules, J			Temperatura de încercare
27J	40J	60J	$^{\circ}\text{C}$
JR	KR	LR	20
JO	KO	LO	0
J2	K2	L2	-20
J3	K3	L3	-30
J4	K4	L4	-40
J5	K5	L5	-50
J6	K6	L6	-60



A – durificare prin precipitare; M – laminare termomecanică; N – normalizare sau laminare normalizată; Q – călire și revenire; G – alte caracteristici, urmate de 1 sau 2 cifre, dacă este necesar, unde A, M, N și Q se aplică oțelurilor cu granulație fină.

Grupa 2

C- formare la rece specială; D – acoperire la cald; E – emailare; F – piese forjate; H – secțiuni deschise; L – temperatură joasă; M – laminare termomecanică; N – normalizare sau laminare normalizată; P – palplanșă; Q – călire și revenire; S – construcții navale; T – țevi; W – rezistent la intemperii.

Exemple:

✓ S235JR	S355K2	S355N	S355NL
✓ S235J0W	S355J0WP	S460Q	S355MC

a2) Oțeluri pentru aparate sub presiune

a2.1) Simbolurile principale sunt date de literele P (oțeluri pentru aparate sub presiune) sau G (piese turnate din oțel) urmate de trei cifre *nnn* care indică valoarea limitei minime de curgere (poate fi limita de curgere superioară R_{eH} , limita de curgere inferioară R_{eL} sau limita de curgere convențională $R_{p0,2}$ în funcție de condiția specificată în standardul de produs corespunzător) specificată, în MPa, pentru cea mai mică grosime din interval.

a2.2) Simbolurile suplimentare

Grupa 1

B – butelii de gaz; M – laminare termomecanică; N – normalizare sau laminare normalizată; Q – călire și revenire; S – aparate sub presiune simple; T – țevi; G - alte caracteristici, urmate de 1 sau 2 cifre, dacă este necesar, unde M, N și Q se aplică oțelurilor cu granulație fină.

Grupa 2

H – temperatura ridicată; L – temperatura scăzută; R – temperatura ambiantă; X – temperaturi ridicate și scăzute.

Exemple:

✓ P265GH	P355Q	P265NB	P265S
----------	-------	--------	-------

a3) Oțeluri pentru țevi de conducte

a3.1) Simbolurile principale sunt date de litera L (oțel pentru țevi de conducte) urmată de trei cifre *nnn* care indică valoarea limitei minime de curgere (poate fi limita de curgere superioară R_{eH} , limita de curgere inferioară R_{eL} sau limita de curgere convențională $R_{p0,2}$ în funcție de condiția specificată în standardul de produs corespunzător) specificată, în MPa, pentru cea mai mică grosime din interval.





a3.2) Simbolurile suplimentare

Grupa 1

M – laminare termomecanică; N – normalizare sau laminare normalizată; Q – călire și revenire; G - alte caracteristici, urmate de 1 sau 2 cifre, dacă este necesar, unde M, N și Q se aplică oțelurilor cu granulație fină.

Grupa 2

A, B = clasa de condiție urmată, când este cazul, de o cifră.

Exemple:

✓ L360GA L360NB L360QB

a4) Oțeluri pentru construcții mecanice

a4.1) Simbolurile principale sunt date de literele E (oțeluri pentru construcții mecanice) și G (piese turnate din oțel) urmate de trei cifre *nnn* care indică valoarea limitei minime de curgere (poate fi limita de curgere superioară R_{eH} , limita de curgere inferioară R_{eL} sau limita de curgere convențională $R_{p0,2}$ în funcție de condiția specificată în standardul de produs corespunzător) specificată, în MPa, pentru cea mai mică grosime din interval.

a4.2) Simboluri suplimentare

Grupa 1

G – alte caracteristici, urmate de 1 sau 2 cifre, dacă este necesar sau, în cazul în care caracteristicile de rezistență la încovoiere prin șoc sunt specificate trebuie aplicate regulile grupei 1 de la punctul a1 – Oțel de construcții.

Grupa 2

C – destinate pentru tragere la rece.

Exemple:

✓ E295 E295GC E360 GE240

a5) Oțeluri pentru sau sub formă de șine

a5.1) Simbolurile principale sunt date de litera R (oțel pentru sau sub formă de șine) urmată de trei cifre *nnn* care reprezintă duritatea Brinell minimă specificată, HBW.

a5.2) Simbolurile suplimentare

Grupa 1

Cr – aliate cu crom; Mn – conținut ridicat de mangan; G - alte caracteristici, urmate de 1 sau 2 cifre, dacă este necesar.

Grupa 2

HT- tratament termic (heat treated); LHT – aliaj slab, tratat termic (low alloy, heat treated); Q – călire și revenire (quenched and tempered).



Exemplu:

✓ R320Cr

a6) Oțeluri electrice

a6.1) Simbolurile sunt date de litera M (oțel pentru electrotehnică) urmată de două caracteristici și apoi de felul produsului; caracteristicile sunt date de:

1. Cifrele *nnn* care reprezintă pierderile maxime specificate, în W/kg x 100 și
2. Cifrele *nn* care reprezintă 100 x grosimea nominală, în mm; cele două caracteristici sunt separate printr-o cratimă.

Felul produsului poate fi:

- Pentru o inducție magnetică de 1,5 Tesla la 50 Hz: A – grăunți neorientați; D – semifabricat aliat; E - semifabricat aliat;
- Pentru o inducție magnetică de 1,7 Tesla la 50 Hz: P – permeabilitate ridicată cu grăunți orientați; S – convențional grăunți orientați.

Exemple:

✓ M400-50A M140-30S M660-50D M390-50E

b) Structura simbolizărilor alfa numerice pentru **categoria 2** – funcție de compoziția chimică - se face tot cu ajutorul simbolurilor principale și apoi cu cele suplimentare după cum urmează:

b1) Oțeluri nealiat (cu excepția oțelurilor pentru automate) cu un conținut mediu de mangan < 1%

b1.1) Simbolurile principale sunt date de literele C (carbon) sau G (piese turnate din oțel) urmate de cifrele *nnn* care arată conținutul mediu procentual de carbon specificat x100.

b1.2) Simbolurile suplimentare
Grupa 1

C – pentru formare la rece, de exemplu, tragere la rece, extrudare la rece; D – pentru tragere sârme; E – specificarea conținutului maxim de sulf; R – specificarea conținutului intervalului de sulf; S – pentru arcuri; W – pentru sârmă laminată pentru sudare; G – alte caracteristici urmate, când este necesar, de 1 sau 2 cifre.

Exemple:

✓ C20D C35E C35R C85S C8C

b2) Oțeluri nealiat cu un conținut mediu de mangan ≥ 1%, oțeluri nealiat pentru automate și oțeluri aliate la care conținutul mediu al fiecărui element de aliere este < 5% masice

b2.1) Simbolurile sunt date de cifrele *nnn* care arată conținutul mediu specificat, în procente de carbon x 100, urmate de simbolurile chimice ale elementelor de aliere și de conținutul mediu procentual al elementelor respective multiplicat cu următorii factori:



Element	Factor
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pd, Ta, Ti, V, Zr	10
Ce, N, P, S	100
B	1000

Exemple:

- ✓ 13CrMo4-5 adică: 0,13% C; 1% Cr și 0,5% Mo
- ✓ 13MnNi6-3 adică: 0,13% C, 1,5% Mn și 0,75% Ni
- ✓ 28Mn6 adică: 0,28% C și 1,5% Mn

b3) Oțeluri inoxidabile și alte oțeluri aliate (cu excepția oțelurilor rapide) la care conținutul mediu a cel puțin un element de aliere este $\geq 5\%$ masice

b3.1) Simbolurile sunt date de litera X, care arată conținutul mediu la cel puțin un element de aliere $\geq 5\%$, urmată de conținutul mediu procentual de carbon specificat x 100, de simbolurile chimice ale elementelor de aliere și de conținutul mediu procentual al elementelor respective, în procente, rotunjite la cel mai apropiat număr întreg, separate prin cratime.

Exemple:

- ✓ X100CrMoV5 adică: oțel inoxidabil cu 1% C și 5% Cr
- ✓ X38CrMoNb16 adică: oțel inoxidabil cu 0,38% C și 16% Cr
- ✓ X10CrNi18-8 adică: oțel inoxidabil cu 0,1% C, 18% Cr și 8% Ni
- ✓ X6CrMoNb17-1 adică: oțel inoxidabil cu 0,06% C, 17% Cr și 1% Mo

b4) Oțeluri rapide

b4.1) Simbolurile sunt date de literele HS, care reprezintă simbolul pentru oțel rapid, urmate de numere separate printr-o cratimă, care indică conținutul, în procente, al elementelor de aliere în următoarea ordine: W-Mo-V-Co.

Exemple:

- ✓ HS2-9-1-8 adică: oțel rapid cu 2% W, 9% Mo, 1% V și 8% Co
- ✓ HS6-5-2 adică: oțel rapid cu 6% W, 5% Mo și 2% V
- ✓ HS6-5-2C adică: oțel rapid cu 6% W, 5% Mo și 2% V ecruisat la rece (C)

11.5.3 Oțeluri pentru beton armat și precomprimat

11.5.3.1 Oțelul pentru armarea betonului se obține din oțel laminat la cald și poate avea **profil neted (OB)** sau **periodic (PC)**; în funcție de caracteristicile mecanice acesta se clasifică în clase așa cum rezultă din tab. 11.1.



Tabel 11.1 Clasificarea oțelului beton după STAS 438/1

Clasa	Marca de oțel	Grupa de oțel	Profilul
I	OB 37	oțel carbon	neted
II	PC 52	oțel slab aliat	periodic
III	PC 60		

Oțelul beton cu profil periodic (PC) are pe suprafața lui nervuri longitudinale, diametral opuse, cu dimensiuni constante pe toată lungimea, și nervuri elicoidale situate la distanțe egale, înclinate cu $55...65^{\circ}$ față de nervurile longitudinale (fig. 11.9b, c). La profilul periodic PC 52 nervurile elicoidale sunt dispuse pe aceeași direcție, pe ambele jumătăți ale profilului (fig. 11.9b).

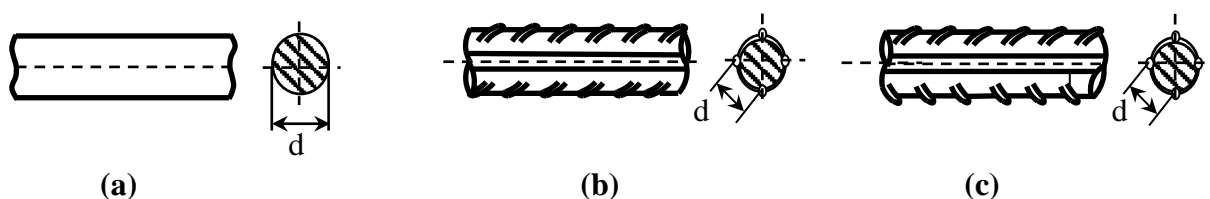


Figura 11.9. Tipuri de armături pentru beton: a – OB 37; b - PC 52; c – PC 60

În funcție de diametrul nominal armăturile pentru beton au caracteristici mecanice diferite așa cum rezultă din tab 11.2.

Tabel 11.2 Caracteristici mecanice pentru tipuri diferite de armături (STAS 438/1)

Marca de oțel	Diametrul nominal, Φ mm	Limita de curgere minimă, $R_{p0.2}$ N/mm ²	Rezistența la rupere la tracțiune, R_m N/mm ²	Alungirea la rupere, A_5 %	Încercarea la îndoire	
					Unghiul de îndoire	Diametrul dornului
OB 37	6...12	255	360	25	180 ⁰	0,5 d
	14...40	235				
PC 52	6...14	355	510	20	180 ⁰	3 d
	16...28	345				
	32...40	335				
PC 60	6...12	420	590	16	180 ⁰	3 d
	14...28	405				
	32...40	395				

Notarea armăturilor din beton se face indicând în ordine: denumirea produsului, diametrul, marca de oțel și numărul standardului.

Exemple:

- ✓ Oțel beton Φ 14 OB 37 STAS 438/1.
- ✓ Oțel beton Φ 20 PC 60 STAS 438/1.

În cazul armării betonului cu plase sudate, carcase sudate sau etrieri (rame confecționate din oțel OB 37, cu $\Phi = 6$ mm sau $\Phi = 8$ mm, care îmbracă barele de oțel PC 52, folosite pentru confecționarea stâlpilor, centurilor, grinzilor, scârilor etc.) se folosește *sârma rotundă trefilată cu suprafață netedă (STNB)* sau *sârma cu profil periodic obținută prin deformare plastică la rece (SPPB)*.

Exemple:

- ✓ STNB 6 - sârmă rotundă trefilată cu suprafață netedă și diametru nominal de 6 mm;
- ✓ SPPB 10 - sârmă cu profil periodic și diametru nominal de 10 mm;

11.5.3.2 Oțelurile pentru betonul precomprimat sunt oțeluri carbon de înaltă rezistență care, după tehnologia de fabricație, pot fi obținute sub diferite forme:

- **sârmă cu suprafață netedă de înaltă rezistență (SBP);**
- **sârmă cu suprafață amprentată de înaltă rezistență (SBPA)** (fig 11.10);
- **toroane (TBP)** care sunt alcătuite din șapte sârme (una centrală și șase periferice) și **lițe (LBP)** care sunt împletituri din două sau trei sârme;
- **sârme sau bare de oțel** de înaltă rezistență, slab aliate, laminate la cald, ecruisate sau nu, cu sau fără tratament termic final.



Figura 11.10. Sârmă amprentată pentru betonul precomprimat

Simbolizarea alfanumerică a oțelurilor pentru beton precomprimat se face, conform SR EN 10027-1, prin: simbolurile principale date de litera Y (oțeluri pentru beton precomprimat) și cifrele *nnn* care reprezintă limita de curgere nominală, R_m în MPa, urmate de simbolurile suplimentare: C – sârmă trasă la rece; H – bare laminate la cald sau bare laminate la cald și procesate; Q – sârme călite și revenite; S – toron (S7 toron din 7 sârme); G – alte caracteristici urmate, dacă este necesar, de 1 sau 2 cifre.

Exemple:

- ✓ Y1770C Y1770S7 Y1230H

Bibliografie



1. Ioan Lucian Bolunduț, *Știința și Ingineria Materialelor*, Editura Tehnică-Info, Chișinău, 2010, ISBN 978-9975-63-313-0.
2. Maria Gheorghe, *Materiale de Construcție, II*, Editura Conspress, București, 2011, ISBN 978-973-100-107-4.
3. Maria Popescu, *Materiale de Construcții*, Institutul de Construcții București, 1990.
4. Eugen Cazimirovici, Marcel Valeriu Suciu, *Laminarea Materialelor Metalice Speciale, I*, <http://marcel.suciu.eu/>



5. William D. Callister, David G. Rethwisch, *Fundamentals of Materials Science and Engineering: An integrated approach*, 4th edition, John Wiley and Sons Inc, 2012, ISBN 1118061608, 9781118061602.
6. Donald R. Askeland, *The Science and Engineering of Materials*, PWS-KENT Publishing Company, Boston, Massachusetts, 1984, ISBN 0-534-029157-4.





Test de autoevaluare – MODULUL 11

Completați spațiile libere:

1. Fierul este un metal de culoare cenușie-albastră, cu densitatea de 7870 kg/m^3 și temperatura de topire de.....
2. Oțelul este aliajul fierului cu carbonul până la.....
3. Fonta se elaborează într-un cuptor înalt care se numește
4. Deoarece zgura are o..... decât fonta, aceasta plutește în creuzet deasupra fontei topite.

Bifați căsuța corespunzătoare:

5. Oțelurile inoxidabile sunt oțeluri care conțin cel puțin 10,5% Cr și max. 1,2% C.
Adevărat ☐ Fals ☐
6. Oțelurile refractare sunt oțeluri austenitice sau feritice.
Adevărat ☐ Fals ☐
7. Simbolizarea: X100CrMoV5 reprezintă un oțel inoxidabil cu 1% C și 5% Cr.
Adevărat ☐ Fals ☐
8. Oțelul pentru armarea betonului se obține din oțel rezistent la coroziune și poate avea profil neted (OB) sau periodic (PC);
Adevărat ☐ Fals ☐





Răspunsuri

1. 1538⁰C (pagina 2).
2. 2,11% C (pagina 2).
3. Furnal (pagina 6).
4. Densitate mai mică (pagina 7).
5. Adevărat (pagina 12).
6. Adevărat (pagina 14).
7. Adevărat (pagina 20).
8. Fals (pagina 20).

