

BAZELE ELABORĂRII ALIAJELOR FEROUASE

- extras din bibliografie -

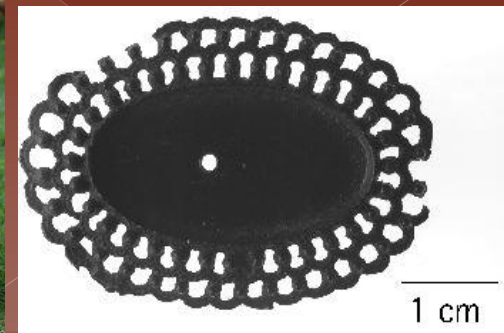
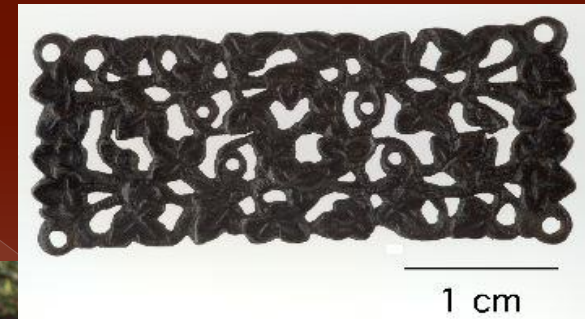
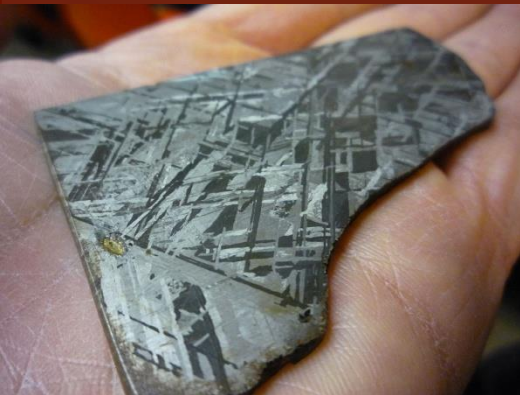
PARTEA 1

CUPRINS

- 1. Introducere. Istoricul procesării unei încărcături metalice și nemetalice feroase în vederea obținerii fontei și oțelului**
- 2. Schema logică a unui flux de elaborare a unui aliaj feros.**
- 3. Fonte.**
 - 3.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.**
 - 3.1.1. Fonte cenușii cu grafit lamelar nemodificate.**
 - 3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare.**
 - 3.1.3. Fonte aliate.**
 - 3.2. Elaborarea fontelor.**
 - 3.2.1. Tehnologia de elaborare a fontelor în cubilou.**
 - 3.2.2. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.**
 - 3.2.3. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu arc.**
- 4. Oțeluri.**
 - 4.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.**
 - 4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: oțeluri pentru construcții și structuri sudate; oțeluri pentru construcții mecanice; oțeluri inoxidabile și refractare;**
 - 4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;**
 - 4.2. Elaborarea oțelurilor**
 - 4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc.**
 - 4.2.2. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.**
 - 4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizor.**

1. Introducere. Istoricul procesării unei încărcături metalice și nemetalice feroase în vederea obținerii fontei și oțelului

- ❖ Începuturile obținerii și utilizării fontei ca material metalic pentru obținerea de piese prin turnare trebuie căutate în mileniul al II-lea înaintea erei noastre, în Mesopotamia, la sumerieni, babilonieni, asirieni și caldeeni și cam în aceeași perioadă în China.
- ❖ La baza obținerii fontei stă fierul, ce, spre deosebire de aur, argint, cupru etc., nu se află în scoarța terestră în stare nativă ci numai sub formă de compuși chimici (oxizi, carbonați, hidroxizi etc.). Fierul sub formă de oțel sau al tip de aliaj trebuie căutat ca având începuturi în ceea ce privește atenția omului asupra lui prin mileniul al III-lea înaintea erei noastre, fiind cunoscute date chiar exacte, cum ar fi anul 2800 î.e.n. în Egipt și anul 2 357 î.e.n. în China.
- ❖ începutul trebuie atribuit fierului ce provenea din meteoriți feroși cu o posibilă compoziție de 94% Fe, 5,4% Ni, 0,38% Co și proporții mici de carbon, clor, sulf și fosfor. Grecii numeau fierul „sideros”, cuvânt de origine latină, rădăcina cuvântului fiind „sidus - sideris” ce înseamnă stea.

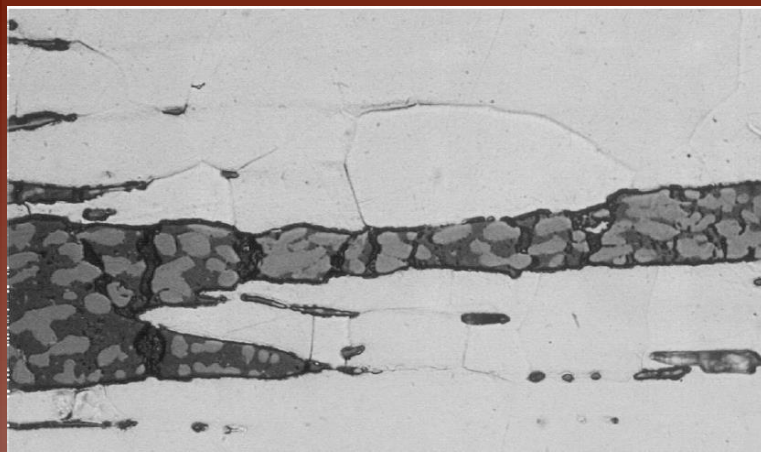


1. Introducere. Istoricul procesării unei încărcături metalice și nemetalice feroase în vederea obținerii fontei și oțelului

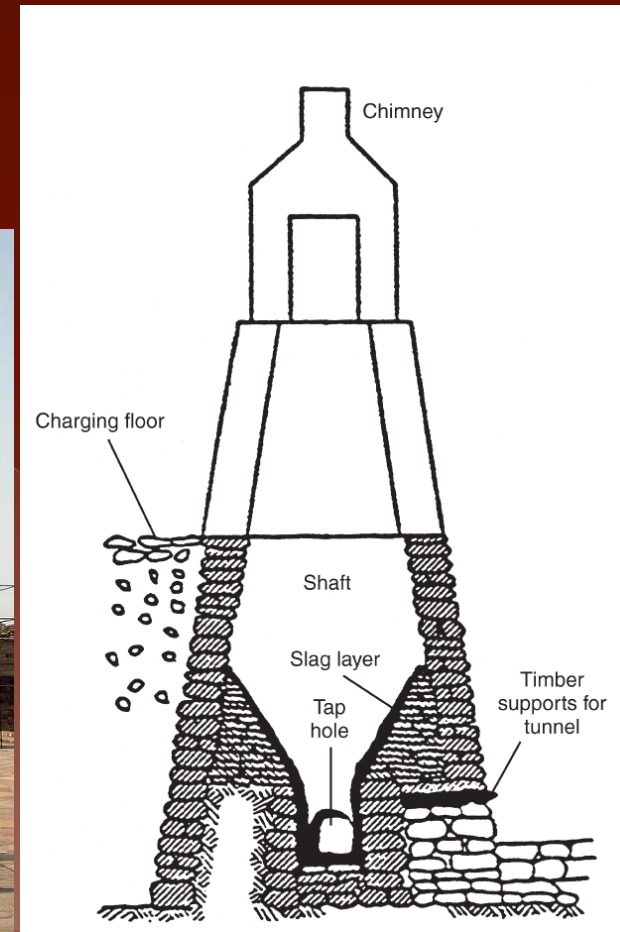
❖ Primul produs pe bază de fier obținut de om se numea **lupă**: aliaj al fierului, de compoziție foarte apropiată de cea a oțelului nealiat cu conținut foarte mic de carbon, înglobat, într-o masă de zgură și avea dimensiunile de circa 50x50x50 mm.

Lupa era obținută într-un cuptor zidit din piatră, căptușit cu argilă și alcătuit din două canale – unul vertical și unul orizontal, însă unul în prelungirea celuilalt. În canalul vertical se încărcau minereu de fier și cărbuni, în amestec, iar prin canalul orizontal se aspira aerul ce determina arderea cărbunilor.

❖ Strămoșul în domeniul cuptoarelor ce a stat la baza obținerii fontei este considerat un cuptor dezvoltat pe verticală, de dimensiuni mai mari, denumit „stückofen” (descoperit în Germania, în munții Hartz, este confirmat ca fiind în funcțiune în anul 1311 și era construit din cărămidă, fiind căptușit cu argilă).



Micrograph showing typical slag inclusions in wrought iron. Original magnification: 500x



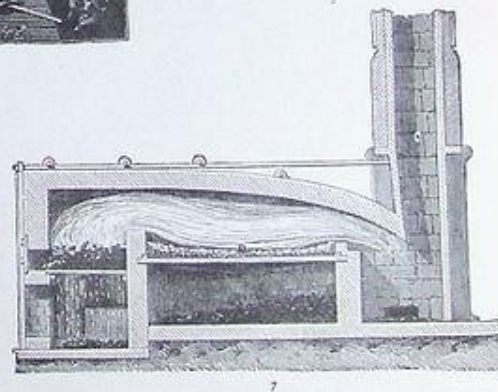
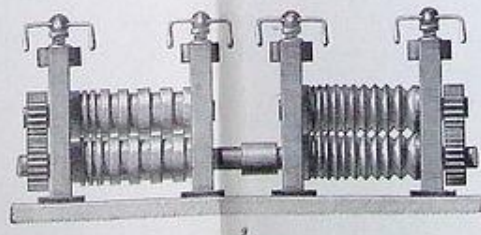
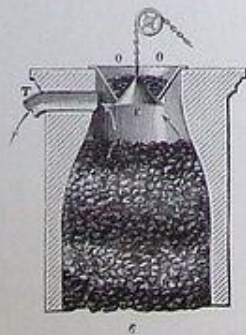
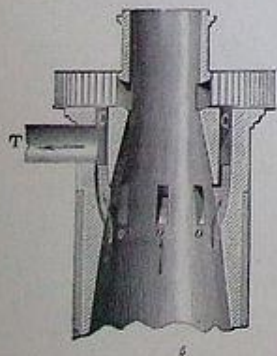
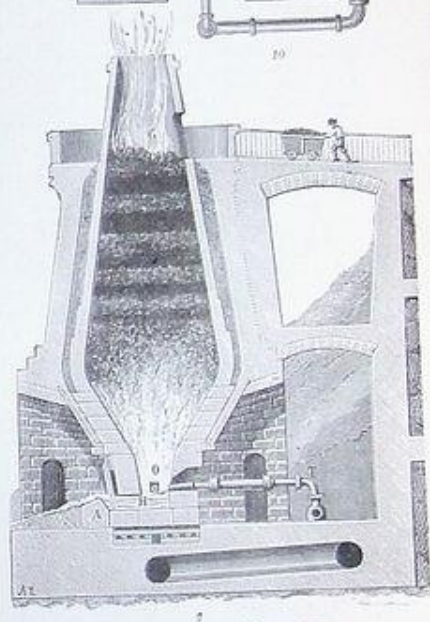
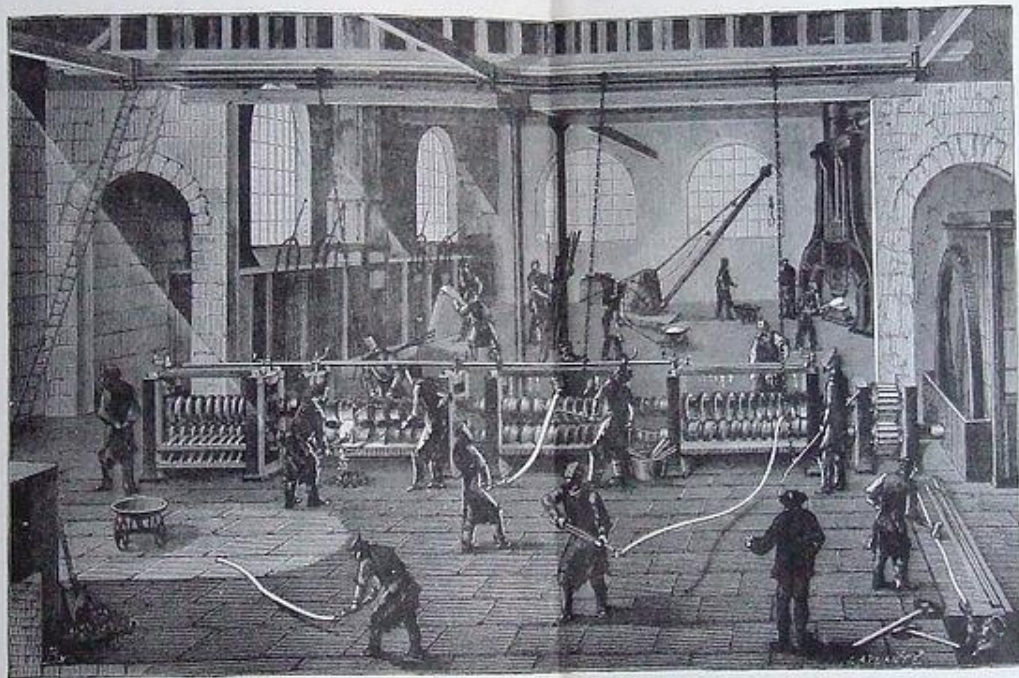
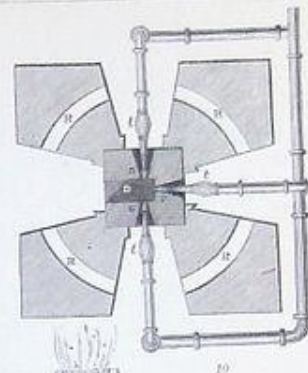
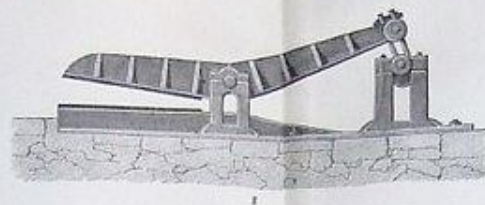
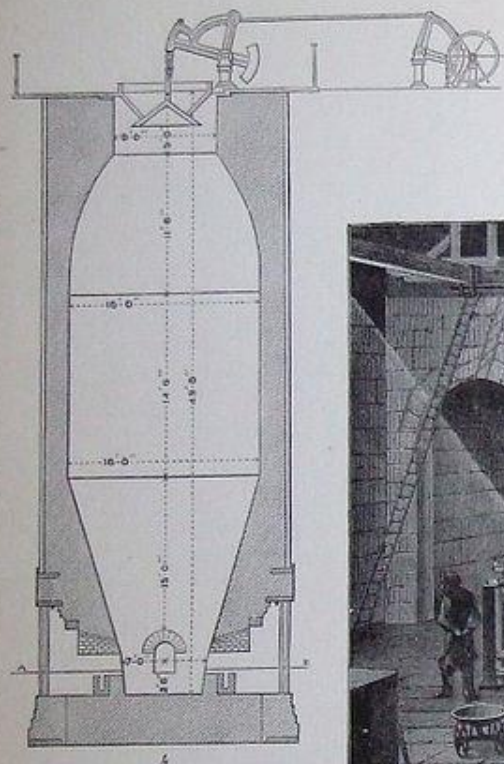


Fig. 1. General View of Rolling Iron.

2. Blast Furnace.

3. Nozzle of Tuyeres Pipe.

4. Upright Section of Blast Furnace.

5 and 6. Apparatus for Collecting Waste Gases from Blast Furnace.

7. Puddling Furnace.

8. Squeezer for Puddled Iron.

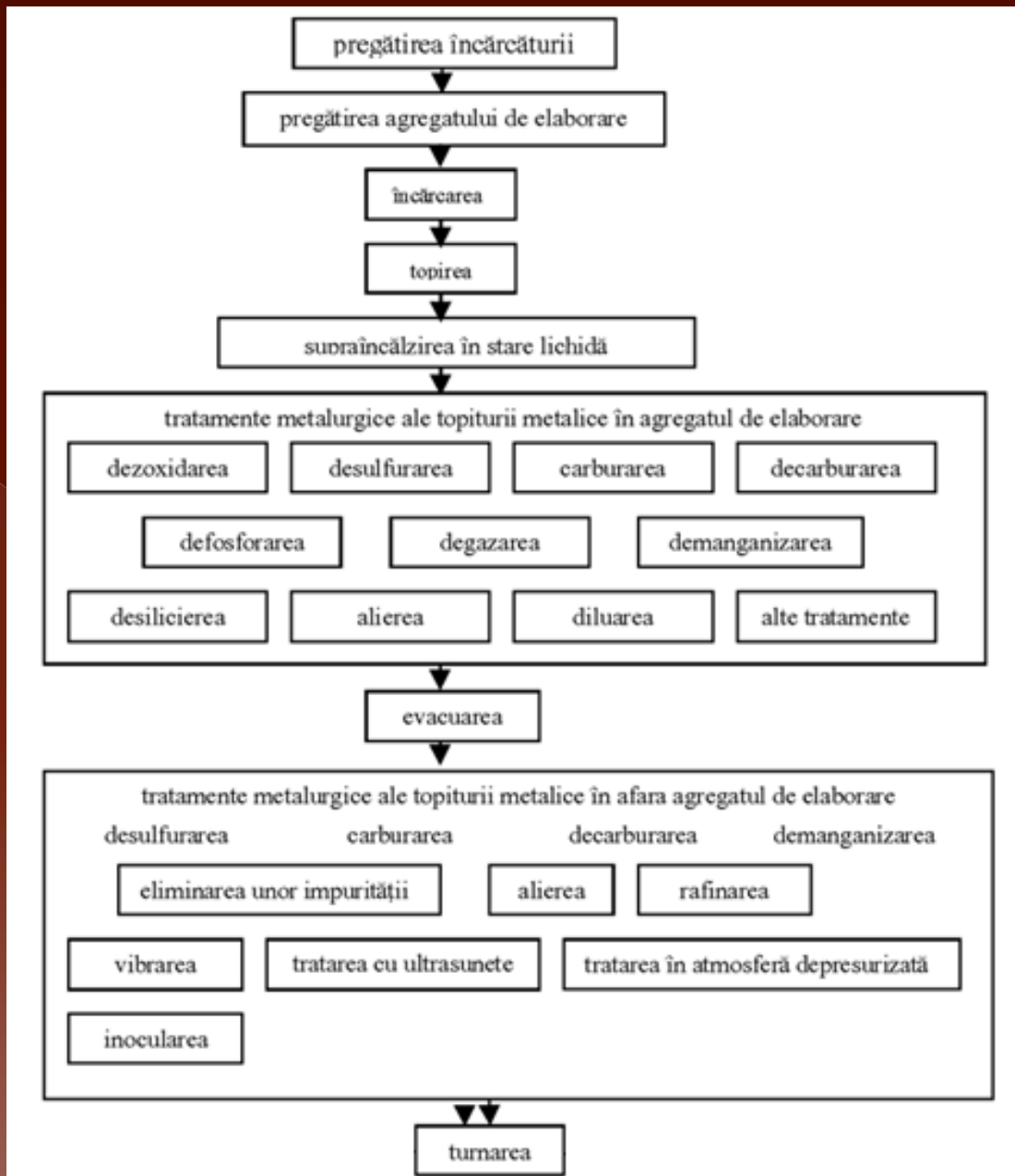
9. Rolling Mill for Puddled Iron.

10. Arrangement of Tuyeres Pipe in Blast Furnace.

1. Introducere. Istoricul procesării unei încărcături metalice și nemetalice feroase în vederea obținerii fontei și oțelului

- ❖ Secolul al XX-lea a adus îmbunătățirea performanțelor fontei prin aliere. Un loc aparte o ocupă realizarea cercetărilor americani K.D. Millis, A.P. Gagnebin și N.B. Pilling, de la societatea International Nickel- Company, realizare ce constă în obținerea unui nou tip de fontă cenușie – fonta cu grafit nodular – prin depunerea la data de 21 noiembrie 1947 a unei cereri de brevet de invenție și acordarea respectivului brevet de invenție la data de 25 octombrie 1949.
- ❖ În anul 1955, J.W. Estes și R. Schneidewind pun bazele obținerii fontei cu grafit vermicular, prin modificare, în mod asemănător obținerii fontei cu grafit nodular.
- ❖ Secolul al XX-lea a adus schimbări semnificative și în ceea ce privește sursa calorică necesară procesării unei încărcături metalice în vederea obținerii fontei de a doua fuziune. Astfel, de la cel mai simplu „cuptor” de retopire a fontei brute imaginat și experimentat de Réaumur, trebuie remarcat saltul la cubiloul electrogaz (folosește căldura degajată de arderea unor combustibili gazoși și căldura arcului electric etc.) sau la cubiloul cu încălzire prin inducție electromagnetică.
- ❖ Cuptorul electric cu încălzire prin arc electric, cuptorul electric cu încălzire prin inducție electromagnetică, cuptorul cu fascicul de electroni, cuptorul cu plasmă, instalația cu laser cu rubine sau cu laser semiconductor, instalația ce utilizează sursa solară etc., sunt câteva din sursele calorice utilizate la scară industrială și în laborator pentru a îmbunătăți performanțele fontei obținute

2. Schema logică a unui flux de elaborare a unui aliaj ferros



* După turnare se efectuează corectarea structurii metalografice prin tratament termic.

3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Definiția fontei

Fonta este un aliaj al fierului, caracterizat de transformarea eutectică la solidificare.

(Oțelul este un aliaj al fierului caracterizat de transformarea peritectică la solidificare.)

Fonta este aliajul fierului care conține ca elemente:

- **elemente însoțitoare de bază ale fierului**, C, Si, Mn, S și P;
- **elemente chimice gazoase** (O, H, N etc.);
- **elemente chimice în proporții foarte mici, numite și oligo-elemente** (Pb, As, Sb, Bi etc.).

În cazul în care fonta este aliată, ea conține **și elemente chimice de aliere**, cum ar fi următoarele: Ni, Cr, V, W, Mo etc. Există și elemente însoțitoare de bază ce pot fi elemente de aliere: Si, Mn, P.

3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Definiția fontei

În cazul sistemului teoretic Fe-C, fonta se definește în cazul sistemelor:

- **stabil (sistemul Fe-grafit):** fonta este aliajul Fe-C cu conținut de C între limitele **2,08 – 6,67%**;
- **metastabil (sistemul Fe-cementită):** fonta este aliajul Fe-C cu conținut de C între limitele **2,11 – 6,67%**.

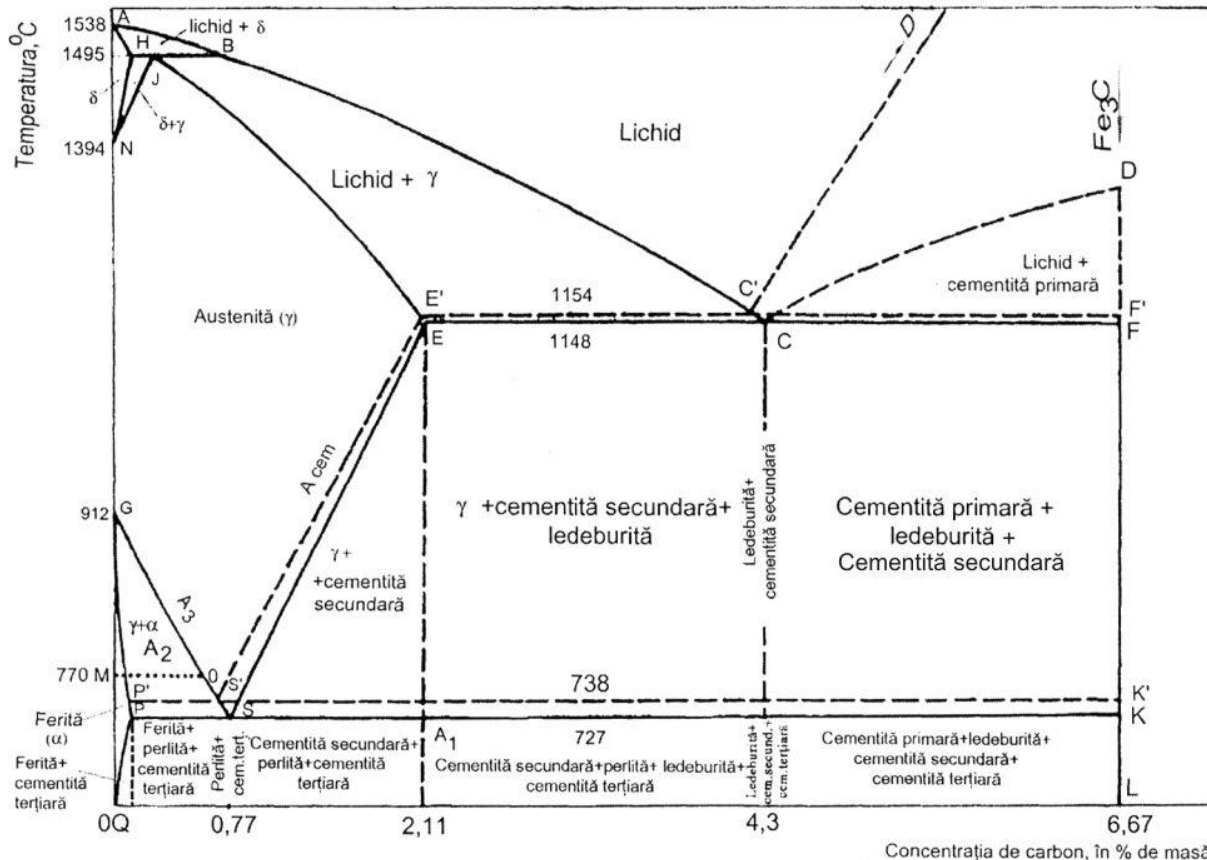


Diagrama de echilibru termodinamic fier-carbon, conform STAS 2. 500/1-80 (alura) – diagrama nu este reprezentată la scară.

3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

1. Valoarea conținutului de carbon

Trecerea de la sistemul binar Fe-C la fontele reale se face prin intermediul noțiunii de carbon echivalent (C_{echiv}).

Astfel, pentru analiza structurii fontelor se utilizează diagrama Fe-C, însă în locul conținutului de carbon se va lua în considerare conținutul de carbon echivalent.

Se procedează astfel deoarece elementele chimice prezente în fontă afectează solubilitatea carbonului în fierul lichid și în fierul solid.

Carbonul echivalent se calculează cu relația:

$$C_{echiv} = C_t + \% E_i \cdot m_j \quad (1)$$

unde: C_t : carbonul total, determinat prin analiză chimică;

$\% E_i$: proporția de element chimic însoțitor al Fe și C;

m_j : valoarea afectării solubilității carbonului în fierul lichid.

Pentru sistemul Fe-C-Si-S-Mn-P:

$$C_{echiv} = C_t + 0,3 \cdot \%Si - 0,3 \cdot \%P + 0,4 \cdot \%S - 0,03 \cdot \%Mn \quad (2)$$

3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

1. Valoarea conținutului de carbon

În practică se utilizează noțiunea de **grad de saturație în carbon** (S_C):

$$S_C = C_t / C_e \quad (3)$$

unde: C_e : carbonul eutectic ce reprezintă conținutul de carbon corespunzător punctului C din diagrama Fe-C, dar ținând seama de influența elementelor însoțitoare ale Fe și C asupra solubilității C în fierul lichid (punctele C sau C').

Carbonul eutectic se calculează cu relația:

$$C_e = (\%C_C \text{ sau } \%C_{C'}) + \% E_i \cdot m_i \quad (4)$$

unde: $m_i = - m_j$: valoarea influenței asupra solubilității C în fierul lichid.

Pentru sistemul Fe-C-Si-S-Mn-P:

$$C_e = 4,3/4,26 + 0,3 \cdot \%Si - 0,3 \cdot \%P + 0,4 \cdot \%S - 0,03 \cdot \%Mn \quad (5)$$

Astfel, în funcție de S_C , există următoarele trei categorii de fontă:

a) **Fontă hipoeutectică: $S_C < 1$;**

b) **Fontă eutectică: $S_C = 1$;**

c) **Fontă hipereutectică: $S_C > 1$.**

3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

2. Forma în care se află carbonul

a) **Fonta cenușie:** este fonta în care *carbonul este sub formă de grafit* și soluție (ferită sau austenită) – în toate cazurile, sau sub formă de grafit, soluție și cementită legată. Denumirea este dată de aspectul casurii.

b) **Fonta albă:** este fonta în care carbonul se află sub formă de cementită și soluție. Cementita este atât sub formă liberă (în cea mai mare parte) cât și legată (perlită).

Ruptura se realizează prin separările de cementită, ceea ce îi conferă o culoare argintie – deschisă.

a) **Fonta pestriță:** este un amestec mecanic de fontă cenușie și fontă albă.

3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

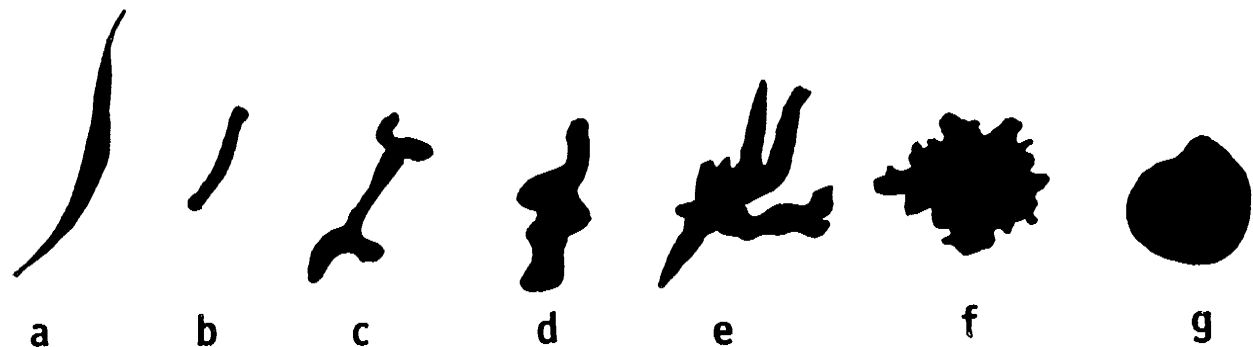
3. Geometria grafitului

Clasificarea se realizează în funcție de parametrul grad de compactitate (K_G), definit prin relația:
$$K_G = g / l \quad (6)$$

unde: g - grosimea separării de grafit;
 l - lungimea separării de grafit.

Astfel, în funcție de valoarea gradului de compactitate al separărilor de grafit, principalele tipuri de grafit întâlnite la fontele cenușii sunt următoarele:

- a) grafit lamelar;
- b) grafit lamelar cu vârfurile rotunjite;
- c) grafit „coral” (Layered Graphite, Fibre-like, Fibrous);
- d) grafit vermicular (compact, compact /vermicular etc.);
- e) grafit „chunky”;
- f) grafit în cuiburi;
- g) grafit nodular.



3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

4. Natura matricei metalice

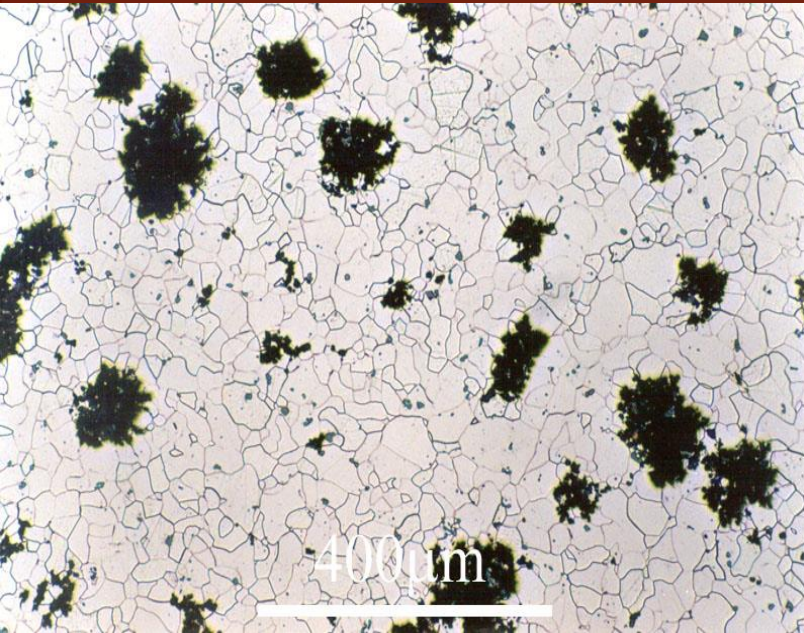
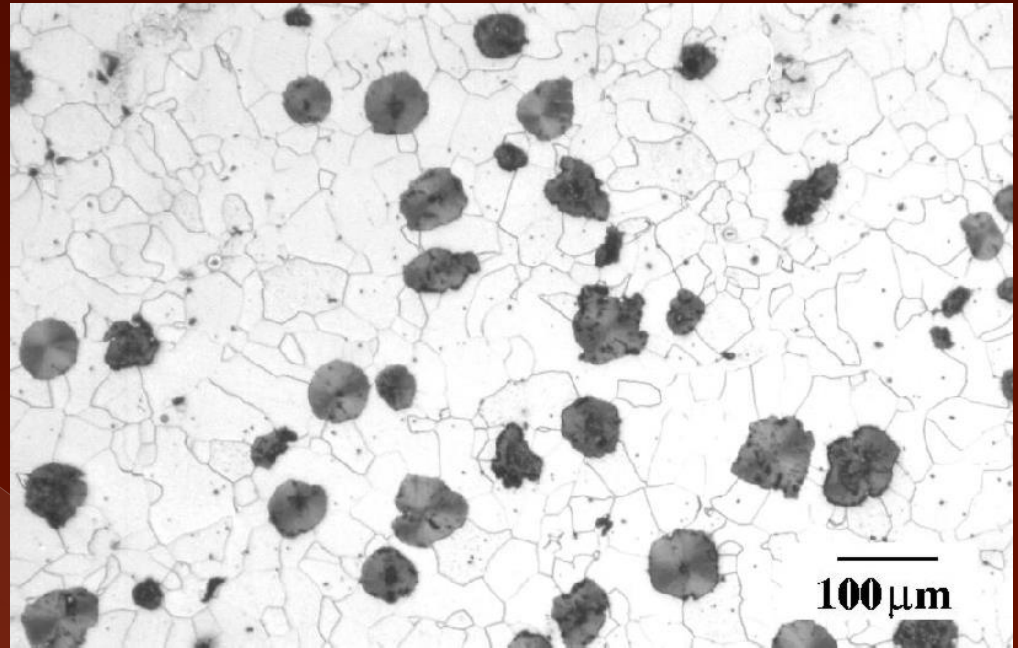
În funcție de fondul metalic, fontele se clasifică în următoarele categorii:

- fonte din clasa feritică;
- fonte din clasa ferito-perlitică sau perlito-feritică;
- fonte din clasa perlitică;
- fonte din clasa martensitică;
- fonte din clasa bainitică;
- fonte din clasa ausferitică.

3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

4. Natura matricei metalice – fonte din clasa feritică;

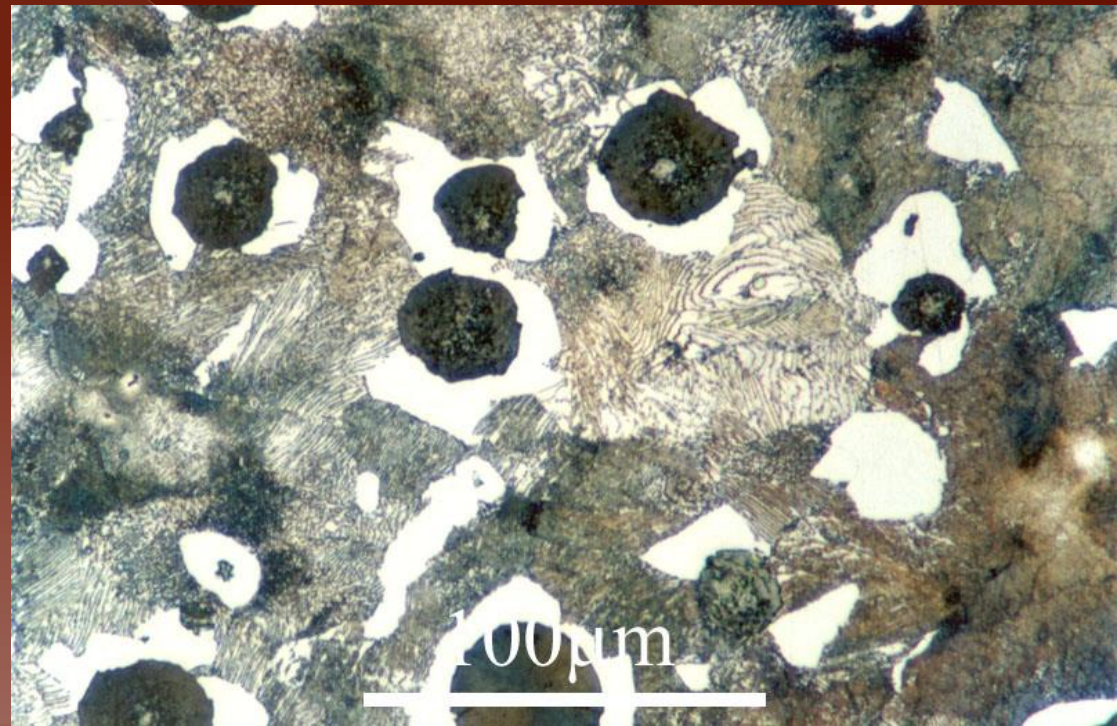
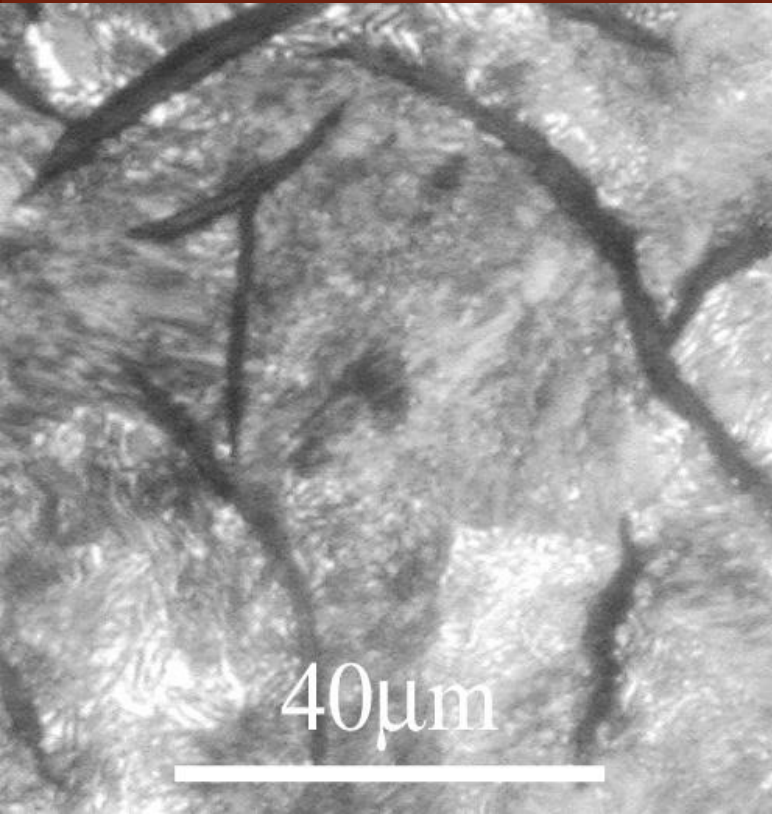


3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

4. Natura matricei metalice

- fonte din clasa ferito-perlitică sau perlito-feritică;

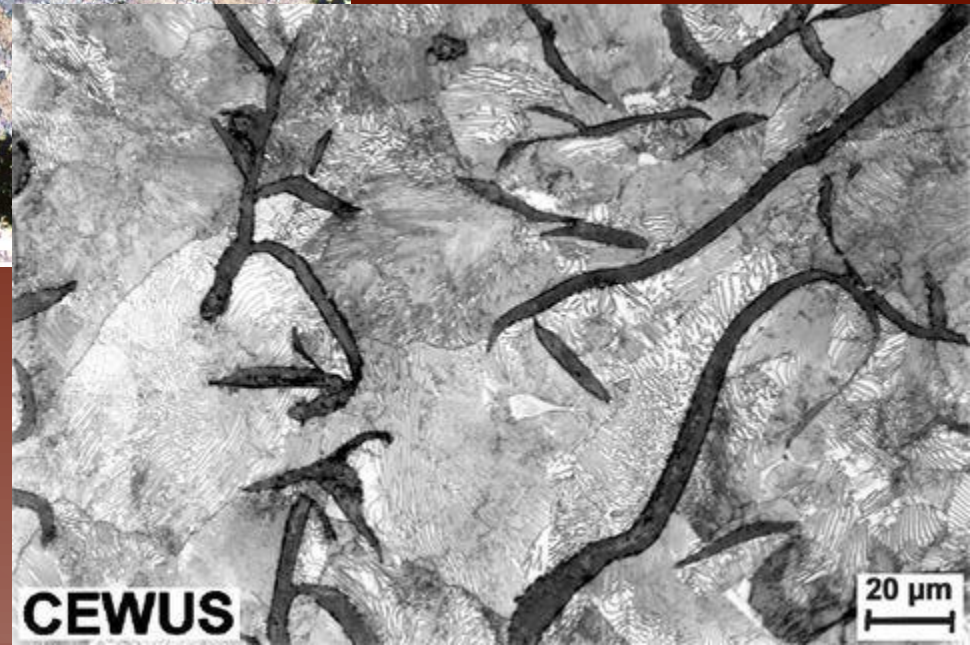
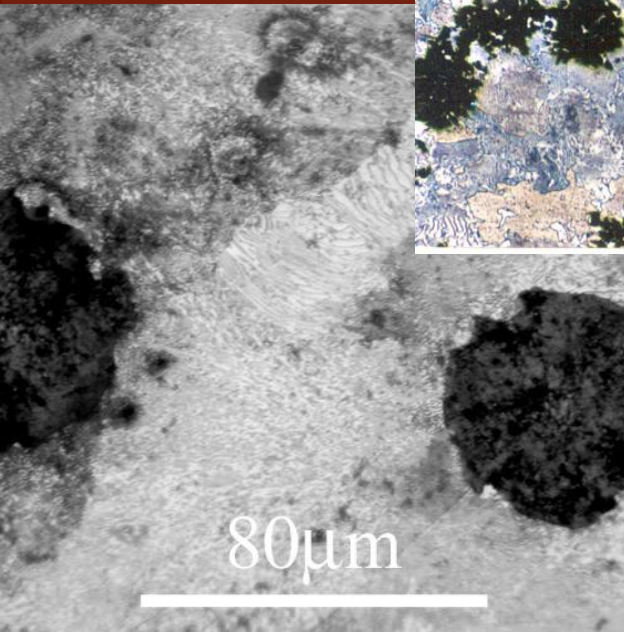
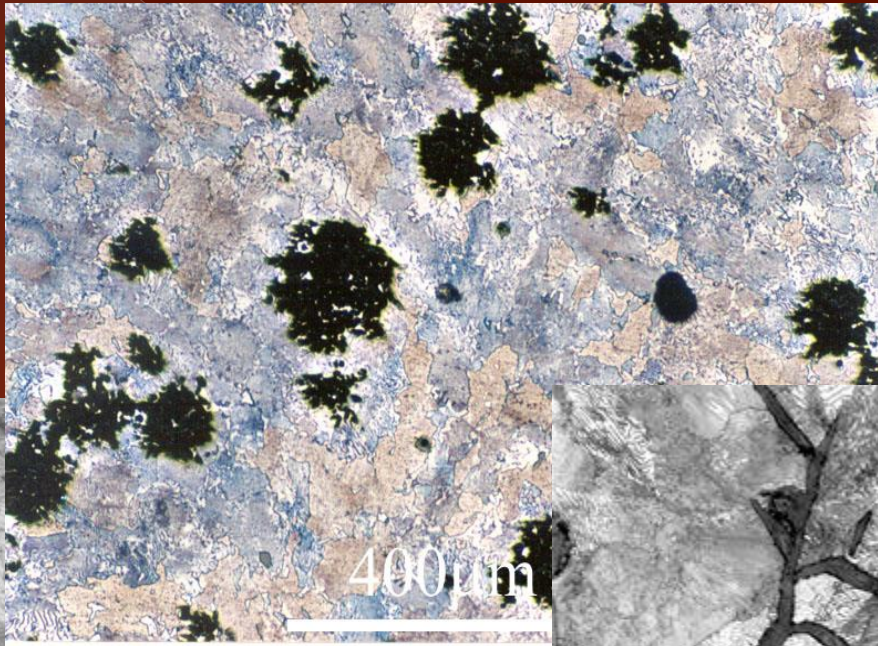


3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

4. Natura matricei metalice

- fonte din clasa perlitică;

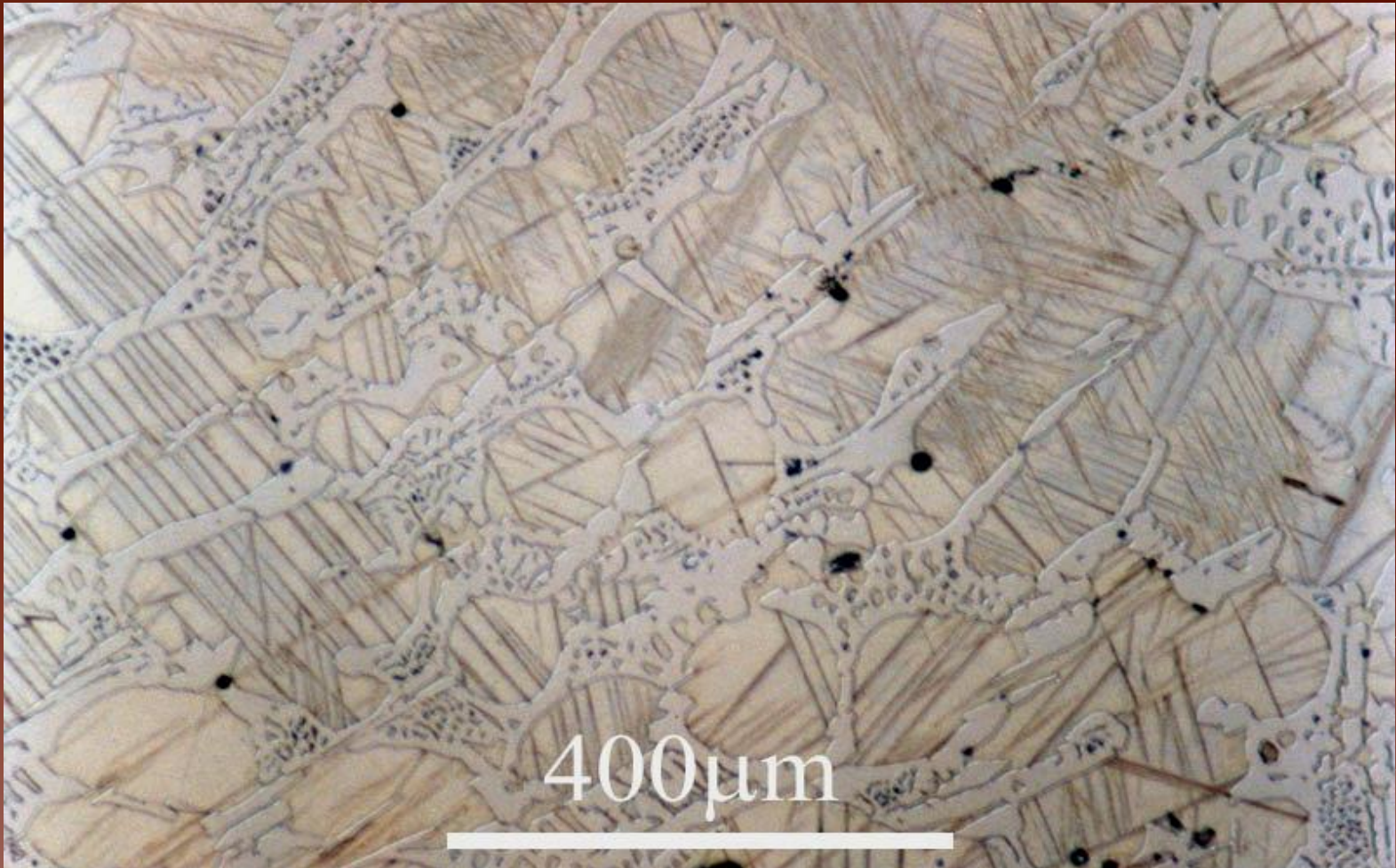


3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

4. Natura matricei metalice

- *fonte din clasa martensitică;*

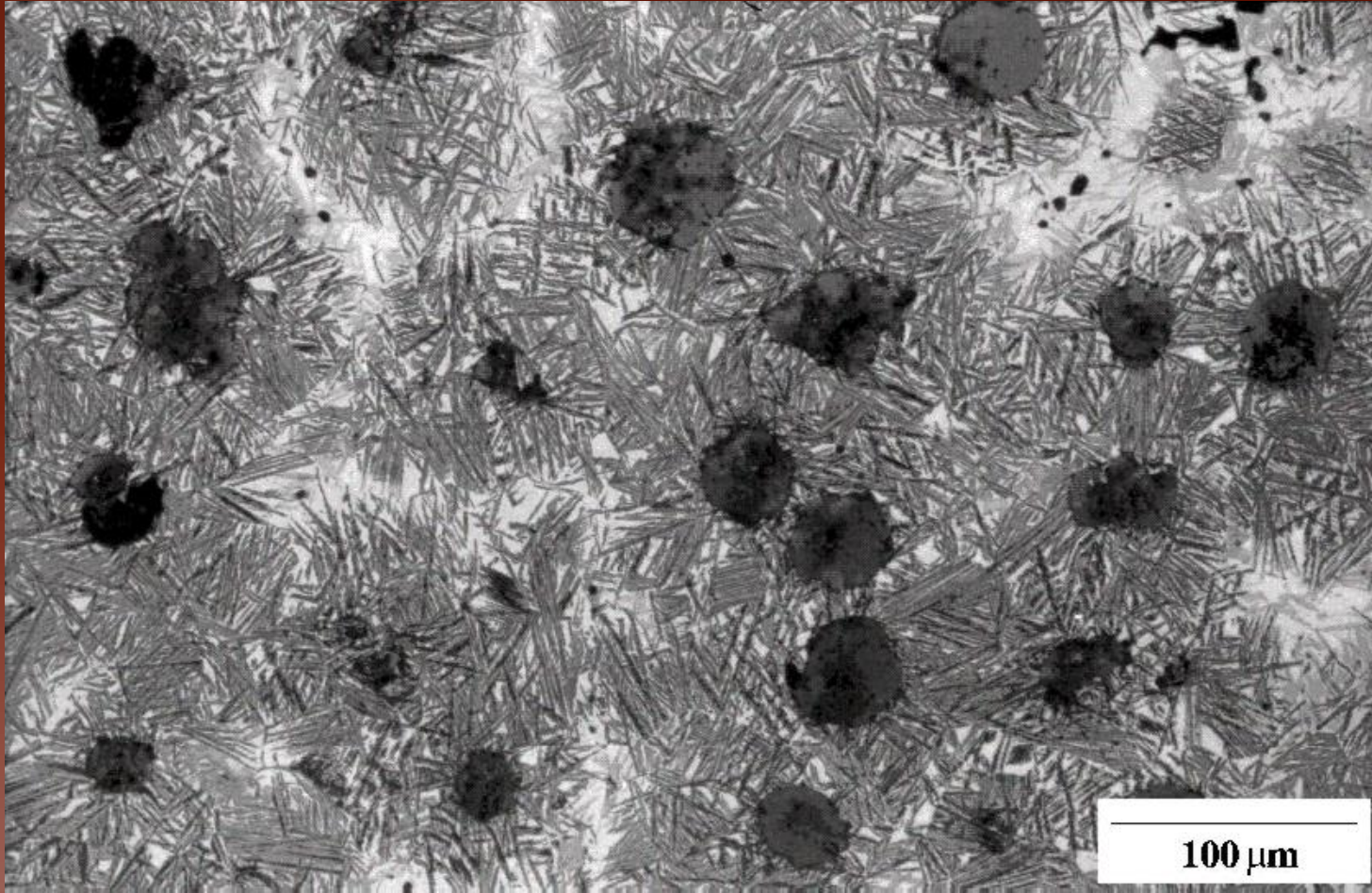


3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

4. Natura matricei metalice

- fonte din clasa ausferitică.



3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

4. Natura matricei metalice

În funcție de fondul metalic, fontele se clasifică în următoarele categorii:

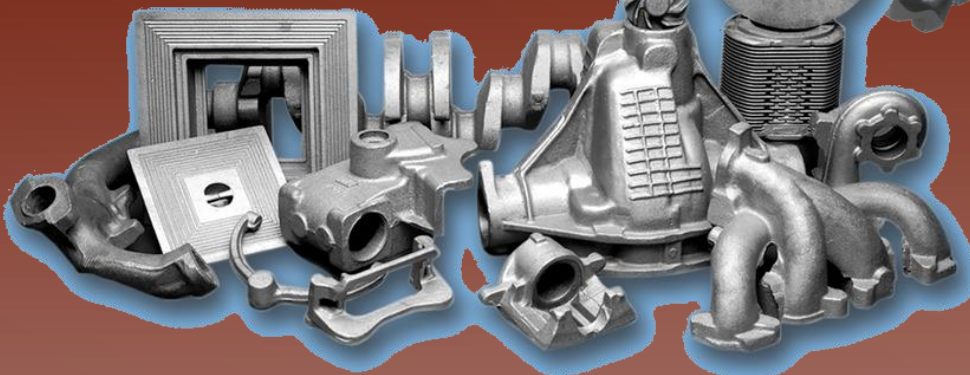
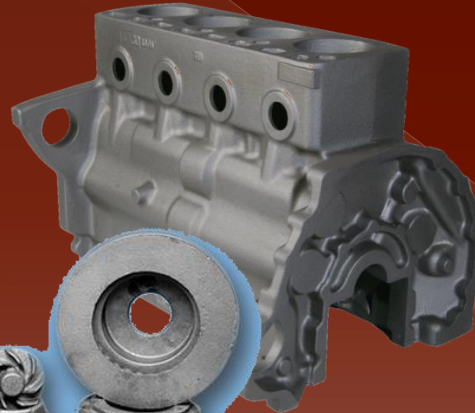
- fonte din clasa feritică;
- fonte din clasa ferito-perlitică sau perlito-feritică;
- fonte din clasa perlitică;
- fonte din clasa martensitică;
- fonte din clasa bainitică;
- fonte din clasa ausferitică etc.

3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

5. Domenii de utilizare

- fonte pentru mașini unelte;
- fonte refractare;
- fonte rezistente la coroziune;
- fonte rezistente la uzare abrazivă;
- fonte rezistente la șoc termic;
- fonte cu proprietăți de plasticitate mari etc.



brat suspensie camion

3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

5. Domenii de utilizare

- fonte pentru mașini unelte;
- fonte refractare;
- fonte rezistente la coroziune;
- fonte rezistente la uzare abrazivă;
- fonte rezistente la șoc termic;
- fonte cu proprietăți de plasticitate mari etc.

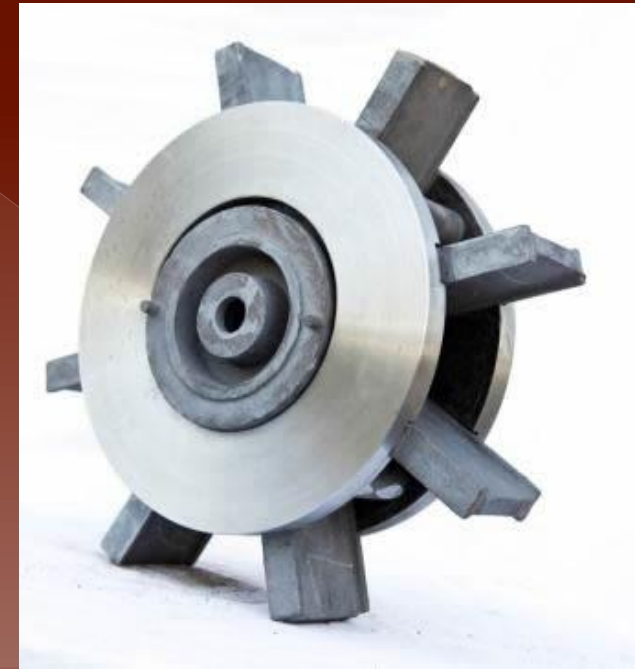
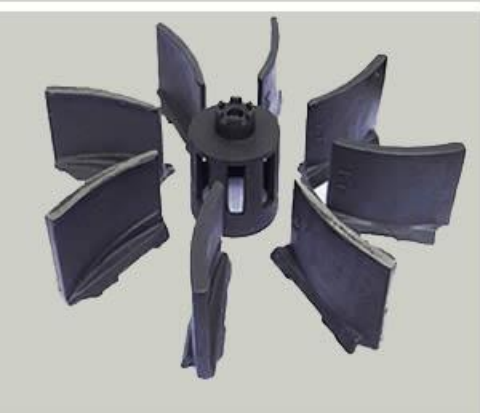


3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

5. Domenii de utilizare

- fonte pentru mașini unelte;
- fonte refractare;
- fonte rezistente la coroziune;
- fonte rezistente la uzare abrazivă;
- fonte rezistente la șoc termic;
- fonte cu proprietăți de plasticitate mari etc.

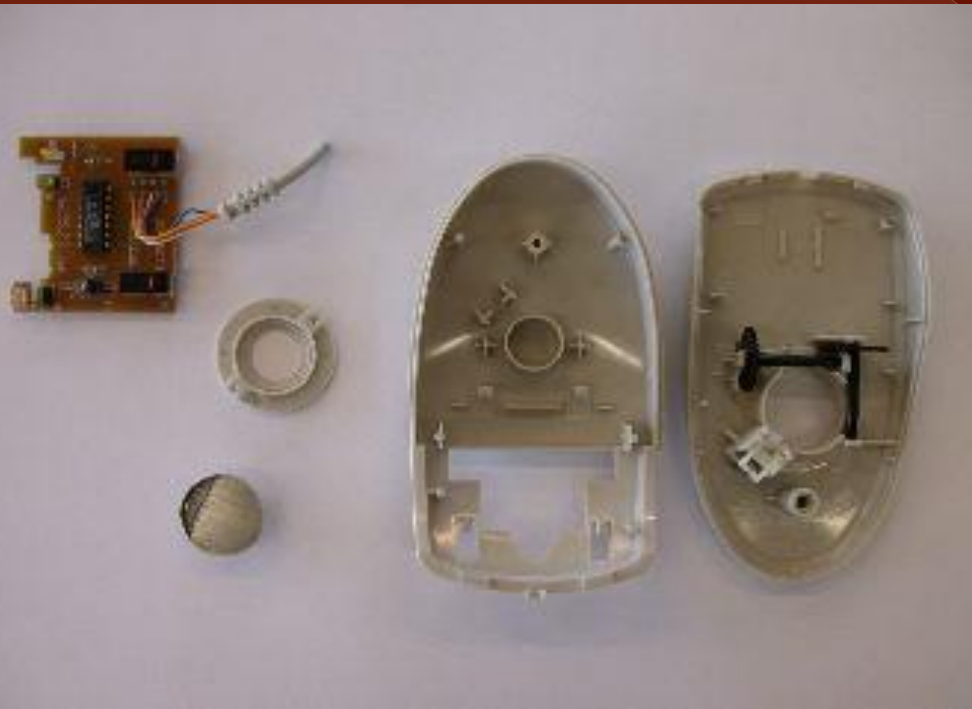
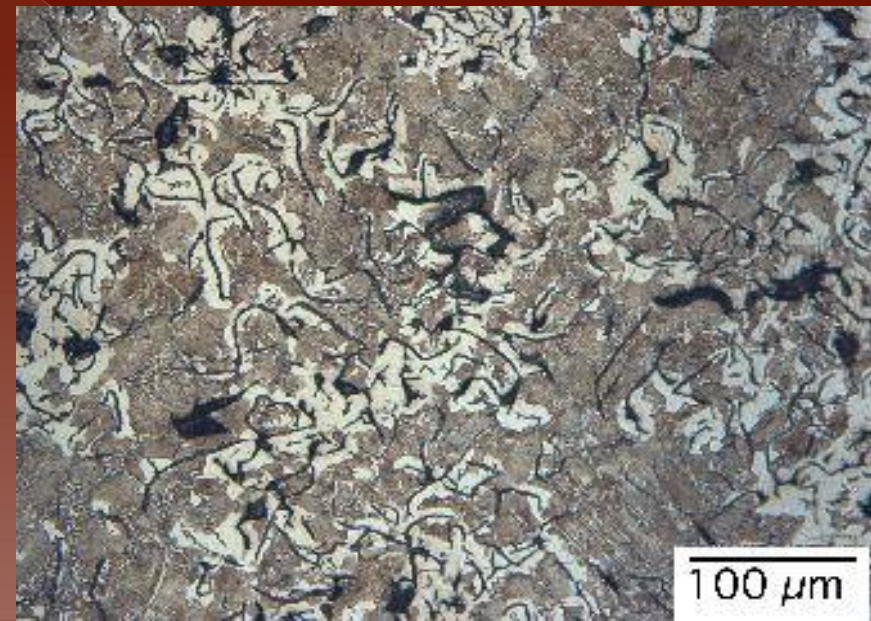
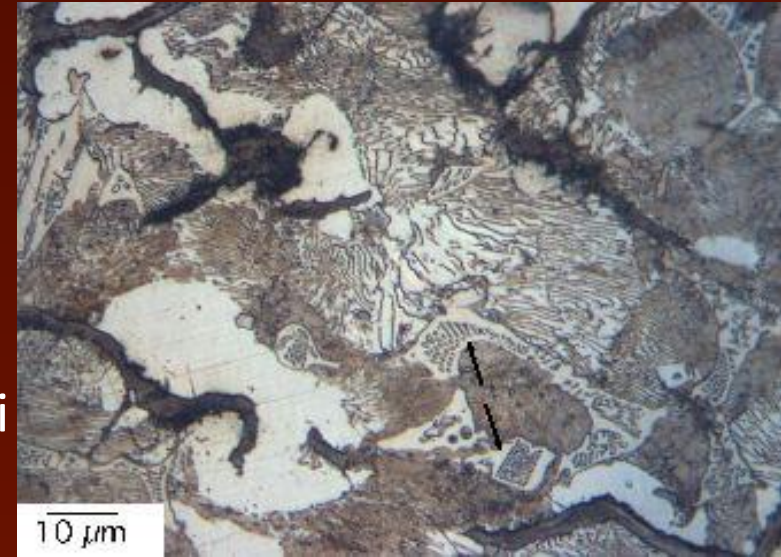


3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

5. Domenii de utilizare

- fonte pentru mașini unelte;
- fonte refractare;
- fonte rezistente la coroziune;
- fonte rezistente la uzare abrazivă;
- fonte rezistente la șoc termic;
- fonte cu proprietăți de plasticitate mari



3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

6. Valoarea conținutului elementelor de aliere

- a) **Fonte nealiate**: fontele la care conținutul elementelor chimice însoțitoare ale fierului (C, Si, Mn, P și S) și al oligoelementelor (Ni, Cr, Cu, Ti, Al etc – în cazul în care fonta conține doar un oligoelement) este următorul: %C = 1,9-4,5; %Si ≤ 4,5; %Mn ≤ 1,5; %P ≤ 1,8; %S ≤ 0,25; %Ni ≤ 0,3; %Cr ≤ 0,2; %Cu ≤ 0,3; %Ti ≤ 0,1 etc.
- b) **Fonte aliate**: fontele la care conținutul elementelor chimice însoțitoare ale fierului (C, Si, Mn, P și S) și al oligoelementelor este mai mare decât în cazul a). Se consideră aliată fonta în cazul căreia suma conținutului oligoelementelor este > 1.

Fontele aliate se pot clasifica în:

1. **Fonte slab aliate** ($\sum E_{\text{aliere}} < 4\%$);
2. **Fonte mediu aliate** ($4\% < \sum E_{\text{aliere}} < 8\%$);
3. **Fonte înalt aliate** ($\sum E_{\text{aliere}} > 10\%$).

3. Fonte. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci

Clasificarea fontei

7. Natura încărcăturii agregatului de elaborare

- a) Fonte de primă fuziune (fonte brute, fonte noi): se obțin în furnal, utilizându-se în încărcătură minereu de fier în combinație sau nu cu fonta veche, deșeuri metalice etc. Se produc în majoritatea cazurilor sub formă de blocuri (calupuri).

- b) Fonte de a doua fuziune: se obțin prin procesarea unei încărcături metalice și sunt turnate, de regulă, sub formă de piese.

Bibliografie

1. L. Sofroni, Elaborarea și turnarea aliajelor, Ed.D.P. București, 1975.

2. I. Ripoșan, M. Chișamera, Tehnologia elaborării și turnării fontei, Ed.D.P. București, 1981.

3. S. Stanciu, I. Alexandru, M. Gherghe, Materiale pentru construcții metalice, Ed. Sedcom Libris, Iași, 2001.

4. I. Cheșa, N. Lașcu-Simion, C. Mureșeanu, C. Rizescu, M.S. Teodorescu, Mărci și produse din oțel, Ed. Tehnică, București, 1989.

5. V. Cojocaru, Fonte—obținere, Ed. Samia, Iași, 2003.

6. Cimpoeșu, N. și V. Cojocaru-Filipiuc. Aspecte ale elaborării și pachetul de programe pentru proiectarea asistată de calculator a elaborării fontei în cuptoare cu inducție, cu creuzet. Iași. Editura Universitas XXI. 2010.

BAZELE ELABORĂRII ALIAJELOR FERROASE

PARTEA 2

CUPRINS

1. Introducere. Istoricul procesării unei încărcături metalice și nemetalice feroase în vederea obținerii fontei și oțelului
2. Schema logică a unui flux de elaborare a unui aliaj feros.
3. Fonte.
 - 3.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.
 - 3.1.1. Fonte cenușii cu grafit lamelar nemodificate.
 - 3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare.
 - 3.1.3. Fonte aliate.
 - 3.2. Elaborarea fontelor.
 - 3.2.1. Tehnologia de elaborare a fontelor în cubilou.
 - 3.2.2. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.
 - 3.2.3. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu arc.
4. Oțeluri.
 - 4.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.
 - 4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: oțeluri pentru construcții și structuri sudate; oțeluri pentru construcții mecanice; oțeluri inoxidabile și refractare;
 - 4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;
 - 4.2. Elaborarea oțelurilor
 - 4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc.
 - 4.2.2. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.
 - 4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizor.

3.1. SIMBOLIZAREA FONTELOR. MĂRCI

Simbolizare europeană a fontelor este reglementată prin standardul românesc, adoptat după un standard european, SR EN 1560:1999. În prezent acest standard a fost revizuit și înlocuit cu SR EN 1560:2011, versiunea în limba engleză. Această simbolizare poate fi alfanumerică (cuprinde litere și cifre), de bază, sau numerică, care este complementară.

Simbolizarea alfanumerică se poate face fie în funcție de caracteristici mecanice, fie în funcție de compoziția chimică și ocupă maxim șase poziții, cu următoarele semnificații:

- poziția 1: EN semnifică normele europene;
- poziția 2: simbolul GJ unde G reprezintă piesă turnată iar J fontă;
- poziția 3: simbolul caracteristic grafitului (L-lamelară; S-sferoidală; M-maleabil; V-vermicular; N-fără grafit; Y-structura indicată în standardul de produs);
- poziția 4: simbolul macrostructurii sau microstructurii (A-austenită; F-ferită; P-perlită; M-martensită; L-ledeburită; Q-călită și revenită; B-inimă (spărtură) neagră (numai la fonte maleabile); W-inimă sau spărtură albă (numai la fonte maleabilă);
-

3.1. SIMBOLIZAREA FONTELOR. MĂRCI

- 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. Dacă se indică caracteristicile mecanice, acestea pot fi rezistența la rupere sau duritatea HB (Brinell). Rezistența mecanică minimă R_m se măsoară în $[N/mm^2]$ și poate fi urmată de alungirea procentuală după rupere, în funcție de tipul fontei (de exemplu la fontele maleabile). După numărul care indică rezistența mecanică minimă sau alungirea după rupere poate fi o literă care indică modul de prelevare a probelor: C- probă prelevată din piesa turnată; U-probă atașată la piesă și S-probă turnată separat. La alte tipuri de fonte, ca, de exemplu cele nodulare feritice, după rezistența mecanică minimală se indică rezistența la încovoiere la șoc KV, în N/mm^2 . Aceste mărci se recunosc prin faptul că sunt urmate de literele RT, dacă încercarea s-a efectuat la temperatura ambiantă sau LT, pentru încercări efectuate la temperaturi scăzute. În situația în care caracteristica mecanică simbolizată este duritatea, atunci nu se mai indică rezistența mecanică la rupere, nici alungirea. Simbolizarea după compoziția chimică, folosită la fonte aliate, începe cu litera X și se face cu sau fără indicarea conținutului de carbon. După litera X, se trece apoi conținutul de carbon în sutimi de procent (dacă acesta se indică), apoi simbolul elementelor de aliere, începând cu cel al cărui conținut este cel mai mare și, la final, conținutul corespunzător de elemente de aliere, rotunjite la un număr întreg și separate prin cratimă;

- poziția 6: o literă care reprezintă condițiile suplimentare, separată de poziția 5 prin cratimă (W-sudabilitate, D-piesă brut turnată, H-piesă supusă tratamentului termic, Z-condiții suplimentare indicate în comandă).

Pe baza acestei metologii se realizează simbolizarea diferitelor tipuri de fonte, fiecare fiind cuprins într-un standard anume.

3.1. SIMBOLIZAREA FONTELOR. MĂRCI

Simbolizarea fontelor cu destinație generală

- Fonte cenușii cu grafit lamelar (obișnuite sau modificate), prevăzute în standardul român adoptat după standardul european, SR EN 1561:1999. Sunt caracterizate prin rezistența mecanică minimă la tracțiune sau prin duritatea Brinell.
Cele obișnuite se simbolizează prin gruparea de litere EN-GJL, urmată de rezistența la tracțiune minimă garantată sau duritatea Brinell .
În cazul folosirii simbolizării după compoziția chimică, după grupul de litere EN-GJL se trece litera X și apoi conținutul de carbon (dacă este important) în sutimi de procent, și apoi simbolul elementelor de aliere, începând cu cel al cărui conținut este cel mai mare și, la final, conținutul corespunzător de elemente de aliere, rotunjite la un număr întreg și separate prin cratimă.

Exemple:

- EN-GJL-200 (similară cu fosta marcă Fc 200/STAS 568-82, în prezent anulată), fontă cenușie cu grafit lamelar cu rezistența la tracțiune $R_m \geq 200 \text{ N/mm}^2$;
- EN-GJL-150 U, fontă cenușie cu grafit lamelar cu rezistența la tracțiune $R_m \geq 150 \text{ N/mm}^2$ din probă atașată la piesa turnată;
- EN-GJL-150 S, fontă cenușie cu grafit lamelar cu rezistența la tracțiune $R_m \geq 150 \text{ N/mm}^2$, determinată pe probă turnată separat;
- EN-GJL-300, (similară cu fosta Fc 300), fontă cenușie cu grafit lamelar având rezistența la tracțiune $R_m \geq 300 \text{ N/mm}^2$;
- EN-GJL-HB 175, fontă cenușie cu grafit lamelar cu duritatea 175 HB;
- EN-GJL-HB 235, fontă cenușie cu grafit lamelar cu duritatea 235 HB;
- EN GJL-XNiMn 13-7, fontă cenușie aliată cu 13 % Ni și 7 % Mn;
- EN-GJL-X300CrNiSi9-5-2, fontă cenușie aliată cu 3 % C, 9 % Cr, 5 % Ni și 2 % Si.

3.1. SIMBOLIZAREA FONTELOR. MĂRCI

Simbolizarea fontelor cu destinație generală

- Fonte maleabile, au calitatea reglementată prin SR EN 1562:1999, care prevede două tipuri de fonte:
 - fonte maleabile cu miez alb (decarburată), simbolizate prin grupul de litere EN-GJMW, urmat de cratimă, de rezistența la tracțiune minimă R_m , în N/mm² și de alungirea la rupere în %, separată tot prin cratimă;
 - fonte maleabile cu miez negru (nedercaburată), simbolizate prin grupul de litere EN-GJMB, urmat de rezistența la tracțiune minimă R_m , în N/mm² și alungirea la rupere în %.

Exemple:

EN-GJMW-350-4, (similară cu Fma 350/STAS 569-79, anulată), fontă maleabilă cu miez alb, având rezistența la tracțiune $R_m \geq 350$ N/mm² și alungirea la rupere $A \geq 4$ %;

EN-GJMW-400-5, (similară cu Fma 400/STAS 569-79, anulată), fontă maleabilă cu miez alb, având rezistența la tracțiune $R_m \geq 400$ N/mm² și alungirea la rupere $A \geq 5$ %;

EN-GJMW-360-12S, fontă maleabilă cu miez alb, având rezistența la tracțiune ≥ 360 N/mm² și alungirea la rupere de 12 %, din probă turnată separat;

EN GJMB-300-6, (similară cu Fmn 300/STAS 569-79, anulată), fontă maleabilă cu miez negru, având rezistența la tracțiune $R_m \geq 300$ N/mm² și alungirea la rupere $A \geq 6$ %;

EN GJMB-450-6, (similară cu fosta Fmp 450), fontă maleabilă cu miez negru, având rezistența la tracțiune $R_m \geq 450$ N/mm² și alungirea la rupere $A \geq 6$ %.

EN GJMB-600-3, (similară cu fosta Fmp 600), fontă maleabilă cu miez negru, având rezistența la tracțiune $R_m \geq 600$ N/mm² și alungirea la rupere $A \geq 3$ %.

3.1. SIMBOLIZAREA FONTELOR. MĂRCI

- Fonte cu grafit nodular numite și fonte ductile, sunt reglementate prin SR EN 1563:1999, pentru fontele netratate termic și prin SR EN 1564:1999 cele tratate termic. Sunt simbolizate prin grupul de litere EN GJS urmat de cratimă, rezistența minimă la tracțiune și alungirea la rupere, separate prin cratimă. În locul rezistenței la tracțiune și alungirii la rupere se poate simboliza și duritatea Brinell. Standardul SR EN 1563:1999 prevede pentru fontele nodulare feritice și posibilitatea garantării unei anumite energii la rupere KV, determinată fie la temperatura ambiantă, fie la temperaturi scăzute (până la – 400 C); mărcile respective se recunosc după literele RT sau LT scrise la sfârșitul simbolului. Pentru fontele cu grafit nodular tratate termic, bainitice, simbolizate prin SR EN 1564:1999, simbolizarea cuprinde același grup de litere urmat de rezistența la tracțiune și alungirea la rupere, care sunt mult mai mari.

Exemple:

EN-GJS-500-7, (similară cu Fgn 500-7/STAS 6071-82, anulată), fontă cu grafit nodular având rezistența la rupere $R_m \geq 500 \text{ N/mm}^2$ și $A \geq 7 \%$;

EN-GJS-800-2, (similară cu fosta Fgn 800-2), fontă cu grafit nodular având rezistența la rupere $R_m \geq 800 \text{ N/mm}^2$ și $A \geq 2 \%$;

EN-GJS-350-22C, fontă cu grafit nodular având rezistența la tracțiune $R_m \geq 350 \text{ N/mm}^2$, alungirea $A \geq 22 \%$, determinate pe probă prelevată din piesă;

EN-GJS-800-8U, fontă cu grafit nodular cu $R_m \geq 800 \text{ N/mm}^2$, $A \geq 8\%$ din probă atașată la piesa turnată;

EN-GJS-HB 150, fontă cu grafit nodular având duritatea 130-175 HB;

EN-GJS-HB 230, fontă cu grafit nodular având duritatea medie 230 HB;

EN-GJS-350-22-LT, fontă cu grafit nodular având rezistența la rupere $R_m \geq 350 \text{ N/mm}^2$, $A \geq 22 \%$, la care se garantează energia la rupere $KV \geq 12 \text{ J}$ la – 400 C;

EN-GJS-350-22-RT, fontă cu grafit nodular având rezistența la rupere $R_m \geq 350 \text{ N/mm}^2$, $A \geq 22 \%$, la care se garantează $KV \geq 17 \text{ J}$ la + 230 C;

EN-GJS-400-18-LT, fontă cu grafit nodular având rezistența la rupere $R_m \geq 400 \text{ N/mm}^2$, $A \geq 18 \%$, la care se garantează $KV \geq 12 \text{ J}$ la – 200 C;

EN-GJS-1200-2, fontă cu grafit nodular bainitică cu rezistența la tracțiune $R_m \geq 1200 \text{ N/mm}^2$ și $A \geq 2 \%$.

3.1.1. Fonte cenușii cu grafit lamelar nemodificate. *Fonta cenușie cu grafit lamelar.* [2]

Capitolul 3

PRINCIPIILE OBTINERII FONTELOR DE A DOUA FUZIUNE

Fontele de a doua fuziune folosite în industrie se împart în funcție de forma și cantitatea grafitului în următoarele grupe:

- Fonte nealiate* {
- fonte cu grafit lamelar (standardizate cu simbolul Fgl sau Fc);
 - fonte cu grafit nodular (Fgn);
 - fonte cu grafit în cuiburi (standardizate cu simbolul Fgc sau Fm);
- Fonte aliate* {
- fonte aliate cenușii;
 - fonte aliate albe și peștrițe.

La fontele cu grafit lamelar și nodular grafitul se obține de regulă prin turnare, în timp ce la fontele cu grafit în cuiburi — prin tratament termic.

3.1. FONTE CU GRAFIT LAMELAR

În funcție de modul de obținere, fontele cu grafit lamelar nealiate (denumite tradițional — fonte cenușii) pot fi clasificate în trei grupe:

- fonte cenușii nemodificate;
- fonte cenușii modificate cu rezistență ridicată;
- fonte cenușii modificate cu tenacitate ridicată.

Criteriul de clasificare acceptat în practica industrială este rezistența la tracțiune. Dacă acest criteriu poate fi considerat valabil pentru fontele cu rezistență mică, la fontele cu rezistență mare trebuie avută în vedere și tenacitatea lor, proprietate de bază pentru comportarea lor în exploatare.

În funcție de rezistență pot fi clasificate după cum urmează (tabelul 3.1):

- fonte cu rezistență mică: $\sigma_r = 10 \dots 15 \text{ daN/mm}^2$
- fonte cu rezistență medie: $\sigma_r = 20 \dots 25 \text{ daN/mm}^2$
- fonte cu rezistență mare: $\sigma_r = 30 \dots 40 \text{ daN/mm}^2$

3.1.1. FONTE CENUȘII NEMODIFICATE

Fontele cenușii nemodificate sînt caracterizate prin prezența grafitului cu compactitatea cea mai mică (v. fig. 1.4). Ele sînt cele mai răspîndite dintre toate aliajele de turnătorie, constituind peste 70% din producția totală de aliaje turnate în piese.

Tabelul 3.1

Clasificarea după rezistență	Marca fontei*	Proprietățile mecanice			Proportia medie de perlită în structură %
		σ_r , min da N/mm ²	σ_{rl} , min da N/mm ²	HB da N/mm ²	
Fonte inferioare	Fe 10	10	25	135...229	10
Fonte obișnuite	Fe 15	15	30	170...229	25
Fonte inferioare	Fe 20	20	36	180...241	50
Fonte obișnuite	Fe 25	25	42	180...241	75
Fonte inferioare	Fe 30	30	48	192...241	100
Fonte obișnuite	Fe 35	35	54	207...269	100
Fonte superioare	Fe 40	40	60	207...269	100

* STAS 568-67. Pentru piesele de mașini unelte STAS 8541-70 prevede mărci speciale de fontă (Fe X...Fe X 35) supuse tratamentului de călire prin încălzire cu curenți de înaltă frecvență.

Fontele cu grafit lamelar se obțin cu structura necesară direct din turnare, fără tratament termic (acesta se aplică numai pentru corectări de structură).

Structura fontelor constă din proporții diferite de ferită și perlită. Cu mărirea proporției de perlită crește rezistența la tracțiune. Fontele cu $\sigma_r = 25 \dots 40 \text{ daN/mm}^2$, au structura masei metalice de bază în întregime perlitică adică $C_{leg} = C_s$ (v. fig. 1.13, a).

La fontele cu rezistență inferioară ($\sigma_r = 10 \dots 15 \text{ daN/mm}^2$) predomină în structură ferita, la celelalte ($\sigma_r = 25 \dots 40 \text{ daN/mm}^2$) — perlita. Deci la fontele cu grafit lamelar, în funcție de rezistență, perlita poate varia între 0 și 100% (v. fig. 1.13).

La fontele cu rezistență mai mare suprafața ocupată de grafit în structură trebuie să descrească ceea ce impune micșorarea conținutului de carbon (fig. 3.1). Separările de grafit sînt tot mai fine și uniform repartizate. Micșorarea dimensiunilor separărilor de grafit este cauzată de mărirea gradului de subrăcire la cristalizarea primară, ca urmare a scăderii sumei C+Si.

Compoziția chimică variază în așa fel încît să asigure la viteze de răcire date, structurile necesare.

La aceeași grosime a peretelui piesei, conținutul de carbon, siliciu și fosfor se

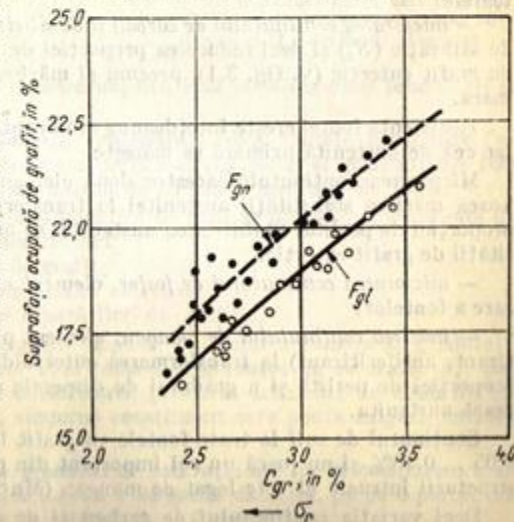
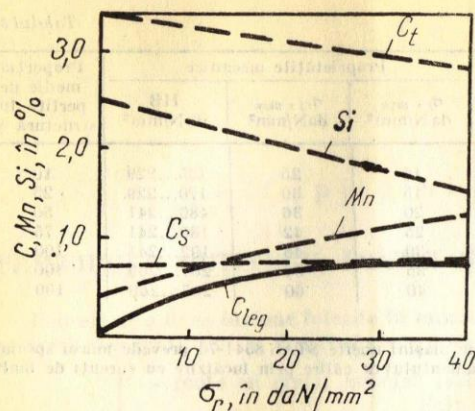


Fig. 3.1. Influența conținutului de carbon liber (C_{gr}) asupra suprafeței ocupate de grafit în secțiunea peretelui piesei turnate din fontă cenușie cu grafit lamelar (Fgl) și cu grafit nodular (Fgn).

3.1.1. Fonte cenușii cu grafit lamelar nemodificate. *Fonta cenușie cu grafit lamelar.* [2]



micșorează, iar cel de mangan se mărește pe măsură ce trebuie să crească proporția de perlită din structură și deci rezistența fontei (fig. 3.2).

Conținutul elementelor de bază variază în următoarele limite, ținând seama de creșterea rezistenței:

- $C=3,6 \dots 2,8\%$;
- $Si=2,5 \dots 1,5\%$;
- $Mn=0,5 \dots 1,0\%$;
- $P=0,3 \dots 0,15\%$;
- $S=0,05 \dots 0,10\%$.

Rezultă că fontele cu grafit lamelar ocupă domeniul pozițiilor hipoeutectice, eutectice sau puțin hipereutectice (v. fig. 1.5, b).

Fig. 3.2. Corelația dintre rezistență σ_r și conținutul elementelor de bază din fontele cenușii cu grafit lamelar.

În diagrama Maurer fontele sînt situate în domeniile structurale ferito-perlitice și perlitice, astfel încît odată cu creșterea conținutului de siliciu se mărește și cel de carbon (fig. 3.3, a).

Variația compoziției chimice în funcție de rezistență se explică prin următoarele:

— micșorarea conținutului de carbon și de siliciu determină scăderea gradului de saturație (S_c) și deci reducerea proporției de eutectic (colonii eutectice) și de grafit eutectic (v. fig. 3.1), precum și mărirea proporției de austenită primară.

Rezistența fontei crește întotdeauna cînd cantitatea de grafit se micșorează, iar cea de austenită primară se mărește.

Micșorarea conținutului acestor două elemente puternic grafitizante provoacă mărirea stabilității austenitei la transformarea eutectoidă și creșterea proporției de perlită. Stabilitatea austenitei se mărește datorită reducerii cantității de grafit eutectic.

— micșorarea conținutului de fosfor, element care are o influență de fragilizare a fontelor;

— mărirea conținutului de mangan, element puternic antigrafitizant (perlitizant, antiferitizant) la transformarea eutectoidă și care determină creșterea proporției de perlită și a gradului de dispersie a acesteia. Manganul stabilizează austenita.

Conținutul de sulf la toate fontele cu grafit lamelar variază între limitele 0,05 ... 0,10% și nu joacă un rol important din punctul de vedere al formării structurii întrucît el este legat de mangan ($Mn > 1,7 S$).

Deci variația conținutului de carbon și de siliciu constituie principalul mijloc de reglare a structurii și a rezistenței fontelor.

Fontele cu grafit lamelar inferioare și normale, cu σ_r sub 25 daN/mm² și structură ferito-perlitică, nu ridică probleme dificile în ceea ce privește elabora-

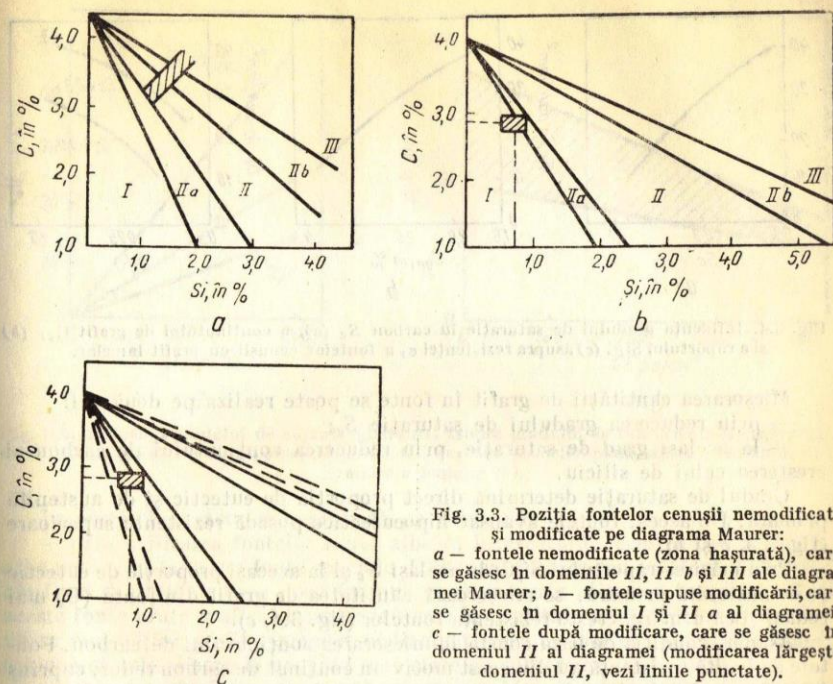


Fig. 3.3. Poziția fontelor cenușii nemodificate și modificate pe diagrama Maurer: a — fontele nemodificate (zona hașurată), care se găsesc în domeniile II, II b și III ale diagramei Maurer; b — fontele supuse modificării, care se găsesc în domeniul I și II a al diagramei; c — fontele după modificare, care se găsesc în domeniul II al diagramei (modificarea lărgeste domeniul II, vezi liniile punctate).

rea. Producerea fontelor superioare implică însă folosirea unor tehnologii speciale.

Procedee de producere a fontelor superioare. Toate fontele superioare ($\sigma_r = 30 \dots 40$ daN/mm²) au structura perlitică ($C_{leg} = C_s$) și grafitul sub formă de separări lamelare uniform repartizate în masa metalică de bază.

La aceeași structură a masei metalice de bază se pot obține rezistențe diferite prin luarea următoarelor măsuri:

- micșorarea cantității de grafit;
- mărirea numărului de celule eutectice;
- compactizarea formei separărilor de grafit.

Micșorarea cantității de grafit implică obligatoriu reducerea gradului de saturație a fontei în carbon. Prin reducerea gradului de saturație S_c , crește proporția de austenită, la cristalizarea primară, scheletul de dendrite și în final, proporția de perlită, singurul constituent care poate asigura rezistența ridicată a fontei.

În plus, prin micșorarea gradului de saturație are loc și o reducere a efectului de creștere a separărilor lamelare de grafit datorită, pe de o parte, diminuării cantității lor, iar pe de altă parte — finisării lor.

Cu cît gradul de saturație este mai mic, fonta cristalizează la o subrăcire tot mai mare și celulele eutectice (inclusiv separările de grafit) se obțin tot mai mici.

3.1.1. Fonte cenușii cu grafit lamelar nemodificate. *Fonta cenușie cu grafit lamelar.* [2]

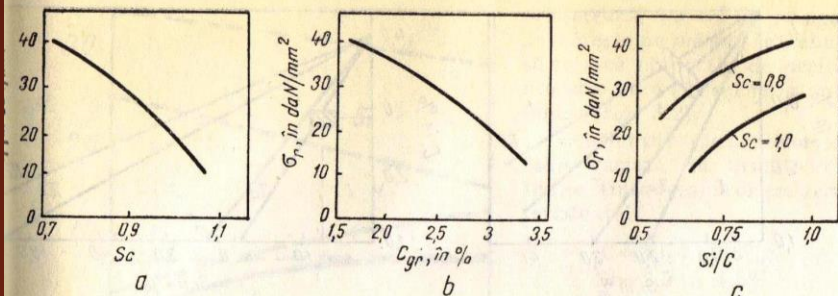


Fig. 3.4. Influența gradului de saturație în carbon S_c (a), a conținutului de grafit C_{gr} (b) și a raportului Si/C (c) asupra rezistenței σ_r a fontelor cenușii cu grafit lamelar.

Micșorarea cantității de grafit în fonte se poate realiza pe două căi:

- prin reducerea gradului de saturație S_c ;
- la același grad de saturație, prin reducerea conținutului de carbon și creșterea celui de siliciu.

Gradul de saturație determină direct proporția de eutectic și de austenită primară. De aceea, fontele avansat hipoeutectice posedă rezistențe superioare (fig. 3.4, a și b).

Prin mărirea raportului Si/C, la același S_c și la aceeași proporție de eutectic și de austenită primară, se micșorează cantitatea de grafit din fonte (C_e mai redus) și ca urmare, crește rezistența fontelor (fig. 3.4, c).

Așadar, condiția de bază constă în micșorarea conținutului de carbon. Fontele de înaltă rezistență au din acest motiv un conținut de carbon redus, cuprins între 2,8 ... 3,2%. Acest conținut nu se poate coborî mai mult, întrucît apare pericolul obținerii fontelor pestrițe și al înrăutățirii accentuate a proprietăților de turnare (volum mare de retasură, tendință avansată de formare a crăpăturilor la cald și la rece, fluiditate redusă).

Conținutul de carbon se micșorează la elaborare fie prin utilizarea unei proporții mai ridicate de fier vechi în încărcătură, fie prin elaborarea fontelor de a doua fuziune sintetice, în care caz fontele brute nu se folosesc în componența încărcăturii.

Mărirea numărului de celule eutectice, la același grad de saturație a fontelor în carbon, determină creșterea rezistenței într-o măsură apreciabilă, ca urmare a sporirii forțelor de legătură dintre celule și a îmbunătățirii formei și modului de repartizare a separărilor de grafit.

Cu cît numărul de celule eutectice este mai mare, cu atît lamelele de grafit sînt mai scurte, mai liniare și mai uniform repartizate, cu vîrfurile mai puțin ascuțite, ceea ce, evident, contribuie la mărirea rezistenței fontelor.

Există deci o corelație foarte strînsă între dimensiunile celulelor eutectice și cele ale separărilor de grafit.

Fără a schimba gradul de saturație numărul de celule eutectice poate fi mărit prin intensificarea procesului de germinare a grafitului (faza conducătoare) la cristalizarea eutectică. Pentru aceasta este necesar să se elimine influența grafitului remanent, nedizolvat și să se creeze o subrăcire avansată la cristalizare.

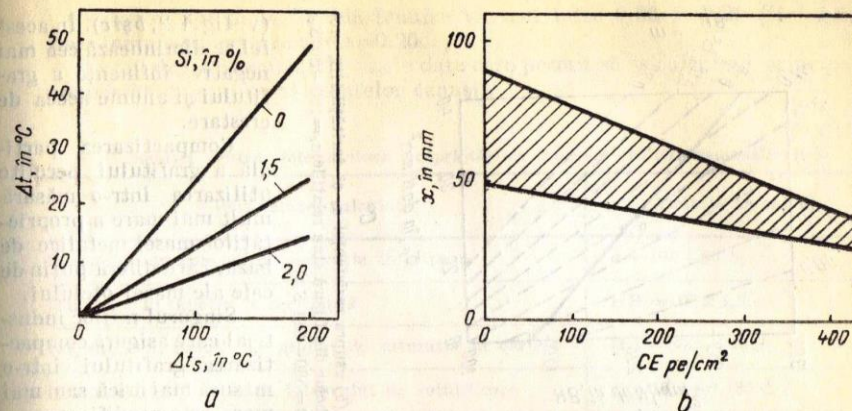


Fig. 3.5. Influența gradului de supraîncălzire Δt , asupra gradului de subrăcire la cristalizarea eutectică Δt (a) și a grosimii stratului alb x din ruptura probelor până, adică a tendinței de albire a fontelor (b).

În practică aceasta se realizează pe două căi:

- prin utilizarea fontelor brute albe în încărcătură; acestea pot fi fonte albe pentru afinare sau fonte speciale de mangal în care caz conținutul de siliciu final din fontele de a doua fuziune se obține prin aliere cu ferosiliciu. La aceste fonte brute grafitul lipsește sau este în cantitate mică și la topirea lor nu se mai obține grafit remanent nedizolvat, ceea ce face ca fonta de a doua fuziune să cristalizeze la un grad mai mare de subrăcire;

- prin supraîncălzirea avansată a fontelor obișnuite, în care caz se reușește să se dizolve o mare parte din grafitul remanent și să fie dezactivați germeii potențiali (de ex. SiO₂).

Cu mărirea gradului de supraîncălzire și a duratei de menținere a fontei în stare lichidă crește tendința ei de albire (fig. 3.5), ceea ce arată că transformarea eutectică are loc la subrăcire tot mai avansată, ca urmare a reducerii rolului germinării eterogene (v. fig. 2.16).

- prin mărirea vitezei de răcire la cristalizarea primară (eutectică), ceea ce se realizează în cazul turnării fontelor în piese cu pereți subțiri sau în forme metalice.

Grosimea peretelui piesei poate fi schimbată numai în anumite condiții, iar turnarea în forme metalice este legată de anumite greutăți tehnologice. De aceea acest procedeu este mai puțin utilizat.

Rezultă că procedeele de finisare a structurii primare se bazează în primul rînd pe eliminarea efectului ereditar al grafitului remanent.

Din acest motiv multe turnătorii folosesc în încărcătură numai fonte brute albe pentru afinare (FAK) sau fonte brute speciale de mangal (FX), caracterizate prin conținutul scăzut de siliciu. În aceste condiții pot fi obținute mărirea rezistenței cu 5 ... 10 daN/mm² fără a schimba condițiile de turnare.

Compactizarea forme separărilor de grafit constituie cel mai eficient mijloc de mărirea rezistenței fontelor. În cazul grafitului lamelar compactizarea înseamnă în primul rînd rotunjirea vîrfurilor lamelelor, prin scurtarea lungimii și mărirea grosimii lor, în raport cu separările obișnuite de grafit

3.1.1. Fonte cenușii cu grafit lamelar nemodificate. *Fonta cenușie cu grafit lamelar. [2]*

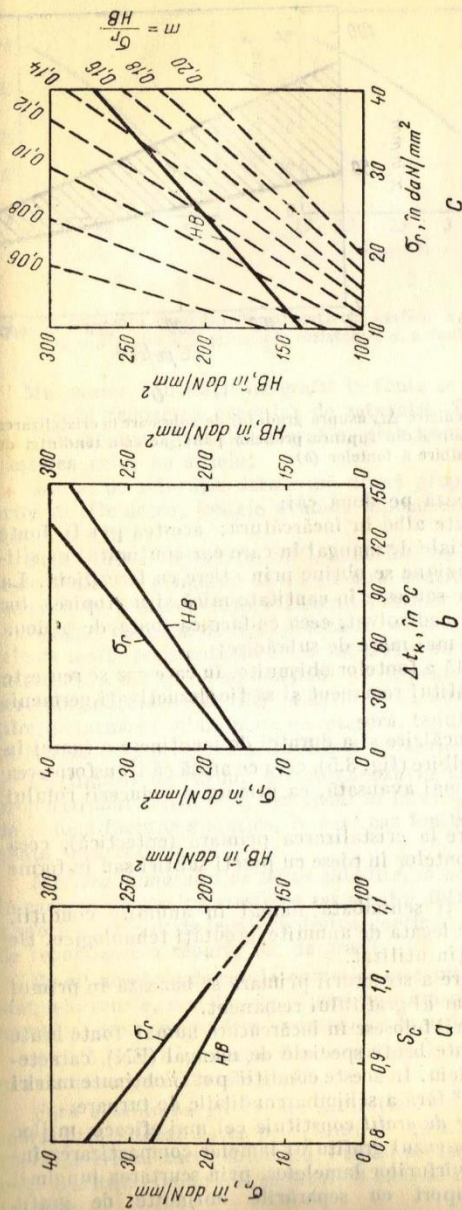


Fig. 3.6. Influența gradului de saturație în carbon S_c (a) și a intervalului de cristalizare Δt_k (b) asupra rezistenței σ_r și durității HB, precum și interdependența dintre aceste proprietăți (c) la fontele cenușii nemodificate. (La baza curbelor din figură stau relațiile: $\sigma_r = 100 - 80 S_c$ și $\sigma_r = 18,4 + 0,185 \Delta t_k$; HB = $100 + 4,3 \sigma_r$; HB = $170,5 + 0,793 \Delta t_k$; HB = $530 - 344 S_c$.)

(v. fig. 1.2, b și c). În acest fel se diminuează cea mai negativă influență a grafitului și anume aceea de creștere.

Compactizarea parțială a grafitului permite utilizarea într-o măsură mult mai mare a proprietăților masei metalice de bază, care diferă puțin de cele ale masei oțelului.

Singurul mijloc industrial care asigură compactizarea grafitului într-o măsură mai mică sau mai mare este modificarea.

Proprietățile mecanice ale fontelor cenușii nemodificate sînt exprimate mai ales prin rezistența la tracțiune, duritate și modul de elasticitate, care sînt influențate de gradul de saturație a fontei în carbon: cu creșterea acestuia toate proprietățile mecanice se micșorează (fig. 3.6, a), deoarece cresc: cantitatea de grafit, dimensiunile și efectul lui de creștere.

Dacă se cunoaște intervalul de cristalizare Δt_k , adică diferența dintre temperatura lichidus și cea solidus (eutectică), se poate determina direct valoarea σ_r și HB (fig. 3.6, b).

Calitatea fontei este cu atît mai bună cu cît rezistența σ_r este mai mare pentru aceeași duritate sau, invers, cu cît este mai mică duritatea pentru aceeași rezistență și poate fi exprimată prin raportul:

$$m = \frac{\sigma_r}{HB}$$

Valoarea lui m la fontele tehnice variază între 0,06 și 0,20 (fig. 3.6, c). Deci fontele superioare au $m=0,20$. În tabelul 3.2 se prezintă unele date care permit să se calculeze principalele proprietăți mecanice ale fontelor cenușii.

Tabelul 3.2

Proprietatea calculată	Relația de calcul
Rezistența în funcție de saturația în carbon	$\sigma_r = 100 - 80 S_c$
Duritatea în funcție de rezistență	$HB = 100 \times 4,5 \sigma_r$
Duritatea în funcție de gradul de saturație în carbon	$HB = 530 - 340 S_c$
Rezistența în funcție de intervalul de solidificare	$\sigma_r = 18,4 + 0,185 \Delta t_k$
Duritatea în funcție de intervalul de solidificare	$HB = 170,5 + 0,179 \Delta t_k$
Intervalul de solidificare în funcție de gradul de saturație în carbon	$\Delta t_k = 453,4 - 433,8 S_c$
Modulul de elasticitate în funcție de $m = \frac{\sigma_r}{HB}$	$E = 9,7 \frac{\sigma_r}{HB} \cdot 10^4$
Raportul dintre rezistența la compresiune și cea la tracțiune	$\frac{\sigma_{rc}}{\sigma_r} = 4,5 \dots 2,5^*$
Raportul dintre rezistența la încovoire și la tracțiune	$\frac{\sigma_i}{\sigma_r} = 2,5 \dots 1,5^*$
Raportul dintre rezistența la forfecare și cea la tracțiune	$\frac{\tau_f}{\sigma_r} = 1,5 \dots 0,75^*$
Raportul dintre rezistența la torsiune și cea la tracțiune	$\frac{\tau_t}{\sigma_r} = 1,5 \dots 0,5^*$

* Limitele superioare ale acestor raporturi se referă la fontele cu rezistență la tracțiune mică, iar cele inferioare — la fontele cu rezistență la tracțiune mare.

Alungirea fontelor cenușii este neînsemnată ($\delta < 0,5\%$), datorită efectului negativ al grafitului asupra masei metalice de bază.

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit lamelar cu vârful rotunjit [1]*

Fonte-obținere

Fonta cu grafit lamelar modificat

3.9.13.1. Obținerea fontelor cenușii cu grafit lamelar ce are vârful rotunjit

3.9.13.1.1. Principiile modificării

Aceste fonte nu sunt standardizate ca atare, ele regăsindu-se în categoria de fontă standardizată conform SR ISO 185 și denumită fontă cenușie.

Conform [61], fontele cu grafit lamelar ce are vârful rotunjit, cunoscute și sub denumirea de fonte cu grafit lamelar modificat, au rezistența de rupere la tracțiune cuprinsă în intervalul 300...350 N/mm², simbolizându-se 300 și 350 ținând seama de SR ISO 185, iar conform [19], au rezistența de rupere la tracțiune cuprinsă în intervalul 250...350 N/mm², simbolizându-se 250, 300 și 350. Fonta cu grafit lamelar modificat a fost obținută pentru prima dată în anul 1922, în Statele Unite ale Americii de către Meehan, și se referea la fonta nealiată, Meehan obținând mai multe brevete de invenție. Ulterior, Smalley, a reluat procedeul utilizat de Meehan, reușind să elimine prin modificare structuri specifice de subrăcire și chiar fonte peștițe.

Inițial, fontele cu grafit lamelar modificat, nealiată s-au numit fonte Meehanite, ulterior, noțiunea de Meehanite extinzându-se și la fontele aliate cu grafit lamelar, cuprinzând, de exemplu, următoarele «calități» de fontă :

- fonte de rezistență mecanică, cărora le sunt caracteristice o reziliență acceptabilă, o bună capacitate de amortizare a vibrațiilor și o prelucrabilitate mecanică bună ;

- fonte aliate rezistente la cald, aliate slab și mediu cu crom sau cu nichel și crom. Aceste fonte au și rezistență la încovoiere mare, rezistență la creștere (păstrarea dimensiunilor în timpul exploatare îndelungate) bună și rezistență la coroziune moderată;

- fonte aliate cu nichel, crom și cupru, cu matricea metalică martensitică sau sorbitică. Aceste fonte au rezistență bună la uzura abrazivă, la frecare în condiții de rostogolire și alunecare și la eroziune fără frecare ;

- fonte aliate rezistente la coroziunea chimică în medii acide și alcaline ;

- fonte cu proprietăți de plasticitate semnificative în condițiile în care grafitul este lamelar modificat – fonte cu alungire și stricțiune ameliorate etc.

Grafitul lamelar cu vârful rotunjit este cel prezentat în figura 1.4 – b.

Fonta cu grafit lamelar modificat are matricea metalică în toate cazurile perlitică și se obține prin modificarea băii metalice.

Fonta ce se supune modificării are structura specifică fontei albe

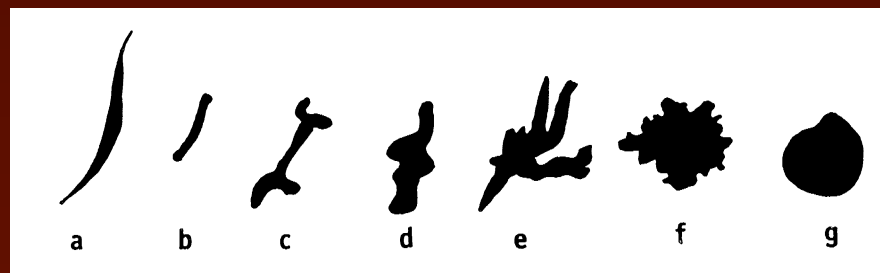


Figura 1.4. Forme tipice de grafit:

a – lamelar cu vârful ascuțite;

b – lamelar cu vârful rotunjite;

c – „coral”;

d – compact/vermicular;

e – „chunky”;

f – în cuiburi; g – nodular.

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit lamelar cu vârfuri rotunjite [1]*

Fonte-obținere

Fonta cu grafit lamelar modificat

sau peștrițe. În cazul în care structura este specifică fontei peștrițe, grafitul este punctiform interdendritic (D) sau tip rozetă (B), în acest caz modificarea ce se utilizează putând fi asimilată cu inocularea.

Duritatea fontelor cu grafit lamelar modificat, nealiate, variază în intervalul 180...250 HB, iar alungirea variază în intervalul 0,8...1,0%.

Tipul grafitului corespunde standardului ISO 945:1975 (Cast Iron – Designation of Microstructure of Graphite – Fonta de a doua fuziune – descrierea grafitului), forma I iar încercările mecanice corespund standardului ISO 6892 :1984 (Metallic Materials – Tensile Testing – Materiale metalice – testarea rupeii).

Elaborarea fontei cu grafit lamelar modificat va avea în vedere să asigure o rezistență la tracțiune cuprinsă în intervalul dat de simbolul din marcă și valoarea de simbolul de marcă plus 100 N/mm². De exemplu, marca 300 se acceptă dacă rezistența la tracțiune este cuprinsă în intervalul 300...400 N/mm².

Foarte important pentru elaborare este asigurarea rezistenței la tracțiune nu atât pentru probe – pentru fontă – cât pentru piese (această afirmație reprezintă o traducere liberă a unui aforism al societății americane «Meehanite Corp»).

Standardul ISO 185 reglementează relații între rezistența la tracțiune și duritate, între duritate și grosimea de perete, precum și corelații între piesele turnate (grosimea de perete) și rezistența la tracțiune etc.

Cu mici excepții (acestea se referă la acordurile ce intervin între beneficiar și producător), compoziția chimică este la latitudinea producătorului, trebuind să se acorde atenție conținuturilor de carbon și siliciu ce se corelează cu grosimea de perete a pieselor pentru ca fonta, fără modificare, așa cum s-a precizat anterior, să se solidifice ca fontă albă sau peștriță. Se apreciază că efectul de modificare este maxim dacă fonta are gradul de saturație în carbon situat în intervalul 0,75...0,85 (adică grad

de saturare în carbon mic) și dacă se realizează următoarea compoziție chimică : 2,8...3,2% C, 0,6...2,0% Si, 0,8...1,5% Mn, max. 0,1% P și max. 0,1% S (pentru fontă nealiată).

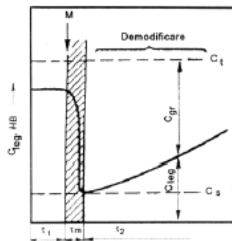


Figura 3.177. Variația calitativă a cantității de cementită exprimată sub formă de carbon legat – C_{leg} – și a durității (HB) cu timpul (t). τ₁ – durata de menținere a fontei în stare lichidă înainte de modificare; M – momentul introducerii modificatorului în baia metalică; τ_m – durata modificării; τ₂ – durata de menținere a fontei în stare lichidă după modificare; C_t – carbonul total; C_s – carbonul din perlită; C_g – carbonul sub formă de grafit.

3.9.13.1.2. Modificatori

Elementele chimice modificatoare consacrate sunt următoarele :

Ca, Ce, Zr, Al, Sr, Ba, Ti, Mg și pământuri rare.

Pe lângă inoculanții prezentați în tabelul 3.75 se mai utilizează modificatori într-o mare gamă de diversitate, modificatori ce au și rolul de rotunjire a vârfurilor de grafit, în paralel cu finisarea lamelilor respective. În tabelul 3.76 se prezintă compoziția chimică a câtorva modificatori.

Tabelul 3.76

Compoziția chimică a câtorva modificatori pentru obținerea fontei cu grafit lamelar cu vârfurile rotunjite

Modificatorul	Compoziția chimică, în %										
	Si	Ca	Al	Ba	Zr	Fe	Ce	Mg	Ti	C	Alte elemente chimice
SiCaTiCe	36	18	2,5	–	–	23	8	–	4,5	–	4% lantanide
SiCaZrCe	30	24 ... 26	–	–	12 ... 15	rest	14 ... 16	–	–	–	–
SiCaBMg	38	28	2	–	–	rest	–	5	–	–	2,6% B
SiCaBaAl Mg	62 ... 66	10 ... 14	7 ... 12	1 ... 3	–	rest	–	1 ... 2	–	–	–
SiCaBa	60 ... 65	18 ... 25	max. ... 1,5	3 ... 7	–	rest	–	–	–	–	–
SiCaBaAl Mg cu carbon	48 ... 52	6 ... 9	3 ... 6,5	2 ... 5	–	rest	–	0,7 ... 1,5	–	24 ... 26	–
SiCaBa cu carbon	30 ... 90	9 ... 15	urme	1,5 ... 4,0	–	rest	–	–	–	40 ... 50	–
FeSiMnBa	60 ... 65	1,5 ... 3,0	1,0 ... 1,5	4 ... 6	–	rest	–	–	–	–	9...12% Mn
FeSiMnZr	60 ... 65	–	–	–	5 ... 7	rest	–	–	–	–	5...7% Mn
FeSiMnZrTi	60 ... 65	1,5 ... 2,5	1,0 ... 1,5	–	5,5	rest	–	–	0,2	–	6,5% Mn
SiBaCaAl	55 ... 65	0,5 ... 10,0	0,5 ... 4,0	25 ... 35	–	rest	–	–	–	–	–
SiBaCaAl	62,5	2,75	1,58	10	–	rest	–	–	–	–	–

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit lamelar cu vârfuri rotunjite [1]*

Modificatorul poate fi introdus în fonta lichidă în trei moduri principale, acestea fiind următoarele :

- modificarea fontei în jet ;
- modificarea fontei în oala de tumare ;
- modificarea fontei în formă.

3.9.13.1.3.a. Modificarea fontei în jet

Modificatorul se adaugă pe jetul de fontă sau în jetul de fontă, jetul fiind pe jgheabul de evacuare a fontei la agregatul de elaborare sau pe ciocul unei oale de tumare intermediare.

Introducerea modificatorului pe jet, în mod normal, nu se recomandă deoarece generează o distribuție neuniformă a modificatorului.

Pe jet, modificatorul se introduce în mod mecanizat prin intermediul unor dozatoare de tipul celor prezentate în figura 3.172 ce sunt alimentate din buncăre în care se află modificatorul, asemenea buncăre fiind amplasate deasupra jgheabului de evacuare a fontei și fiind rigidizate (ca în figura 3.152) de agregatul de elaborare sau nu sau aflându-se amplasate pe platforme sau lângă gropi de turnare.

Efectul maxim de modificare se obține dacă modificatorul se introduce pe jet după ce a început evacuarea și dacă se termină

555

Fonte-obținere

Fonta cu grafit lamelar modificat

introducerea modificatorului înainte de terminarea evacuării. Durata de introducere pe jet variază de la 25 s pentru capacitatea oalei de tumare de 500 kg la 100 s pentru oală cu capacitatea de 2 000 kg și până la 170 s în cazul unei oale de turnare cu capacitatea de 3 500 kg etc.

Introducerea modificatorului în jet se poate realiza, de exemplu, prin intermediul unei lancei al cărui cap pătrunde în jet, determinând astfel introducerea modificatorului (figura 3.180) sau prin intermediul unei instalații (figura 3.181) ce constă dintr-un bazin de turnare prevăzut cu un separator de zgură și un tub de turbionare în care pătrunde tangențial fonta și axial modificatorul – fonta modificată este turnată prin intermediul tubului de turbionare într-o oală de tumare etc.

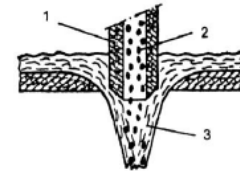


Figura 3.180. Metodă de introducere a modificatorului în jet 1 – lance; 2 – modificator; 3 – jet.

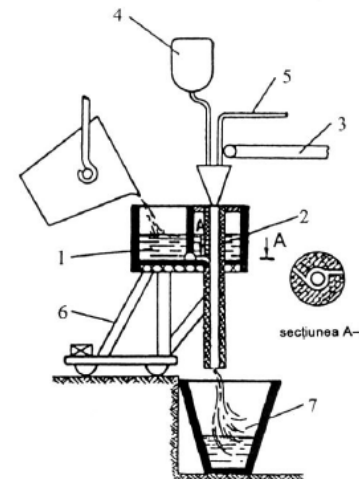


Figura 3.181. Instalație de modificare a fontei în jet. 1 – bazin de turnare ; 2 – tub de turbionare ; 3, 4 și 5 – sisteme de dozare ; 6 – stativ ; 7 – oală de tumare.

556

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit lamelar cu vârfuri rotunjite [1]*

Fonte-obținere

Fonta cu grafit lamelar modificat

3.9.13.1.3.b. Modificarea fontei în oala de turnare

Dificultatea introducerii modificatorului în baia metalică din oala de turnare este cauzată de greutatea specifică a modificatorului mai mică decât greutatea specifică a fontei lichide. Introducerea ca atare a modificatorului în baia metalică determină un grad de asimilare a modificatorului de către baia metalică mic din cauza plutirii modificatorului.

fontei lichide etc. Astfel, se prezintă în continuare câteva modalități de introducere a modificatorului în baia metalică, cum ar fi următoarele :

- introducerea modificatorului în stare prăfoasă prin intermediul unei lănci și al unui gaz inert de insuflare, lancea imersându-se în baia metalică (în mod asemănător insuflării varului în stare prăfoasă cu scopul desulfurării). Insuflarea și a gazului inert determină agitarea băii metalice, adică mărirea suprafeței de contact dintre metalul lichid și modificator (mărirea gradului de asimilare a modificatorului) ;

- introducerea modificatorului în oala de turnare la suprafața băii metalice urmată de agitarea băii metalice printr-un procedeu consacrat (așa cum s-a prezentat la desulfurarea fontei în afara agregatului de elaborare). În acest caz, ca și la tehnica de modificare de la aliniatul precedent, agitarea băii metalice determină mărirea suprafeței de contact dintre modificator și baia metalică, și, astfel, mărirea gradului de asimilare a modificatorului ;

- introducerea modificatorului în stare lichidă în baia metalică. În scopul modificării, se topește modificatorul într-un agregat de elaborare, după care urmează diluarea lui cu deșeuri de oțel sau de fontă și turnarea într-o oală de turnare în paralel cu fonta propusă să fie modificată. Această tehnică de modificare se mai numește tehnica amestecării modificatorului lichid cu fonta lichidă. Utilizarea unui agregat de elaborare suplimentar (pentru topirea modificatorului) determină creșterea costului fontei modificate cu grafit lamelar modificat. Această metodă de modificare se practică în cazul în care fonta ce se modifică are temperatura mică (de exemplu, maximum 1 350⁰C);

- introducerea modificatorilor ce conțin magneziu se poate realiza și prin intermediul unui recipient de oțel prevăzut cu orificii (o țeavă de oțel având diametrul variabil cu capacitatea oalei de turnare ce se înfundă la ambele capete cu plăci circulare de oțel după ce s-a introdus modificatorul pe bază de magneziu), recipient ce este sudat de o tijă metalică și ce este imersat în baia metalică până la fundul oalei de turnare. După imersarea recipientului cu modificator în baia metalică, fonta lichidă pătrunde prin orificii în recipient și determină vaporizarea magneziului. Vaporii de magneziu, având tensiunea de vapori mare, părăsesc recipientul prin orificii și în drumul lor ascendent, modifică fonta – magneziul se asimilează parțial în baia metalică. Ulterior, recipientul de oțel se dizolvă în baia metalică. Se apreciază că vaporii de magneziu antrenează în baia metalică și alți modificatori ce însoțesc magneziul în modificator. Această tehnică de modificare se mai numește «clopot» și este justificată numai în cazul în care conținutul de magneziu din modificator este mai mare. Dacă proporția

Fonte-obținere

Fonta cu grafit lamelar modificat

de magneziu din modificator este de ordinul 1...2%, tensiunea de vapori a magneziului este mult diminuată, așa încât nu mai prezintă pericol de împrăscare cu stropi de fontă, în acest caz modificatorul putându-se introduce în baia metalică apelându-se la celelalte tehnologii de modificare. Dacă modificatorul conține o proporție mai mare de magneziu – de exemplu, 5...10% sau chiar mai mult –, utilizarea tehnicii «clopot» și a unei cantități de modificator mai mari, conduce la obținerea fontei cu grafit nodular, așa cum se va prezenta într-un paragraf ce urmează. Pentru obținerea fontei cu grafit lamelar modificat nu se impun măsuri speciale de protecție a oalei de turnare deoarece conținutul de magneziu din modificator este mic.

3.9.13.1.3.c. Modificarea fontei în formă

Modificarea fontei în formă reprezintă grupa de tehnici de introducere a modificatorului în fonta lichidă ce realizează perioada de timp cea mai mică dintre momentul modificării și momentul începerii cristalizării fontei.

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit lamelar cu vârfuri rotunjite [1]*

Fonte-obținere

Fonta cu grafit lamelar modificat

superioare etc.

Există trei modalități de introducere a modificadorului în fonta lichidă, acestea fiind următoarele:

– introducerea modificadorului în jetul de fontă sau pe jetul de fontă la tumarea acesteia în oală în formă. De exemplu, o modalitate de introducere a modificadorului în jet este cea prezentată în figura 3.183 – modificadorul sub formă de bară este imersat în fonta din jet prin intermediul unui ghidaj și sistem de antrenare. Dispozitivele din figura 3.172, de asemenea, pot fi utilizate pentru introducerea modificadorului pe jetul de fontă ;

– introducerea modificadorului în bazinul de turnare al fomei, ca în figura 3.184. După amplasarea modificadorului urmează tumarea. Deoarece modificadorul are greutatea specifică mai mică decât cea a fontei lichide, va pluti în bazinul de turnare, în locașul modificadorului, ceea ce generează avantajul că jetul de fontă va intra în contact mai întât cu modificadorul și ulterior cu fonta din locașul modificadorului – din bazinul de turnare. În plus, în locașul modificadorului se creează o stare de agitare a băii metalice relativ intensă. Separatorul de zgură din bazinul de turnare are rolul de a limita accesul zgurii în rețeaua de turnare – în cavitatea fomei ;

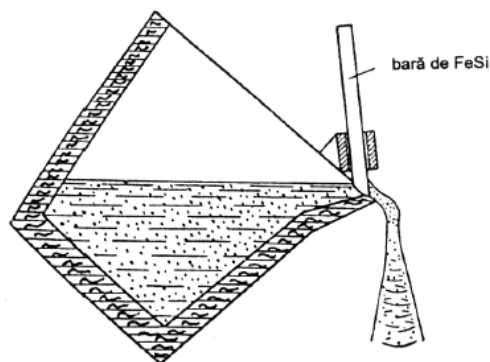


Figura 3.183. Schema introducerii modificadorului sub formă de bară în jetul de fontă în timpul turnării fomei în formă.

– introducerea modificadorului de-a lungul rețelei de turnare, în locașuri denumite camere de reacție. Camera de reacție poate fi amplasată la baza piciorului de turnare după care se amplasează un filtru ceramic, [68], ca în figura 3.185 (o asemenea tehnologie de modificare

Fonte-obținere

Fonta cu grafit coral

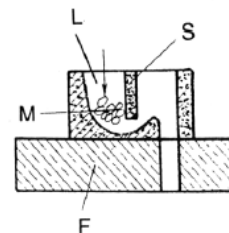


Figura 3.184. Schema modificării fomei prin amplasarea modificadorului în bazinul de turnare. F – formă; M – modificador; L – locaș al modificadorului; S – separator de zgură.

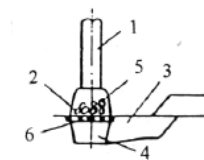


Figura 3.185. Schema modificării în formă constând în amplasarea modificadorului la baza piciorului de turnare. 1 – picior de turnare; 2 – modificador; 3 – canal de alimentare; 4 – cameră de omogenizare; 5 – cameră de reacție; 6 – filtru ceramic.

determină apariția în structură a fetei, [69]). Altă variantă tehnologică constă în amplasarea între camera de reacție și filtrul ceramic a unei camere de omogenizare, [70]. În cazul modificării în formă se impune o corelație judicioasă între viteza de turnare, volumul camerei de reacție, volumul ocupat de modificador în camera de reacție, mărimea granulației modificadorului, natura modificadorului, compoziția chimică a fontei, masa piesei (volumul cavității fomei), temperatura de turnare a fontei etc. În general, modificarea fomei în formă pentru obținerea fontei cu grafit lamelar modificat se realizează prin tehnici relativ simple (în cazul în care se propune obținerea de grafit cu grad de compactitate mare, tehnicile de modificare în formă sunt mai complexe) etc.

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit coral.[1]*

3.9.13.2. Obținerea fontelor cenușii cu grafit coral

Forma de grafit coral este cea prezentată în figura 1.4 – c.

Grafitul coral se prezintă sub formă interconectată – cu legături multiple. În figura 3.186 se prezintă câteva aspecte ale grafitului coral.

În cazul unor mărimi mari (3 000 :1...10 000 :1) grafitul coral apare la microscop ca grafitul compact/vermicular.

Se apreciază că grafitul coral este un grafit compact/vermicular fin (așa cum s-a specificat la paragraful 1.2.7., ca dimensiune de referință pentru o separare de grafit coral se poate adopta valoarea de 20 μm).

Într-o celulă eutectică, spre deosebire de grafitul compact/vermicular pentru care într-o celulă eutectică se află o separare de grafit vermicular, se află o rețea ramificată de grafit coral. În cazul în care viteza de răcire se micșorează, grafitul coral trece în forma de grafit tip D

561

Fonte—obținere

Fonta cu grafit coral

(punctiform interdendritic) iar în cazul în care viteza de răcire se mărește grafitul coral trece în grafit compact/vermicular.

Grafitul coral poate fi confundat, în cazul măririlor mici, la microscop, cu grafitul punctiform interdendritic (D), însă, în cazul măririlor foarte mari, la microscop ies în evidență ramificațiile interconectate.

Fonta cu grafit coral conține 3,1...3,5% C, 2,2...4,0% Si, maximum 0,02% S etc. (pentru prima dată fonta cu grafit coral – «coral-like» – a fost denumită ca atare de către Beno de Lux, grafitul coral fiind depistat într-o fontă cu un conținut de sulf foarte mic – mai mic de 0,002% – și solidificată cu viteză foarte mare – turnată în forme de grafit sau metalice).

Prin modificare, fonta cu grafit coral se obține și în următoarele două situații :

– modificare cu calciu a fontei cu un conținut foarte mic de sulf (maximum 0,002%), în circumstanțele în care cristalizarea se realizează în condiții normale de răcire (turnarea în forme temporare) ;

– modificare cu zirconiu a fontei cu un conținut de sulf de maximum 0,02%. În cazul în care fonta se toarnă în forme metalice sau de grafit, necesarul de zirconiu ca modificador este mai mic (în fonta solidificată, conținutul de zirconiu – zirconiu remanent – este de 0,01...0,20%) față de

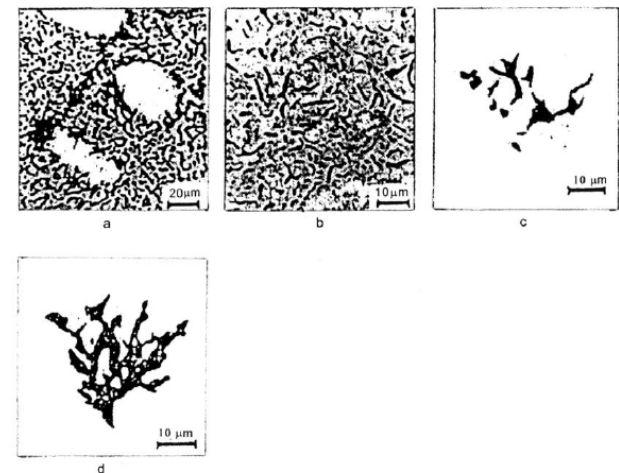


Figura 3.186. Aspecte ale grafitului coral. a – aspect de grafit D ; b – aspect de grafit compact/vermicular ; c – aspect cu grad de ramificație mic ; d – aspect cu grad de ramificație mare (aspect de coral).

cazul în care fonta se toarnă în forme temporare (conținutul de zirconiu din

562

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit coral.*[1]

Fonte-obținere

Fonta cu grafit coral

fonta modificată este de 0,3...0,5%).

Fonta cu grafit coral are matricea metalică feritoperlitică (minimum 80% ferită), indiferent de mărimea vitezei de răcire în intervalul de solidificare.

Dintre caracteristicile fontei cu grafit coral se remarcă următoarele :

- prelucrabilitatea mecanică foarte bună ;
- duritatea este de 155...190 HB ;
- rezistența la tracțiune este de 290...480 N/mm² ;
- alungirea este de 1...3%.

Fonta cu grafit coral este sensibilă la grosimea de perete a pieselor – odată cu mărirea ei, scade proporția de grafit coral. Dacă se mărește cantitatea de zirconiu ca modificator, se mărește și proporția de grafit coral din pereții cu grosimea mare.

În cazul în care matricea metalică este bainitică în proporție de 90% (mai conține ferită și austenită până la 100%), pentru fonta ce conține 3,7...3,9% C, 0,96...1,63% Si, 0,005...0,017% Mn, 0,025...0,03% P și max. 0,002% S, duritatea ajunge la 303 HB (aceeași fontă, în stare brut turnată, conține maximum 20% perlită și minimum 80% ferită, are rezistența la rupere de 280...530 N/mm², alungirea de 0,5...2,0% și duritatea de 120...190 HB), [71].

Fontele cu grafit coral au duritatea de 120...190 HB în cazul în care matricea metalică este preponderent feritică.

Matricea metalică cu o proporție mare de ferită asigură o foarte bună prelucrabilitate mecanică dar proprietăți de rezistență la uzare neperformante – în schimb, prin tratamente termice secundare se poate ajunge și la performanțe, [167], în special datorită faptului că suprafața de contact dintre grafitul coral și matricea metalică este foarte mare, ceea ce favorizează difuzia carbonului înspre și dinspre grafit, după cum este vorba despre răcire, respectiv de încălzire. În cazul tratamentelor termice secundare, în general, transformarea austenitei în domeniul de temperaturi bainitice (220...400⁰C), în special, în băi de săruri, cu formarea de ferită aciculară și de carburi, adică de bainită, nu are loc ca în cazul oțelurilor, ci în două etape. Astfel, în etapa I, austenita se transformă în ferită aciculară și austenită remanentă cu conținut mare de carbon, acest amestec denumindu-se ausferita. În etapa a II-a, austenita remanentă se transformă în ferită aciculară și carburi, adică, în bainită, [204]. Este posibil ca fonta cu matricea metalică bainitică să înlocuiască oțelurile de îmbunătățire deoarece este mai ieftină, [192].

În interiorul celulelor eutectice matricea metalică este în totalitate feritică. Perlita este distribuită doar între celulele eutectice.

Grafitul coral micșorează stabilitatea austenitei la transformarea eutectoidă.

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit compactizat.*[1]

Fonte-obținere

Fonta cu grafit compact/vermicular

3.9.13.3. Obținerea fontelor cu grafit compact/vermicular

3.9.13.3.1. Caracteristici generale

Forma de grafit vermicular este cea din figura 1.4 – d.

Rezistența la tracțiune variază între limitele 300...500 N/mm², alungirea variază în intervalul 1...9% iar duritatea variază în intervalul 150...250 HB. STAS 12 443-86 reglementează fontă cu grafit vermicular cu rezistența la tracțiune 300...400 N/mm², alungirea de 1...2% și duritatea de 130...180 HB (matrice metalică preponderent feritică), 160...240 HB (matrice metalică feritoperlitică) și 200...280 HB (matrice metalică preponderent perlitică).

Se consideră că o fontă cenușie este cu grafit compact/vermicular dacă proporția de grafit compact/vermicular din secțiunea unui câmp microscopic este în proporție de minimum 80%.

Conform STAS 12 443-86 fonta cu grafit compact/vermicular se simbolizează cu Fgv 300, Fgv 350 și Fgv 400, compoziția chimică fiind 3,5...3,9% C, 2,5...3,2% Si, 0,2...0,9% Mn, max. 0,08% P și max. 0,03% S pentru grosimi de perete mai mici sau egale cu 10 mm și 3,2...3,8% C, 2...3% Si, 0,2...1,2% Mn, max. 0,08% P și max. 0,03% S, pentru grosimi de perete mai mici sau egale cu 10 mm și 3,2...3,8% C, 2...3% Si, 0,2...1,2% Mn, max. 0,08% P și max. 0,03% S, pentru grosimi de perete mai mari de 10 mm.

Începând cu anul 1989, fonta cu grafit vermicular ce avea mai multe denumiri (fontă cu grafit compact, lamelar compact, semiductil, unic, vermicular) a căpătat denumirea de fontă cu grafit compact/vermicular. Având în vedere prezentarea formelor de grafit din figura 1.4 în care s-a ordonat grafitul în ordinea crescătoare a gradului de compactitate, grafitul nodular având gradul maxim de compactitate, precum și STAS-ul 12 443-86, în prezenta lucrare se uzitează și de termenii fonta cu grafit vermicular.

Fonta cu grafit vermicular este cunoscută oficial din anul 1955 (Estes, J.W. și Schneidewind, R.) și este chiar denumită astfel de către Donoho, C.K. în anul 1961.

În figura 3.187 se prezintă tipuri caracteristice de grafit vermicular, grafit ce, conform [6], se clasifică în tipul I (figura 3.187 – a; lungimea maximă = 20 μm și grosimea maximă = 10 μm), tipul al II-lea (figura 3.187 – b; lungimea maximă = 150 μm și grosimea maximă 50 μm) și tipul al III-lea (figura 3,187– c; lungimea maximă = 150 μm și grosimea maximă = 20 μm). Conform acestei clasificări, grafitul tip I, ce reprezintă grafitul coral, deja analizat, este apreciat ca fiind, de asemenea, compact/vermicular.

Fonte-obținere

Fonta cu grafit compact/vermicular

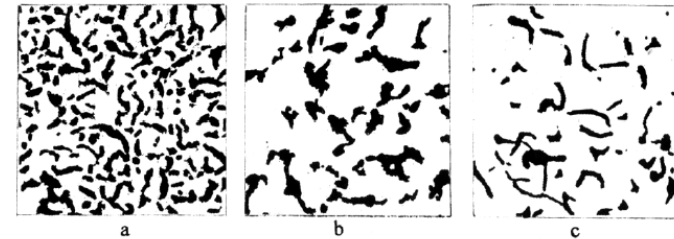


Figura 3.187. Tipuri de grafit compact/vermicular. a – grafit tip I (x500); b – grafit tip al II-lea (x100); c – grafit tip al III-lea (x100).

Compoziția chimică a fontei lichide ce se supune modificării este următoarea: 3,4...3,8% C, 1,5...2,0% Si, 0,1...1,2% Mn, 0,01...0,08% P și 0,005...0,08% S și are gradul de saturație în carbon de 0,95...1,00.

Fonta cu grafit compact/vermicular are o sensibilitate mai mică la variația grosimii de perete a pieselor, din punctele de vedere ale naturii matricei metalice și gradului de compactitate al grafitului.

În vederea obținerii fontei cu grafit compact/vermicular se pornește de la o fontă cenușie (figura 3.188) la care începutul A al cristalizării eutectice și sfârșitul B al cristalizării eutectice se află sub temperatura eutectică de echilibru stabil și deasupra temperaturii eutectice de echilibru metastabil (curba 4) și prin modificare se obține o fontă cenușie cu un grad de subrăcire mărit (începutul cristalizării eutectice – A – și sfârșitul cristalizării eutectice – B – se află între temperatura eutectică de echilibru stabil și temperatura eutectică de echilibru metastabil, însă în apropierea temperaturii eutectice de echilibru metastabil (curba 5). Ulterior, se aplică fontei modificate o inoculare (modificare grafitizantă) în așa fel încât începutul și sfârșitul cristalizării eutectice să corespundă unui grad de subrăcire mai mare decât fonta inițială și mai mic decât fonta modificată (curba 3).

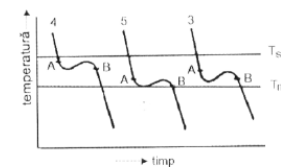


Figura 3.188. Curbele de răcire la transformarea eutectică ce reprezintă fonta inițială, fonta cu grafit compact/vermicular modificată și fonta cu grafit compact/vermicular inoculată (finală). T_{st} – temperatura eutectică de echilibru stabil; T_{met} – temperatura eutectică de echilibru metastabil.

3.9.13.3.2. Modificatori

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit compactizat.*[1]

Fonte-obținere

Fonta cu grafit compact/vermicular

În tabelul 3.78 se prezintă compoziția chimică a câtorva modificatori utilizați pentru obținerea fontei cu grafit compact/vermicular.

Ca elemente chimice modificatoare se utilizează Mg, Ca, Y, La și Ce în cazul pieselor cu pereți groși și subțiri sau obținute în forme cu amestec de formare și metalice, în cazul în care cantitatea de S și O din fontă este mare și Li, Mg, Ca, Sr, Ba, Y, La, Ce și Th în cazul pieselor cu pereți groși sau obținute în forme cu amestec de formare sau Li, Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, Ce, Th, Sn, Al, Y și La în cazul pieselor cu pereți subțiri sau obținute prin turnare în forme metalice, ultimele două grupe de elemente modificatoare pretându-se pentru modificarea fontelor ce conțin cantități foarte mici de O și S.

Elementele chimice antimodificatoare (cu acțiune anticompatizantă pentru grafit) sunt Zn, Cd, Al, Sn, Sb, Pb, As și Bi, aceste elemente chimice având acțiune directă, precum și Ti, Zr și Hf (elemente chimice cu acțiune indirectă) alături de O și S. Se remarcă influența specială a titanului ce determină influențe antimodificatoare accentuate ale celorlalte elemente chimice antimodificatoare chiar și la conținuturi foarte mici. În practică se recomandă utilizarea unui factor de avertizare în legătură cu conținutul elementelor chimice antimodificatoare din fontă, factor de avertizare (FA) ce se calculează cu relația (3.454) și ce trebuie să aibă valoarea de $1 \pm 0,1$ în cazul în care conținutul de magneziu remanent din fontă variază în intervalul 0,04...0,08% (aceste conținuturi de magneziu remanent mari sunt specifice fontei cu grafit nodular).

$$FA = 4,4 Ti + 1,6 Al + 2,0 As + 2,3 Sn + 5,0 Sb + 290 Pb + 370 Bi \quad (3.454)$$

Cantitatea de modificador ce se introduce în baia metalică depinde de mulți factori, dintre aceștia menționându-se următorii: natura modificadorului, tehnica de introducere a modificadorului în baia metalică, mărimea granulației modificadorului, compoziția chimică a fontei ce se supune modificării, temperatura de modificare a fontei lichide, caracteristicile fizico-mecanice propuse a fi obținute, starea de agregare a modificadorului, starea de agitare a băii metalice în timpul modificării etc. și depinde foarte mult de conținuturile de sulf și oxigen din baia metalică, conținuturile de elemente chimice modificatoare din modificador, grosimea pereților pieselor propuse să fie obținute și timpul de menținere a fontei în stare lichidă, după modificare, până în momentul începerii turnării.

La modul general, cantitatea de modificador variază, de la 0,5 la 1,5% (în cazul consumurilor de modificador mai mari de 1,5% se obține fontă cu grafit nodular).

Temperatura de modificare este de 1 450...1 500°C.

Mărimea granulației modificadorului variază în intervalul 2...80 mm.

Gradul de asimilare a elementelor chimice modificatoare este

Fonte-obținere

Fonta cu grafit compact/vermicular

variabil și depinde foarte mult de tehnica de introducere a modificadorului în baia metalică.

Conținuturile de elemente chimice modificatoare din fonta modificată întâlnite în mod curent sunt următoarele: 0,01...0,025% Mg (modificare cu FeSiCaMg), 0,015...0,03% Mg și 0,06...0,13% Ti (modificare cu FeSiCaMgTi), 0,015...0,035% Mg, 0,06...0,15% Ti și 0,05...0,20% Al (modificare cu FeSiCaMgTiAl), 0,015...0,035% Mg, 0,02...0,09% Ti și 0,02...0,12% Sb (modificare cu MgTiSb), 0,02...0,06% Ce (modificare cu ceriu metalic), 0,10...0,15% pământuri rare (modificare cu Mischmetall), 0,01...0,02% Mg și 0,005...0,007% Ce (modificare cu FeSiCaMgCe), 0,006% Mg și 0,013% Ce (modificare cu magneziu și Mischmetall), 0,02...0,04% Y (modificare cu ytriu metalic), 0,02...0,06% Ce și alte pământuri rare până la 0,10...0,15% (modificare cu SiY Meschmetall), 0,015...0,03% Mg, 0,002...0,01% Ce și 0,02...0,10% Ti (modificare cu FeSiMgCeTi), 0,01...0,015% Mg, 0,02% Ce și 0,25% Al (modificare cu FeSiCaAlMgCe) etc.

În urma modificării fontei cu elemente chimice puternic antigrafitizante în structura fontei cu grafit compact/vermicular rezultă și cementită liberă ce se elimină printr-o modificare grafitizantă-inoculare. Înocularea se aplică în special în cazul modificării cu ceriu și ytriu și se realizează cu inoculanți uzuali, în mod curent FeSi75 în cantitate de 0,2...1,0%, în funcție de grosimea de perete a pieselor propuse a fi obținute din fontă cu grafit compact/vermicular.

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit nodular.[1]*

3.9.13.5. Obținerea fontelor cu grafit nodular

3.9.13.5.1. Considerații generale

Fonta cu grafit nodular este fonta cenușie ce conține în câmpul vizual al microscopului minimum 80% grafit de forma V sau VI conform ISO 945.

Fonta cu grafit nodular este reglementată de SR ISO 1083 și cuprinde 9 mărci, acestea fiind următoarele: 900-2, 800-2, 700-2, 600-3, 500-7, 450-10, 400-15, 400-18 și 350-22 (prima cifră are semnificația rezistenței la tracțiune minimă, exprimată în N/mm^2 iar cea de a doua cifră are semnificația alungirii la rupere minimă, exprimată în %). Această clasificare a fontei cu grafit nodular are în vedere caracteristicile obținute din epruvete prelevate din probe turnate separat de piese.

Matricea metalică variază de la bainită sau martensită de revenire (900-2), la perlită sau structură de revenire (800-2), perlită (700-2), perlită în majoritate și ferită (600-3), ferită în majoritate și perlită (500-7) și ferită (mărcile 450-10, 400-15, 400-18 și 350-22).

Duritatea fontei cu grafit nodular variază de la 280...360 HB (900-2), la 245...335 HB (800-2), 225...305 HB (700-2), 190...270 HB (600-3), 170...230 HB (500-7), 160...210 HB (450-10), 130...180 HB (400-15 și 400-18) și maximum 150 HB (350-22).

Energia minimă de rupere prin șoc, determinată pe epruvete turnate separat de piese și cu crestătură în V este de 14 joule la temperatură ambientă (400-18), 12 joule la temperatura de $-20^{\circ}C$ (400-18), 17 joule la temperatura ambientă (350-22) și 12 joule la temperatura de $-40^{\circ}C$ (350-22).

Fonta ce se supune modificării este eutectică sau chiar hipereutectică și se caracterizează prin aceea că începutul cristalizării eutectice A și sfârșitul cristalizării eutectice B se află între temperatura eutectică de echilibru stabil și temperatura eutectică de echilibru metastabil, în apropierea temperaturii eutectice de echilibru stabil (figura 3.208, curba 6). Așadar, fonta ce se supune modificării cristalizează la un grad mic de subrăcire.

După modificare, din cauză că majoritatea modificatorilor sunt antigrafizanți, fonta se obține pestriță iar începutul cristalizării eutectice se află deasupra temperaturii eutectice de echilibru metastabil și sub temperatura eutectică de echilibru stabil iar sfârșitul cristalizării eutectice se află sub temperatura eutectică de echilibru metastabil (curba 7 din figura 3.208).

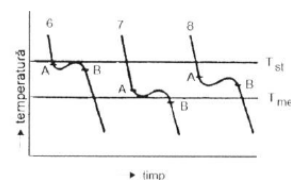


Figura 3.208. Curbele de răcire la transformarea eutectică ce reprezintă fonta inițială, fonta cu grafit nodular modificată și fonta cu grafit nodular inoculată (finală). T_{st} – temperatura eutectică de echilibru stabil; T_{met} – temperatura eutectică de echilibru metastabil.

Prin inoculare (modificare grafitizantă sau postmodificare), începutul cristalizării eutectice și sfârșitul cristalizării eutectice sunt deplasate din nou între temperatura eutectică de echilibru stabil și temperatura eutectică de echilibru metastabil, însă, mai aproape de temperatura eutectică de echilibru metastabil decât fonta inițială (cu un grad de subrăcire mai mare decât fonta inițială) – curba 8 din figura 3.208.

Drumul parcurs de fontă prin modificare reiese și din figura 3.209 (modificare cu elemente chimice antigrafizante). Astfel, dacă fonta, înainte de modificare are o matrice metalică feritoperlitică și grafit lamelar, după modificare, adică la finalul perioadei τ_m , fonta este pestriță – matricea metalică este perlitică, grafitul este nodular și în structură se află și cementită liberă. În timpul menținerii în stare lichidă după modificare și înainte de inoculare se micșorează cantitatea de cementită liberă, se mărește cantitatea de grafit iar numărul de noduli de grafit rămâne constant. Prin inoculare, are loc o micșorare a cantității de cementită liberă până la dispariția ei, o mărire a cantității de grafit și o mărire a numărului de noduli de grafit, matricea metalică, devenind din nou, de exemplu, feritoperlitică (carbonul legat scade sub carbonul eutectoid), §156.

Fonta cu grafit nodular se obține prin modificare în două etape, acestea fiind următoarele:

- etapa I, denumită și etapa de modificare nodulizantă sau chiar etapa de modificare propriu-zisă. În urma acestei etape se obține o fontă pestriță cu grafit nodular;

- etapa a II-a, denumită și etapa de postmodificare grafitizantă sau etapa de inoculare. În urma acestei etape fonta pestriță cu grafit nodular se transformă în fontă cenușie cu grafit nodular cu un număr mai mare de noduli de grafit decât avea fonta pestriță cu grafit nodular.

În cazul în care modificatorul conține atât elemente chimice modificatoare nodulizante pentru grafit cât și elemente chimice inoculante (grafitizante), cele două etape ale modificării se contopesc într-o etapă.

Pentru prima dată, fonta cu grafit nodular a fost obținută în mod organizat și oficial de către K.D. Millis, A.P. Gagnebin și N.B. Pilling, de la societatea International Nickel-Company, din S.U.A., care au obținut un brevet de invenție în acest sens în anul 1949, fonta cu grafit nodular obținându-se prin modificare cu magneziu (fonta, după modificare, a

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit nodular.*[1]

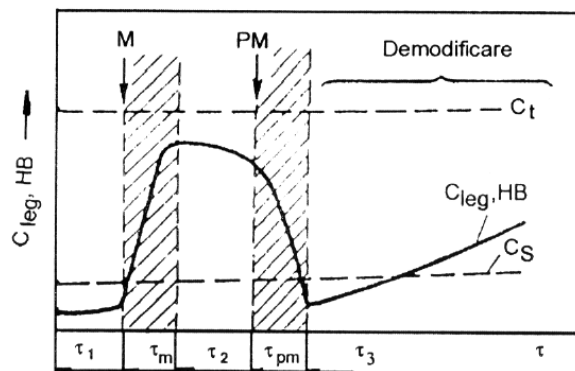


Figura 3.209. Variația în timp (τ) a carbonului legat sub formă de cementită (C_{leg}) și a durtității (HB) în timpul modificării, inoculării și menținerii în stare lichidă după inoculare. M – momentul introducerii modificatorului antigrafitizant; PM – momentul introducerii inoculantului (post modificatorului); C_t – carbonul total; C_s – carbonul eutectoid; τ_1 – perioada de menținere a fontei în stare lichidă, înainte de modificare; τ_m – perioada de modificare; τ_2 – perioada de menținere în stare lichidă după modificare și înainte de inoculare; τ_{pm} – perioada de inoculare (postmodificare – modificare grafitizantă); τ_3 – perioada de menținere în stare lichidă după inoculare.

conținut 0,04% Mg). În perioada anilor 1947-1950 au avut loc preocupări de pionierat în domeniul obținerii fontei cu grafit nodular, remarcându-se C.K. Donoho din Birmingham (Anglia), Meanwhile, Morrogh și Williams de la B.C.I.R.A. (Anglia), Milman, Grigoric și Vașcenko de la T.N.I.I.T.M.A.S. (Rusia) iar mai târziu remarcându-se Laurenție Sofroni de la Universitatea «Politehnica» din București etc.

Grafitul se obține nodular prin modificarea fontei cu Mg, Ce, Y, Ca, Li, Na și elementele din grupa pământurilor rare, ca atare, sub formă de feroaliaje, prealiaje și săruri ($MgCl_2$, KCl, NaCl, MgF_2 , CaF_2 , BaF_2 , LaF_2 , CeF_2 , YF_2 în amestec cu silicocalciu-calcium - calciu, prin combinarea chimică cu clorul, eliberează elementele chimice modificatoare ce difuzează în baia metalică, modificând-o). Elementele modificatoare se introduc în fonta lichidă în proporție de 0,1...0,5%.

Grafitul cristalizează în sistemul hexagonal, clasa dihexagonală, bipiramidală, grupa spațială C_6/mmc . Celula elementară are parametrii următori: $a = 2,4 \text{ \AA}$; $c = 6,70 \text{ \AA}$; $Z = 4$. Fiecare atom de carbon se află la o distanță de $1,42 \text{ \AA}$ de cei trei atomi de carbon vecini ai săi. Grafitul se află în mod obișnuit sub formă de cristale tabulare.

Masa atomică a carbonului este de 12,01. Greutatea specifică este de $2,20...2,25 \text{ g/cm}^3$. Temperatura de topire este de $3\ 650 \pm 100^\circ\text{C}$.

Căldura specifică la volum constant la temperatura de 20°C este de $0,17 \text{ cal/g}$. Coeficientul de dilatare liniară este de $(0,6...4,3) \cdot 10^{-6}$ de la 0 la 100°C . Căldura de combustie este de $7\ 845 \text{ cal/g}$. Temperatura de debut a oxidării este de $620...650^\circ\text{C}$. Durtitatea este de 12 HB sau 2 pe scara Mohs. Rezistența de rupere la tracțiune este de $1,5 \text{ N/mm}^2$. Rezistența la compresiune este de 17 N/mm^2 , [155], [65], [4].

Compactizarea grafitului (grafitul compact – nodular – este un agregat policristalin în care cristalitele de grafit cresc radial, perpendicular pe direcția planului hexagoanelor de bază) are la bază mărirea tensiunii interfaciale grafit-matrice metalică lichidă. Elementele chimice modificatoare, odată introduse în baia metalică, determină desulfurarea și dezoxidarea fontei lichide, adică eliminarea sulfului și oxigenului adsorbiți la suprafața separărilor de grafit. În felul acesta, se mărește tensiunea interfacială grafit-matrice metalică lichidă, însă mai mult de-a lungul fețelor prismatice ale rețelei grafitului (1010), ceea ce conduce la creșterea grafitului pe direcția perpendiculară planului hexagoanelor de bază, în felul acesta grafitul obținându-se nodular – sferoidal. În plus, elementele chimice modificatoare determină și mărirea unghiului de umectare a grafitului de către matricea metalică lichidă. Există chiar o relație ce definește unghiul de umectare, [79] – (3.456).

$$\theta = \arccos \frac{\sigma_g - \sigma_A}{\sigma_g + \sigma_A}, \quad (3.456)$$

în care θ este unghiul de umectare: σ_g – tensiunea interfacială a grafit-aer; σ_A – tensiunea interfacială grafit-matrice metalică lichidă, [163].

Conform relației (3.456), dacă unghiul θ ar tinde spre 180 grade, grafitul ar avea formă perfect sferică, însă unghiul de umectare tinde doar asimptotic spre valoarea de 180 de grade, adică grafit perfect sferic nu există. De exemplu, sub acțiunea elementelor chimice modificatoare, unghiul de umectare θ crește de la 130 de grade la 140 de grade.

Temperatura de modificare a fontei este în funcție de natura modificatorului, tehnica de introducere a modificatorului în baia metalică, granulația modificatorului, cantitatea de fontă ce se modifică, compoziția chimică a fontei se modifică etc. Temperatura optimă de modificare cu magneziu este de $1\ 450...1\ 510^\circ\text{C}$.

3.9.13.5.2. Compoziția chimică a fontei ce se supune modificării

Literatura de specialitate, [80], indică limite largi pentru compoziția chimică și valori tipice pentru aceasta – tabelul 3.80 (pentru fonte modificate cu magneziu).

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit nodular.[1]*

Fonte—obținere

fonta cu grafit nodular

Tabelul 3.80

Compoziția chimică pentru fonta cu grafit nodular – fonta finală (după modificare)

Elementul chimic	Conținutul, în %, între limite largi	Conținutul, în % – valori tipice
C	2,800...4,000	3,50
Si	1,600...3,000	2,50
Mn	0,150...0,900	0,50
P	maximum 0,100	0,08
S	maximum 0,015	0,01
Mg	0,010...0,100	0,05

Pentru fonta ce se supune modificării conținutul de carbon variază între limitele 3,4...4,1% iar cel de siliciu între limitele 2,0...2,8% (gradul de saturație în carbon variază în intervalul 0,9...1,2).

Pentru fontele slab aliate cu grafit nodular, conținuturile de carbon și de elemente chimice însoțitoare de bază sunt următoarele: 2,5...3,9% C, 1,0...6,5% Si, 0,1...0,8% Mn, max. 0,05% P și max. 0,03% S.

Pentru fontele mediu aliate cu grafit nodular, conținutul de carbon este de 2,9...3,2%, cel de siliciu este 1,6...2,6% iar cel de mangan este de 0,6...1,2%.

În cazul fontelor înalt aliate, cu grafit nodular, cu nichel, conținutul de carbon este de max. 3%, cel de siliciu variază în intervalul 1,0...6,0%, cel de mangan este situat între limitele 0,5...7,0% iar cel de fosfor este de max. 0,08%. Fontele înalt aliate cu siliciu au compoziția chimică următoare: 0,5...0,8% C, 14...16% Si, 0,3...0,8% Mn, max. 0,1% P și max. 0,03% S. Fontele înalt aliate cu aluminiu au următoarea compoziție chimică: 1,6...2,5% C, 1,6...2,0% Si, max. 0,8% Mn, max. 0,2% P și max. 0,03% S.

Fonta ce se supune modificării are o structură feritică sau ferito-perlitică dacă se face referință la diagrama Maurer (pentru probe cu diametrul de 50 mm).

Pentru obținerea fontei cu grafit nodular cu matricea metalică feritică se recomandă ca fonta ce se modifică să aibă, printre altele, 0,04...0,4% Mn, 0,015...0,100% P și 0,015...0,030% S, [81].

3.9.13.5.3. Modificatori

Toți modificatorii utilizați pentru obținerea fontei cu grafit vermicular se utilizează și pentru obținerea fontei cu grafit nodular (tabelul 3.78).

Elementele chimice modificatoare sunt cele menționate la paragraful precedent.

Cel mai utilizat element chimic modificator este magneziul.

Cantitatea de magneziu ce se introduce în baia metalică se

Fonte—obținere

fonta cu grafit nodular

determină cu relația (3.457).

$$Mg_{nec} = \frac{Mg_{rem} + \frac{M_{Mg}}{M_S} (S_{in} - S_{rem})}{\eta_{Mg}}, \quad (3.457)$$

în care Mg_{nec} reprezintă cantitatea de magneziu necesară modificării, în kg/100 kg de fontă lichidă; Mg_{rem} – proporția de magneziu din fonta cu grafit nodular propusă a fi obținută, M_{Mg} – masa atomică a magneziului, în kg; M_S – masa atomică a sulfului, în kg; S_{in} – proporția de sulf din fonta ce se supune modificării; S_{rem} – proporția de sulf din fonta cu grafit nodular propusă a fi obținută; η_{Mg} – randamentul de asimilare a magneziului, în %. De exemplu, pentru $Mg_{rem} = 0,05\%$, $M_{Mg} = 24$ kg, $M_S = 32$ kg, $S_{in} = 0,04\%$, $S_{rem} = 0,02\%$ și $\eta_{Mg} = 55\%$ rezultă $Mg_{nec} = 0,11$ kg/100 kg fontă lichidă.

În practică, valoarea conținutului de magneziu remanent crește odată cu mărirea grosimii de perete și a conținutului de carbon și siliciu din fontă, acești trei factori fiind grafitizanți la transformarea primară (mărirea grosimii de perete reprezintă micșorarea gradului de subrăcire datorită micșorării vitezei de răcire, reprezentând aceeași influență ca a carbonului și siliciului). Cei trei factori acționează împotriva influenței magneziului ce determină mărirea gradului de subrăcire a fontei.

Cu cât cantitatea de magneziu remanent este mai mare, cu atât gradul de compactitate al grafitului este mai mare, așa cum se vede din figura 3.210. În sensul invers, cu cât cantitatea de magneziu remanent este mai mică, cu atât gradul de compactitate al grafitului se micșorează, astfel, obținându-se prin modificare de la grafit nodular (sferoidal) până la grafit compact/vermicular (în figura 3.211, de la forma nodulară K la formele intermediare L, M, N, până la forma compact/vermiculară P) și mai departe până la grafit lamelar cu vârfurile rotunjite.

La modul general, cantitatea de magneziu remanent variază în intervalul 0,010...0,100 (tabelul 3.80), însă mai des întâlnite sunt valorile din intervalul 0,04...0,08%.

Se apreciază că după modificarea cu magneziu, conținutul de sulf din fontă scade sub 0,01% datorită afinității chimice foarte mari față de sulf a magneziului.

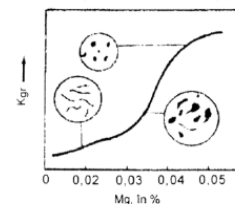


Figura 3.210. Variația gradului de compactitate al grafitului (K_{gr}) cu cantitatea de magneziu remanent.

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta cenușie cu grafit nodular.*[1]

3.9.13.5.5. Influența elementelor chimice antimodificatoare

Compoziția chimică a fontei ce se supune modificării trebuie să corespundă și din punctul de vedere al conținutului elementelor chimice antimodificatoare, aceste elemente chimice fiind Ti, Pb, Sb, As, Sn, și Al, în principal, dar și Bi, Te au chiar Se, în anumite situații.

Elementele chimice antimodificatoare frânează procesul de modificare sau chiar îl compromit. Astfel, stibiul conduce la micșorarea

591

Fonte-obținere

fonta cu grafit nodular

rezistenței la tracțiune și a alungirii (se manifestă și ca element chimic perlitizant), bismutul aproape că elimină din structură grafitul nodular, grafitul obținându-se compact/vermicular, titanul generează apariția de grafit lamelar alături de grafitul vermicular, plumbul generează grafitul lamelar etc. În general, elementele chimice antimodificatoare generează grafitul de tipurile L, M, N și P, prezentate în figura 3.209. Dacă se notează gradul de compromitere a grafitului nodular cu G_{compr} de către elementele chimice antimodificatoare, acesta se poate determina cu relația (3.458), relație din care se vede și comparația între efectele antimodificatoare ale principalelor elemente chimice antimodificatoare.

$$G_{\text{compr}} = 4,4\%Ti + 2,0\%As + 2,3\%Sn + 5,0\%Sb + 290\%Pb + 370\%Bi + 1,6\%Al \quad (3.458)$$

Cauza principală ce determină efectul antimodificator al elementelor chimice antimodificatoare este, cu excepția titanului, formarea de compuși chimici cu magneziu și, astfel, imobilizarea de magneziu – modificarea insuficientă a grafitului.

În cazul în care modificarea se face cu magneziu sau cu feroaliaje sau prealiaje ce conțin magneziu, în absența ceriului, limitele maxime la care sunt admise conținuturile elementelor chimice antimodificatoare în fonta ce se supune modificării sunt următoarele : 0,08% Al, 0,01% Sb, 0,05% As, 0,002% Bi, 0,002% Pb, 0,03% Se, 0,01% Te, 0,08% Sn, 0,04% Ti etc.

Practic, pericolul cel mai mare îl prezintă titanul deoarece minereurile de fier conțin și compuși chimici ai titanului ce sunt reduși în furnal, majoritatea fontelor brute conținând și titan.

Prezența elementelor chimice antimodificatoare în încărcătura agregatelor de elaborare este periculoasă pentru modificare, spre deosebire de efectul ereditar metalurgic al fontei brute ce nu are influență asupra modificării din cauză că modificatorii schimbă complet condițiile de germinare în timpul solidificării.

3.9.13.5.7. Tehnici de introducere a modificatorilor în baia metalică

Toate tehnicile de introducere a modificatorilor în baia metalică prezentate la paragraful 3.9.14.3.3. – pentru obținerea fontei cu grafit compact/vermicular – se pot utiliza și pentru obținerea fontei cu grafit nodular.

Tehnicile de introducere a modificatorului în baia metalică trebuie să îndeplinească o serie de condiții, acestea fiind în principal următoarele:

- consum de manoperă cât mai mic ;
- consum de modificator cât mai mic ;
- consum cât mai mic de materiale refractare (cărămizi fasonate,

593

Fonte-obținere

fonta cu grafit nodular

materiale refractare granulare, lianți etc.) ;

– durate mici de manevrare a utilajelor și dispozitivelor ce deserveșc modificarea;

– amortizare a investițiilor făcute pentru modificare într-o perioadă mică de timp;

– dispozitivele și utilajele să aibă o construcție simplă;

– distribuirea cât mai uniformă a modificatorului în baia metalică ;

– grad de asimilare a modificatorului mare ;

– posibilitate a controlului momentului începerii modificării și inoculării ;

– să permită modificarea în două sau mai multe trepte ;

– tehnologia de modificare să se preteze pentru mecanizare și automatizare ;

– absența riscului de ratare a modificării fontei din cauza instalației de modificare ;

– să se preteze la modificarea cantităților diferite de fontă ;

– să se adapteze cât mai multor tipuri de modificatori sub aspectul compoziției chimice, fuzibilității, tensiunii de vapori, mărimii granulației, cantității etc.

– să permită barbotarea băii metalice cu gaze inerte în timpul modificării ;

– să asigure eliminarea riscului antrenării accidentale de zgură în cavitatea formei;

– să asigure securitatea muncii;

– să asigure o perioadă de timp cât mai mică între momentul modificării și momentul începerii solidificării;

– să asigure controlul gradului de asimilare a modificatorului în fontă etc.

O tehnică de modificare ce să răspundă pozitiv la condițiile prezentate anterior, desigur, nu există, însă, există tehnici de introducere a modificatorului în baia metalică ce răspund la foarte multe condiții.

În continuare se prezintă alte tehnici de introducere a modificatorului în baia metalică consacrate obținerii fontei cu grafit nodular.

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta maleabilă - obținerea prin tratament termic. [1]*

Fonte-obținere

Fonta maleabile

3.10. Obținerea fontei maleabile prin tratament termic

Fonta maleabilă este o fontă cenușie în care grafitul este sub formă de cuiburi (figura 1.4.– f) și se obține prin tratament termic dintr-o fontă în care grafitul lipsește – fontă albă. Tratamentul termic este o recoacere de grafitizare.

Fonta maleabilă este reglementată de SR ISO 5992.

Există două grupe de fontă maleabilă, acestea fiind următoarele:

– fonta maleabilă cu inimă albă. Această fontă se simbolizează cu litera W (simbolul W provine de la cuvântul englezesc white ce înseamnă în limba română alb-albă) urmată de un spațiu liber, apoi de două cifre ce semnifică rezistența minimă la tracțiune, exprimată în N/mm² și împărțită la 10 (determinată pe o epruvetă cu diametrul de 12 mm), o cratimă și de două cifre ce au semnificația alungirii minime, în % (pentru o epruvetă cu diametrul de 10 mm și L₀ = 3d, în care L₀ reprezintă lungimea inițială între repere). Mărcile de fontă maleabilă cu inimă albă sunt W 35-04, W 38-12, W 40-05 și W 45-07, pentru care duritatea variază de la 230 HB (W 35-04), la 200 HB (W 38-12), 220 HB (W 40-05) și 220 HB (W 45-07). Structura metalografică este formată din grafit în cuiburi pe un fond de ferită, în principal, și perlită, în cazul grosimilor de perete mici, numai din ferită în zona superficială a pereților groși, perlită și grafit în cuiburi în zona intermediară și perlită, în principal, alături de ferită și grafit în cuiburi în zona centrală a pereților groși. Nu se admite în structură prezența grafitului lamelar;

– fonta maleabilă cu inimă neagră și fonta maleabilă perlitică. Fonta maleabilă cu inimă neagră se simbolizează în mod similar cu fonta maleabilă albă, doar prima literă fiind B (de la cuvântul englezesc black ce înseamnă în limba română negru-neagră), există sub formă de trei mărci (B 30-06, B 32-12 și B 35-10), are duritatea de max. 150 HB pentru cele trei mărci iar structura metalografică este alcătuită din grafit în cuiburi pe un fond aproape în exclusivitate din ferită. Fonta maleabilă perlitică se simbolizează în mod similar ca fonta maleabilă albă, doar prima literă fiind P (de la cuvântul englezesc perlitic ce înseamnă în limba română perlită), există sub formă de șapte mărci (P 45-06, P 50-05, P 55-04, P 60-03, P 65-02, P 70-02 și P 80-01), are duritatea variabilă de la 150...200 HB (P 45-06), la 160...220 HB (P 50-05), 180...230 HB (P 55-04), 200...250 HB (P 60-03), 210...268 HB (P 65-02), 240...290 HB (P 70-02) și 270...310 HB (P 80-01) iar structura metalografică este compusă din grafit în cuiburi pe un fond de perlită sau alți constituenți metalografici din afara echilibrului.

În anul 1722 René Férechault Antoine de Réaumur pune bazele obținerii fontei maleabile albe, în Franța – procedeu european – potrivit căruia o fontă albă este transformată în fontă maleabilă în urma aplicării unui tratament de recoacere de grafitizare într-un mediu oxidant. Mai târziu, în S.U.A., de asemenea, printr-un tratament de recoacere de

Fonte-obținere

Fonta maleabile

grăfitizare, fonta albă este transformată în fontă maleabilă, însă, într-un mediu neutru din punct de vedere chimic.

Fontele maleabile albe conțin 2,7...3,2% C, 0,6...0,9% Si, 0,2...0,5% Mn, max. 0,15% P și max. 0,25% S, înainte de recoacerea de grafitizare.

Fontele maleabile negre conțin 2,1...2,8% C, 1,0...1,7% Si, 0,3...0,65% Mn, max. 0,15% P, max. 0,2% S și max. 0,05% Cr.

Fontele maleabile perlitice au, în general, aceeași compoziție cu a fontelor maleabile negre, doar conținutul de mangan putând ajunge până la 1,25%.

a. Fonte maleabile albe

Fontele maleabile albe (denumirea de albe provine de la culoarea gri-argintie până la albicioasă a probelor în ruptură, culoare cauzată de cantitatea mai mică de grafit) se obțin prin transformarea cementitei în austenită și grafit la temperaturi de 1 000...1 050°C, în cazul pieselor cu pereți groși, conform reacției chimice (3.460) și prin oxidarea carbonului de la suprafața pieselor, conform reacției chimice (3.461).



Pe măsură ce carbonul de la suprafața pieselor se oxidează, are loc difuzia carbonului dinspre interiorul pereților spre exteriorul lor unde are loc reacția chimică (3.461).

În timpul menținerii timp de 40...50 h în domeniul austenitic, în cazul pieselor cu pereți subțiri, o mare parte din carbonul rezultat din descompunerea cementitei se dizolvă în austenită, difuzează spre suprafața pereților datorită gradientului de concentrație mare al carbonului unde se oxidează prin intermediul bioxidului de carbon.

Din cauză că proporția de siliciu din fontă este mică, procesul de grafitizare este limitat la fontele maleabile albe.

În cazul duratelor mari de menținere în domeniul austenitic grafitul se dizolvă în austenită, difuzează prin aceasta și ajunge la suprafața pereților unde se oxidează, conform reacției chimice (3.461).

După menținere, conținutul de carbon variază pe grosimea pereților pieselor în intervalul 0,5...2,4%.

Durata de menținere în domeniul austenitic este în funcție de grosimea de perete, conținuturile inițial și final de carbon, temperatura la care are loc menținerea (cu cât este mai mare cu atât reacția de oxidare a carbonului se desfășoară cu o viteză mai mare deoarece reacția chimică (3.461) este puternic endotermă) ce este de maximum 1 000°C, în cazul în care mediul de împachetare a pieselor este minereul de fier și de maximum 1 050°C, în cazul în care menținerea se realizează în atmosferă gazoasă, conținuturile de Si, Mn, P și S ce micșorează coeficientul de difuziune a

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta maleabilă - obținerea prin tratament termic. [1]*

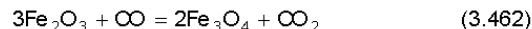
Fonte-obținere

Fonta maleabile

carbonului prin austenită etc.

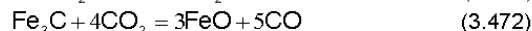
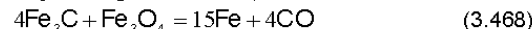
Bioxidul de carbon necesar oxidării carbonului se obține prin următoarele două modalități:

– monoxidul de carbon ce rezultă prin oxidarea carbonului cu oxigenul din atmosferă (oxigenul din aerul existent printre granulele de minereu de fier) reduce oxizii de fier din minereu de fier. Dacă se utilizează pentru împachetare hematită are loc, de exemplu, reacția chimică (3.462);



– obținerea de CO_2 în generatoare speciale.

Împachetarea în minereu de fier este înlocuită tot mai mult de atmosfera decarburantă de compoziție controlată ce conține CO_2 și CO dar și vapori de apă. Se apreciază că procesul de decarburare în mediul de împachetare gazos decurge conform reacțiilor chimice (3.463)...(3.472).



Utilizarea mediului de recoacere decarburantă gazos determină următoarele particularități:

– mărirea productivității muncii (se elimină oalele de împachetare și minereu de fier bogat în oxigen ce determină ca numai 30% din masa încărcăturii să fie reprezentată de piese);

– mărirea temperaturii de menținere fără a mai exista riscul de formare a aderențelor de minereu de fier pe piese (fier spongios) – rezultă scurtarea duratei de menținere;

– realizarea unui raport dintre conținuturile de CO_2 și CO ale mediului gazos exact, ne mai existând pericolul de formare a crustei oxidante la suprafața pieselor;

– reglarea automată a raportului % CO_2 /% CO al mediului gazos de-a lungul întregului ciclu de maleabilizare. Astfel, spre finalul decarburării, raportul % CO_2 /% CO este mărit de la 2,0...2,5 la 2,3...3,0;

– în cazul în care mediul gazos este format din H_2O și H_2 , are loc și eliminarea sulfului din fontă conform reacției chimice (3.473).

Fonte-obținere

Fonta maleabile



Diagrama de principiu a tratamentului termic de recoacere pentru decarburare în vederea obținerii fontei maleabile albe, pentru trei conținuturi diferite de carbon, se prezintă în figura 3.222.

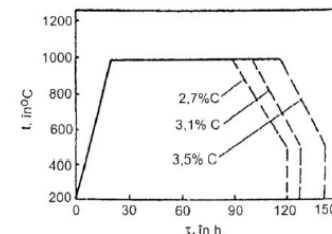


Figura 3.222. Schema tratamentului termic de recoacere pentru decarburare în vederea obținerii fontei maleabile albe, în cazul a trei conținuturi inițiale de carbon. t – temperatura; τ – timpul.

b. Fonte maleabile negre

Fontele maleabile negre (denumirea de negre provine de la faptul că ruperea are loc prin separările de grafit ceea ce conferă fontei o culoare neagră sau cenușie închisă) se obțin prin tratament termic de recoacere de grafitizare completă.

Atmosfera de recoacere grafitizantă este ușor oxidantă, ceea ce determină ca fonta albă ce se recoace să se oxideze la suprafața pieselor pe o grosime de maximum 1 mm. În stratul decarburat cu grosime de maximum 1 mm grafitul lipsește practic, culoarea albă a stratului decarburat având aspect de inel, de unde și denumirea de fontă maleabilă cu inimă neagră.

Structura metalografică este relativ constantă pe întreaga grosime a pereților pieselor.

În figura 3.223 se prezintă recoacerea de grafitizare realizată într-un cuptor tip cameră împreună cu variația structurii, în vederea obținerii fontei maleabile negre, [164], [165].

Fonta se menține la temperatura de 900...950°C timp de 5...10 h, timp în care are loc descompunerea cementitei libere conform reacției chimice (3.460). Atomii de carbon rezultați din reacție difuzează și cristalizează pe germenii ce se formează la suprafața dintre austenită și cementită, sub formă de grafit în cuiburi, ca în figura 3.224 – stadiul I de grafitizare.

După stadiul I de grafitizare urmează o răcire relativ rapidă în intervalul de temperaturi 900...950°C și 780...800°C. În cursul acestei răciri din austenita suprasaturată se separă grafitul secundar ce se depune peste separările de grafit în cuiburi existente în structură.

Urmează o răcire cu viteză foarte mică în intervalul eutectoid de temperaturi – 3...5°C/h – circumstanțe în care are loc cel de al II-lea stadiu de grafitizare, austenita transformându-se în ferită și grafit eutectoid.

Intervalul eutectoid de temperaturi variază între limitele 30...50°C. Al

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta maleabilă - obținerea prin tratament termic. [1]*

doilea stadiu de grafitizare durează 10...20 h.

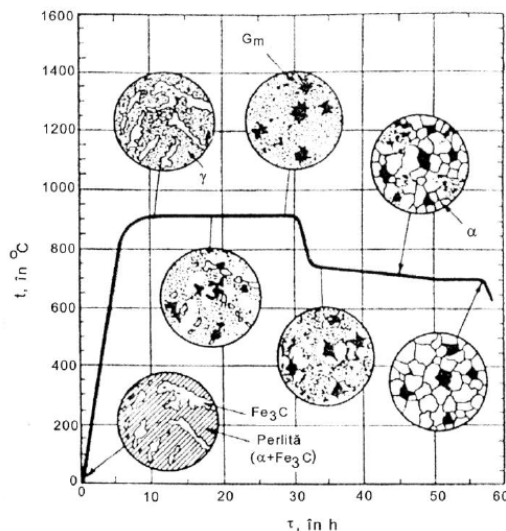


Figura 3.223. O diagramă de recoacere de grafitizare pentru obținerea fontei maleabile negre într-un cuptor tip cameră. t – temperatură; τ – timp; G_m – grafit de maleabilizare (în cuiburi); α – ferită; γ – austenită.

În final, se impune ca viteza de răcire să fie mare sub intervalul eutectoid de temperaturi și mai ales în intervalul de temperaturi 500...400°C cu scopul evitării apariției fragilității de revenire din cauza separării compușilor sulfului și azotului favorizată de prezența fosforului și siliciului (alierea fontei cu 0,11...0,25% Mo determină eliminarea tendinței de fragilizare).

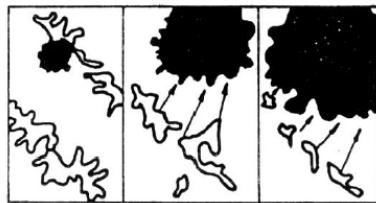


Figura 3.224. Schemă ce prezintă difuzia carbonului de la cemențita liberă la grafitul în cuiburi.

Mediul de tratament termic poate fi solid, lichid și gazos. Ca mediu solid de împachetare a pieselor de fontă albă în oale de fontă sau de oțel

refractor, se utilizează nisipul ce asigură evitarea decarburării fontei la suprafață și a deformării pieselor etc.

c. Fonte maleabile perlitice

Fontele maleabile perlitice se obțin printr-o recoacere de grafitizare doar cu stadiul I (menținerea de la temperatura de 900...950°C), cu stadiul I de grafitizare și menținere în intervalul eutectoid de temperaturi pentru globulizarea perlititei, cu stadiul I de grafitizare urmat de o normalizare, o călire în ulei și apoi de o menținere în intervalul eutectoid de temperaturi pentru globulizarea perlititei și alte variante de tratamente termice, în funcție de marca de fontă. În figura 3.225 se prezintă o recoacere de grafitizare cu stadiul I complet pentru obținerea unei fonte maleabile perlitice cu perlită lamelară.

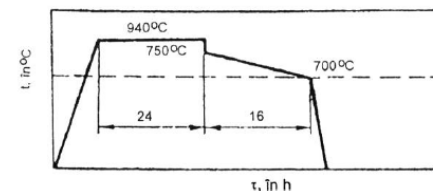


Figura 3.225. Diagramă de tratament termic de recoacere de grafitizare pentru obținerea fontei maleabile perlitice cu perlită lamelară. t – temperatura; τ – timpul.

Mediul de tratament termic este neutru și poate fi azot sau gaz de generator ce conține, de exemplu, 98% N₂ și 2% (CO+H₂).

În cazul fontelor maleabile perlitice, sulful are o influență pozitivă asupra formei grafitului și caracteristicilor mecanice de rezistență, așa încât, odată cu mărirea raportului %S/%Mn, se mărește gradul de compactitate a grafitului până la forma nodulară (sulful mărește gradul de subrăcire la cristalizarea primară, mărește viteza de difuzie a carbonului în timpul primului stadiu de grafitizare – favorizează obținerea grafitului nodular – și mărește stabilitatea austenitei la transformarea eutectoidă – favorizează formarea perlititei).

d. Scurtarea duratei de grafitizare și îmbunătățirea calității fontelor maleabile

Se au în vedere următoarele măsuri:

- mărirea gradului de supraîncălzire a fontei în stare lichidă (se finisează structura primară);
- mărirea vitezei de răcire în timpul solidificării fontei (se finisează structura primară);
- modificarea fontei (a fost analizată la paragraful 3.9.14.4) (se finisează structura primară);
- microalierea fontei cu Al (0,015...0,020%), B(0,003%) și Bi(0,002...0,005%). Astfel, sunt neutralizate influențele elementelor antigrafitizante;
- deoxidarea (se mărește viteza de difuzie a atomilor de carbon);
- micșorarea conținutului de azot (se mărește viteza de difuzie a

3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare. *Fonta maleabilă - obținerea prin tratament termic. [1]*

atomilor de carbon);

- mărirea conținutului de siliciu din fontă (se micșorează stabilitatea cementitei libere);

- mărirea temperaturii de recoacere pentru grafitizare - stadiul I (se micșorează stabilitatea cementitei libere);

- tratamente termice prealabile, cum ar fi următoarele: menținere la temperaturi de 350...450⁰ sau 750⁰C - se accelerează difuzia carbonului și sunt favorizate procesele de formare a germinilor de cristalizare -, călire (determină apariția de fisuri în cementită, ceea ce accelerează descompunerea ei) etc.;

- modificare cu modificatori ce conțin azot (se neutralizează influența negativă a cromului prin legarea chimică în nitruri - cromul este un element chimic puternic antigrafitizant) etc.

În toate cazurile de tratament de maleabilizare dacă fonta ce se recoace are o structură metalografică fină, se scurtează distanțele de difuzie a carbonului și astfel se scurtează duratele de grafitizare.

Durata recoacerii de grafitizare și decarburare este foarte mult scurtată în cazul utilizării pentru tratament termic a cuptoarelor moderne, cu inerție mică și cu mediu de împachetare gazos controlat.

3.4. FONTE ALIATE

Principalele elemente de aliere în fonte sînt: cromul, nichelul, cuprul, molibdenul, aluminiul, manganul și siliciul. În afară de acestea se mai folosesc uneori wolframul, vanadiul, titanul și staniu.

Fontele se consideră aliate atunci cînd conținuturile elementelor sînt mai mari de:

Si > 4%; Mn > 2%
 Ni, Cr, Cu, Al > 0,3%
 Sn, W, Ti, V, Mo > 0,1%

* Alierea se poate aplica atît la fontele cenușii cu grafit nodular și cu grafit lamelar, cît și la fontele albe; mai rar la fontele maleabile.

În funcție de conținutul elementelor de aliere, fontele se grupează astfel:

— fonte slab aliate, la care suma elementelor de aliere nu depășește 4%;
 — fonte mediu aliate, la care suma elementelor de aliere este cuprinsă între 4 și 8% și

— fonte înalt aliate, la care suma elementelor de aliere depășește 10%.

Fontele slab aliate fac parte din clasa perlitică, cele mediu aliate — din clasa bainito-martensitică, iar fontele înalte aliate — din clasa austenitică sau feritică.

3.4.1. FONTE SLAB ȘI MEDIU ALIATE

În funcție de structură și proprietăți, fontele slab și mediu aliate pot fi împărțite în următoarele grupe principale:

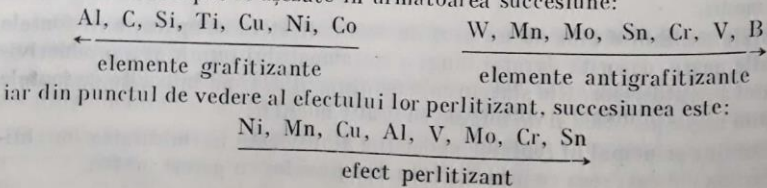
- fonte cenușii perlitice cu rezistență mecanică ridicată (slab aliate);
- fonte cenușii aciculare (bainito-martensitice) cu rezistență mecanică ridicată (mediu aliate);
- fonte albe și pestrițe perlitice și bainito-martensitice rezistente la uzură abrazivă (slab și mediu aliate);
- fonte cenușii și albe perlitice rezistente la oxidare.

Fonte cenușii perlitice cu rezistență mecanică ridicată. Fontele slab aliate cu rezistență ridicată la tracțiune sînt cenușii, cu grafit lamelar sau nodular și se obțin prin alierea cu unul sau mai multe din următoarele elemente: nichel, crom, cupru, molibden, vanadiu și staniu. În majoritatea cazurilor, alierea se face cu mai multe elemente.

Conținutul maxim al elementului principal de aliere este de 2,0%, iar suma elementelor de aliere nu depășește 4%.

Toate elementele se dizolvă în fonta lichidă și solidă și influențează atît asupra structurii primare, cît și a celei secundare.

Din punctul de vedere al influenței lor asupra procesului de grafitizare elementele de aliere pot fi așezate în următoarea succesiune:



În tabelul 3.12 se arată influența aproximativă a elementelor de aliere asupra grafitizării în comparație cu cea a siliciului considerată egală cu unitatea (Si=1) și asupra perlitizării, în comparație cu a cuprului (Cu=1).

Tabelul 3.12
 Influența comparativă a elementelor de aliere asupra structurii fontelor cu grafit lamelar

Elementul	Coeficienții relativi de influență asupra	
	grafitizării la cristalizarea eutectică	perlitizării
Si	1	—
Cu	+0,35	1
Ni	+0,25	0,2
Mn	-0,33*	0,5*
Mo	-0,45	2
Cr	-0,9	2
V	-1,1	1
Sn	-0,7	12

* Mn în exces peste valoarea calculată cu formula:
 % Mn = 1,7% S + 0,2.

Elementele grafitizante (Ni, Cu) micșorează tendința de albire, îngustează grosimea zonei x (a crustei dure din fontă albă) și a zonei de trecere z (din fontă pestriță). Cele antigrafitizante (Cr, Mo, W, V, Sn), din contră, măresc valorile zonelor x și z (v. fig. 2.1.).

Efectul grafitizant al elementelor se explică prin lărgirea intervalului de temperatură $t_c - t_e$ și deci prin mărirea activității carbonului în soluție, invers decît efectul constatat la elementele antigrafitizante (v. fig. 2.1.).

Elementele de aliere grafitizante și mai ales cele antigrafitizante determină mărirea moderată a numărului de celule eutectice și deci micșorarea dimensiunilor separărilor de grafit.

Particularitatea influenței tuturor elementelor de aliere la cristalizarea eutectoidă constă în frînarea pronunțată a procesului de grafitizare și în mărirea proporției de perlită. Deci, la transformarea eutectoidă elementele de aliere sînt antigrafitizante ca urmare a micșorării temperaturii de transformare a austenitei (t_s) sau a vitezei proceselor de difuziune.

Datorită alierii feritei, finisării structurii primare și secundare, precum și creșterii proporției de perlită, elementele de aliere contribuie la mărirea aproape a tuturor proprietăților mecanice, tehnologice și de exploatare ale fontelor, așa cum rezultă din tabelul 3.13.

În funcție de proprietățile care urmează să fie îmbunătățite se alege elementul de aliere, conținutul lui, folosind principiile indicate în tabelul 3.14.

Figura 3.47, a , b și c arată efectul cantitativ al elementelor de aliere asupra rezistenței la tracțiune. Partea descendentă de pe curba influenței cromului se explică prin apariția în structură a cementitei libere.

Efectul pozitiv al molibdenului și al vanadiului asupra rezistenței se explică și prin faptul că ele determină alungirea dendritelor de austenită primară. Alierea cu Cu+Cr+Mo mărește în gradul cel mai mare rezistența și duritatea, mai ales în piesele cu pereți groși (tabelul 3.15).

3.1.3. Fonte aliate. [2]

Tabelul 3.13

Influența elementelor de aliere

Elementul	Proprietățile care sînt influențate pozitiv	Proprietățile care sînt influențate negativ
Cr	Rezistență mecanică	Tendință de formare a grafitului (element carburigen)
	Duritate Rezistența la uzură	Prelucrabilitate Volumul de microretasuri
Mo	Rezistență Plasticitate	Volumul de microretasuri Efectul feritizant (element perlitizant)
	Prelucrabilitate în condiții de rezistență mare Rezistență la fluaș	Grafitizare (element antigrafitizant)
Cu	Rezistență Duritate Rezistență la uzură Cvaziizotropie Efect grafitizant	Plasticitate
	Sn	Efect perlitizant Rezistență uzură Cvaziizotropie
Ni		Rezistență Duritate Efect grafitizant

Tabelul 3.14

Modul de aliere în vederea îmbunătățirii diferitelor proprietăți ale fontelor cu grafit lamelar

Proprietatea	Elementele de aliere și conținuturilor lor mecanice*
1. Proprietățile mecanice și tehnologice	
Rezistență mecanică	Mo (0,8), Cr (0,8), Cu (1,5), Ni (1,8)
Rezistență la uzură, duritatea	Cr (1,5), Sn (0,1), Cu (1,5), Mo (0,8), Ni (1,5), V (0,3)
Tenacitatea	Mo (0,8)
Cvaziizotropia	Sn (0,1), Cu (1,5), Ni (1,5), Mo (0,8)
Prelucrabilitatea mecanică	Cu (1,5), Ni (2,0)
Călibilitatea	Mo (0,8), Ni (2,5), Cu (1,5), Cr (0,5)
2. Proprietăți la temperaturi ridicate	
Rezistență la fluaș	Mo (1,5), Cr (1,0)
Rezistență la creștere	Cr (2,0)
Rezistență la oxidare	Cr (2,0)
Rezistență la oboseală la cald	Mo (1,0)
3. Rezistență la corziune în mediu neutru și în mediu alcalin	Cu (2,0), Cr (2,0) Ni (2,0)

* Elementele sînt puse în ordinea eficacității lor.

asigură rezistență de cea 120 ... 125 daN/mm² și o alungire de 1 ... 2% (tabelul 3.16).

Aplicarea tratamentelor termice face posibilă obținerea unei game largi de proprietăți în funcție de structură (tabelul 3.16).

Tabelul 3.16

Proprietățile mecanice ale fontelor cu grafit nodular aliate cu nichel și molibden în funcție de structură

Structura	Proprietățile mecanice				
	σ_r da N/mm ²	σ_e da N/mm ²	δ %	HB	KCU daJ/cm ²
<i>Fonte cu grafit nodular</i>					
Bainită	90...130	70...110	3...8	280...350	0,6...1,5
Bainită martensită	70...110	60...95	2...6	350...550	0,4...1,0
Martensită	60...80	50...80	0,5...2	550...650	—
Martensită revenită	60...110	50...90	1...5	300...550	—
<i>Fonte cu grafit lamelar</i>					
Bainită	38...48	—	0,5...0,85	300...350	—
Bainită + martensită	50...70	—	—	300...400	—

Fontele bainitice și bainito-martensitice se caracterizează prin cele mai ridicate rezistențe și posedă în același timp și o prelucrabilitate bună, chiar la durități de 320 ... 400 HB.

În fontele aliate cu nichel (1,5 ... 5,0% Ni), wolframul, cuprins între 1,0 și 2,7%, favorizează obținerea structurilor aciculare în piese cu grosime mare a pereților pieselor.

Efectul slab antigrafitizant al wolframului este acoperit de influența grafitizantă a nichelului, ceea ce face ca fontele să se obțină cenușii. Structura fontelor este aciculară. Proprietățile mecanice sînt asemănătoare cu cele ale fontelor aliate cu nichel și molibden.

Fontele aciculare sînt destinate turnării pieselor care lucrează în condiții de solicitări mari mecanice și de uzură (batiuri pentru ciocane cu aburi, arbori cotiți pentru motoare Diesel mari și compresoare, segmenti de pistoane, ghidaje pentru supape de motoare, cămăși de cilindri răcite cu aer, forme metalice și matrițe pentru prelucrarea la cald a aliajelor neferoase și a oțelurilor etc.).

Fonte albe și pestrițe cu rezistență ridicată la uzură abrazivă. Din această categorie fac parte fontele albe și pestrițe slab aliate cu Cr-Ni-Mo cu structura masei metalice de bază perlitică (fig. 3.52, b și c), precum și fontele mediu aliate cu aceleași elemente, cu structură martensitică (fig. 3.52, d).

Alierea cu crom contribuie la mărirea durității cementitei, iar alierea cu nichel și molibden duce la obținerea masei metalice de bază perlitică cu grad mare de dispersie sau a structurii martensitice. Molibdenul mărește rezistența la cald a fontelor. Fontele slab aliate conțin pînă la 2% Cr și 2% Ni, în timp ce fontele mediu aliate conțin 3 ... 5% Ni și 1,5 ... 2,5% Cr. Raportul Ni/Cr = 2,0 ... 2,5. La aceste conținuturi nichelul deplasează în jos punctele de transformare a austenitei în așa măsură încît la vitezele de răcire obișnuite a pieselor în forme se obține structură martensitică.

3.1.3. Fonte aliate. [2]

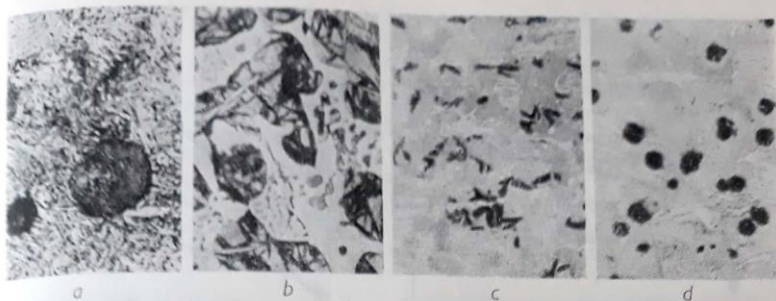


Fig. 3.52. Microstructura unor fonte slab și mediu aliate:

a — fontă bainitică cu grafit nodular (400:1); b — fontă albă cu structura martensitică (400:1); c — fontă pestriță perlitică cu grafit lamelar (100:1); d — fontă pestriță perlitică cu grafit nodular (100:1).

Cantitatea de cementită este reglată prin conținutul de siliciu (care nu depășește 1%) și cel de carbon (2,7 ... 3,6%).

Duritatea, principala proprietate a acestor fonte, este influențată de structura masei metalice de bază (funcție de conținutul de nichel) și de proporția de cementită (funcție de conținutul de carbon și siliciu) (fig. 3.53).

Fontele albe mediu aliate au durități ridicate (550 ... 725 HV) deoarece însăși martensita este dură (500 ... 600 HV), iar cementita și mai dură (850 ... 1 100HV).

Plasticitatea fontelor este însă scăzută.

Structura martensito-cementitică asigură fontelor o rezistență foarte mare la uzură abrazivă și de aceea fontele sunt destinate turnării unor piese ca: cilindri de laminor, corpuri de măcinare (bile și cilindri), pompe pentru lichide cu particule abrazive, blindaje pentru mori și concașoare, palete pentru rotoarele pompelor centrifuge etc.

În cazul când se cere rezistență la uzură, eroziune și la șoc ridicate se folosesc conținuturi mai mari de nichel și crom.

Din categoria fontelor refractare slab aliate fac parte trei tipuri de fonte:

— fontele aliate cu siliciu (4 ... 6% Si);

— fontele aliate cu aluminiu;

— fontele aliate cu crom.

Caracteristica principală a lor este rezistența mare la oxidare în medii gazoase, la temperaturi ridicate.

Particularitățile fontelor slab aliate cu siliciu sînt următoarele:

— au conținutul de carbon scăzut (2,2 ... 3,0% C), ca urmare a micșorării solubilității acestuia în fonta lichidă datorită siliciului;

— au structura feritică datorită influenței grafitizante a siliciului; separările de grafit pot fi lamelare sau nodulare (în cazul fontelor tratate cu magneziu); structura feritică se obține chiar în cazul pieselor cu pereți subțiri;

— au rezistența mecanică mai scăzută, iar duritatea mai ridicată, decît la fontele nealiate cu siliciu (tabelul 3.17), datorită efectului de aliere a siliciului asupra feritei;

Tabelul 3.17

Principalele tipuri de fonte refractare slab și mediu aliate

Marca fontei*	Conținutul elementelor principale, în %			Valoarea proprietăților mecanice			Structura
	C	Si	Cr	σ_r , min da N/mm ²	σ_t , min da N/mm ²	HB da N/mm ²	
Fr Cr 1,3	2,8...3,4	1,7...2,7	0,7...1,9	15	32	207...285	P+K
Fr Cr 2,5	3,0...3,5	2,8...3,8	2,0...2,7	—	32	228...285	P+K
Fr Si 5,5	2,2...3,0	5...6	0,5...0,9	10	24	140...255	F+G1
Fr Si 5,5 Mg	2,4...3,0	5...6	sub 0,2	22	—	228...320	F+Gn

* STAS 6706-63. Fr — fonte refractare. Fonta Fr Si 5,5 Mg are grafitul nodular fiind tratată cu magneziu; F, P — ferită, perlită; G1, Gn — grafit lamelar, grafit nodular; K — cementită liberă. Fontele aliate cu siliciu și aluminiu sînt uneori denumite *Silol*.

Fontele slab aliate cu siliciu posedă refractaritate (rezistență la oxidare și la creștere) superioară fontelor obișnuite (v. fig. 3.54, b), ceea ce face posibilă folosirea lor pînă la temperaturi de 900°C, în timp ce fontele obișnuite nealiate nu pot fi folosite decît pînă la 400°C. Refractaritatea se explică prin următoarele:

— ferita aliată cu 5 ... 6% Si are punctele critice A_c deplasate la temperaturi mai mari de 900°C, deci la încălzirea pieselor pînă la aceste temperaturi nu au loc transformări fazice însoțite de schimbări volumice care să determine distrugerea masei metalice;

— structura este monofazică (feritică) și nu prezintă procese de grafitizare la încălzire;

— siliciul dizolvat în ferită determină formarea unei pelicule pasivante de oxizi (SiO_2 , $FeO \cdot SiO_2$) la suprafața pieselor încălzite în medii oxidante (O_2 , CO_2 , SO_2). Straturile interioare ale peliculei de oxid care vine în contact imediat cu fonta sînt bogate în SiO_2 sau în oxizi $FeO \cdot SiO_2$, care au rețeaua cristalină compactă și frînează sau blochează complet difuziunea ionilor de O și de Fe, începînd cu temperaturi de 570°C.

Cu mărirea conținutului de siliciu și micșorarea celui de carbon refractaritatea se mărește ceea ce se explică prin compactizarea peliculei de oxizi și prin micșorarea cantității de grafit. Totuși conținutul de siliciu mai mare de 6% nu se folosește din cauza fragilizării fontelor, iar conținuturi de carbon sub 2,2% nu se folosesc din cauza înrăutățirii accentuate a proprietăților de turnare. În afară de aceasta, fontele mai sărace în carbon se elaborează mai greu în cubilouri.

Fontele cu grafit nodular posedă proprietăți de refractaritate superioare în raport cu fontele cu grafit lamelar cu același conținut de siliciu.

Nodulele de grafit sînt izolate între ele și de aceea gazele oxidante pătrund mai greu în interiorul peretelui piesei (fig. 3.56, a).

Lamelele de grafit, din contră, creează canale extinse pentru gazele corozive (fig. 3.56, b).

3.1.3. Fonte aliate. [2]

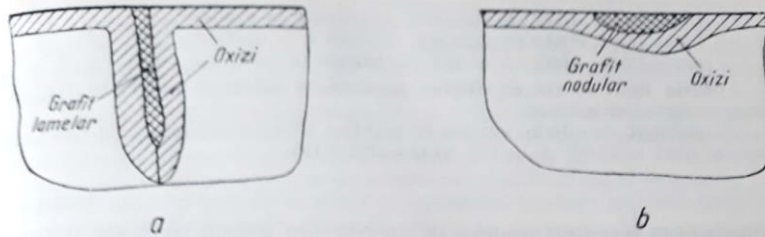


Fig. 3.56. Modul de oxidare a fontei în cazul formei lamelare (a) și nodulare (b) a grafitului.

În vederea îmbunătățirii proprietăților mecanice și a refractarității, fontele se aliază uneori cu unul sau mai multe din elementele: Cr până la 1%, Cu până la 1,5%, Al până la 4%, Mn până la 3% și Ti până la 0,2%.

Fontele refractare slab aliate cu aluminiu conțin între 2 și 6% Al și sînt cenușii, iar fontele refractare aliate cu crom conțin 1,0 ... 2,5% Cr și sînt albe (v. tabelul 3.17).

În acest fel este posibil să se formeze pelicule dense, tenace și pasivante, bogate în Cr_2O_3 și Al_2O_3 . În cazul alierii complexe cu elemente carburigene (Cr, Mn) se folosește tratamentul de recoacere grafitizantă în vederea obținerii structurii complet feritice.

Rezistența la șoc termic se micșorează cu creșterea conținutului de siliciu. Din acest motiv piesele turnate din aceste fonte nu au durabilitate mare în condiții de schimbare bruscă a temperaturii.

Domeniul de folosire a fontelor slab aliate cu siliciu este determinat de refractaritatea lor. Ele sînt destinate turnării pieselor care lucrează la temperaturi ridicate (pînă la 800°C) în cazul fontelor cu grafit lamelar și pînă la 1 000°C (în cazul fontelor cu grafit nodular), în atmosferă oxidantă de gaze din cuptoare (țevi de recuperatoare, rame și uși de răcire pentru cuptoare Martin, grătare și bare pentru cazane cu abur și pentru instalații de aglomerare, elemente celulare pentru cuptoare de ciment, creuzete pentru topit aluminiu etc.).

Avantajele fontelor slab aliate cu siliciu sub raportul refractarității se manifestă numai la temperaturi care nu depășesc A_{c1} .

3.4.2. FONTE ÎNALT ALIATE

Fontele înalt aliate fac parte din clase structurale diferite de cea perlitică și se caracterizează prin proprietăți fizice și chimice speciale. Ele au conținutul elementului principal de aliere mai mare de 8% și suma elementelor de aliere mai mare de 10%.

Elementele principale de aliere sînt siliciul, cromul, aluminiul, nichelul și manganul.

În funcție de elementele principale de aliere, fontele înalt aliate se împart în cinci grupe:

- fonte înalt aliate cu siliciu, rezistente la coroziune;
- fonte înalt aliate cu crom, rezistente la oxidare;

- fonte înalt aliate cu aluminiu, rezistente la oxidare;
- fonte înalt aliate cu mangan, rezistente la oxidare;
- fonte înalt aliate cu nichel, rezistente la cald.

Fontele înalt aliate cu siliciu prezintă următoarele particularități ale compoziției și structurii:

- conținut de siliciu cuprins între 14 și 18%; unele mărci de fonte pot conține pînă la 4,0% Mo și 1% Ni (tabelul 3.18).

Tabelul 3.18

Particularitățile compoziției chimice și ale caracteristicilor mecanice ale fontelor înalt aliate

Elementul principal de aliere	Conținutul celorlalte elemente	Caracteristici mecanice
15...17% Si	0,3...0,8% C	$\sigma_r = 17...14$ daN/mm ² HB = 300...400 daN/mm ²
8...32% Al	3,0...1,0% C	$\sigma_r = 18...7$ daN/mm ² HB = 250...300 daN/mm ²
16...32% Cr	2,0...0,5% C; 1,5...7,0% Al	$\sigma_r = 25...40$ daN/mm ² HB = 300...450 daN/mm ²
12...36% Ni	3,0...2,0% C; 1,0...5,0% Cr; 5...10% Mn	$\sigma_r = 15...28$ daN/mm ² (grafit lamelar) 35...50 daN/mm ² (grafit nodular) HB = 120...250
5...15% Mn	1...2% Al; 1...2,4% Cu	$\sigma_r = 14...20$ daN/mm ² HB = 150...230 daN/mm ²

— conținut scăzut de carbon (0,3 ... 0,6% C) ca urmare a micșorării solubilității lui cauzate de siliciu; eutecticul la aceste fonte are conținutul de carbon $C_e = 0,5 ... 0,6\%$; fontele folosite în industrie sînt hipoeutectice sau eutectice;

— conținutul celorlalte elemente (Mn, P și S) este obișnuit, ca la fontele cu grafit lamelar nealiate;

— siliciul, ca element alfa-gen, în proporții mai mari de 10% elimină complet domeniul austenitic din diagrama structurală Fe—Si—C, astfel că eutecticul acestor fonte este constituit fie din $F+G$ (la răcire încetă), fie din $F+K$ (la răcire rapidă);

— conținutul de grafit în aceste fonte este foarte mic, deoarece însuși conținutul de carbon este scăzut; grafitul poate fi lamelar sau nodular.

La conținuturi mai mari de 16% Si (mai ales la viteze mari de răcire), eutecticul devine ternar, fiind compus din ferită cementită și siliciură de fier (Fe_3Si_2); la răcire în formă, fontele înalt aliate cu siliciu nu suferă transformări fazice. Din acest motiv aceste fonte se folosesc în stare turnată și numai rareori se supun tratamentului de detensionare la 500°C;

— structura în stare turnată constă din ferită și grafit sau din ferită și cementită.

3.1.3. Fonte aliate. [2]

Fontele înalt aliate cu siliciu se caracterizează printr-o duritate ridicată, cuprinsă între 300 și 500 HB, ca urmare a alierii feritei cu siliciu (se știe că 1% de Si mărește duritatea cu 50 HB) și a prezenței Fe_3Si_2 , care are duritatea de cca. 600 HB. Duritatea este cu atât mai mare cu cât conținutul de siliciu este mai ridicat și cu cât gradul de grafitizare este mai scăzut.

Ca urmare a fragilității pronunțate a feritei înalt aliate cu siliciu rezistența la tracțiune este foarte scăzut ($\sigma_T=10 \text{ daN/mm}^2$), iar alungirea practic lipsește. În cazul grafitului nodular rezistențele se obțin ceva mai mari.

Rezistența se micșorează cu mărirea conținutului de siliciu și de carbon, ca urmare a creșterii proporției de grafit și a gradului de aliere a feritei, precum și a măririi cantității de Fe_3Si_2 (fig. 3.57, a).

Principala proprietate a fontei înalt aliate cu siliciu este rezistența la coroziune față de majoritatea mediilor puternic corozive: acid sulfuric de diferite concentrații și temperaturi, acid fosforic, azotic, acetic, formic etc., față de diferite soluții de săruri, atmosferă umedă, medii corozive gazoase, la temperaturi ridicate și înalte (până la 950°C), medii de oxigen, hidrogen sulfurat, bioxid de carbon, clor, vapori de apă (până la 700°C) etc.

Fonta silicioasă este un material metalic de neînlocuit pentru piesele care lucrează în medii care degajă hidrogen.

Rezistența mare la coroziune se explică prin:

— prezența în structură a soluției solide omogene bogat aliată cu siliciu (ferita), care are un potențial electro-chimic mult mai scăzut decât al feritei obișnuite, nealiate cu siliciu;

— formarea peliculei pasivante de SiO_2 , compactă și continuă, la suprafața piesei;

— prezența în structură a siliciurii de fier (Fe_3Si_2), care posedă individual o rezistență foarte ridicată la coroziune. De aceea odată cu creșterea conținutului de siliciu sporește rezistența la coroziune (fig. 3.57, b).

Fontele înalt aliate cu aluminiu conțin între 8,0 și 34% Al. Uneori aceste fonte pot fi aliate suplimentar cu 4 ... 8% Cr și cu până la 6% Cu. Principalele tipuri de fonte sînt indicate în tabelul 3.18.

Particularitățile structurii acestor fonte sînt următoarele:

— aluminiul este un element alfa-gen și ca atare mărește domeniile ocupate de ferită în diagrama Fe—C;

— aluminiul micșorează solubilitatea carbonului și ca urmare fontele au un conținut scăzut de carbon (v. tabelul 3.18).

— spre deosebire de celelalte elemente grafitizante principale (Si, Ni) aluminiul exercită o influență diferită asupra gradului de grafitizare (C_{gr}) a fontelor (fig. 3.58, a): el determină apariția a două maxime pe curba C_{gr} , deci a două domenii de grafitizare maximă (I și III) și a două domenii de grafitizare minimă (II și IV);

— domeniul II de grafitizare minimă se explică prin formarea la cristalizarea eutectică a carburii Fe_3AlC (simbolizată în literatură cu ϵ), care conține 4,0 ... 5,7% C și cca. 14% Al. Această carbură se formează și la conținuturi mai scăzute de aluminiu însă în intervalul eutectoid de temperatură;

— domeniul IV de grafitizare minimă se explică prin formare la cristalizarea primară și secundară a carburii speciale Al_4C_3 ;

— în fontele cu grafit, aluminiul se găsește dizolvat în cea mai mare parte în ferită, mărindu-i duritatea și fragilitatea (1% Al mărește duritatea feritei cu cca 10 HB).

Variația durității fontelor este în strînsă legătură cu variația gradului de grafitizare (fig. 3.58, b).

Siliciul deplasează maximele spre stînga și micșorează domeniile fontelor albe, iar viteza de răcire are o influență contrară.

3.1.3. Fonte aliate. [2]

Fontele înalt aliate cu aluminiu folosite în industrie sînt în majoritatea cazurilor apropiate de compoziția eutectică ($S_c=1$) și se toarnă în forme obișnuite din amestecuri de nisip, deci se răcesc cu viteză relativ mică. În aceste condiții, structura fontelor va fi următoarea:

— fontele din domeniul *I* (de ex. cu 8% Al) cu grad ridicat de grafitizare au structura finală constituită din grăunți de ferită și lamele de grafit și carburi, la limita grăunților;

— fontele din domeniul *II* (de ex. cu 16% Al), cu grad de grafitizare scăzut, au structura compusă din ferită și carburi aciculare;

— fontele care sînt situate în domeniul *III* corespunzător maximului al doilea de grafitizare (de ex. fonta cu 24 ... 34% Al) au în structură grăunți de ferită și lamele de grafit însă într-o cantitate mai mică în comparație cu fontele din domeniul *I*.

În cazul tratării fontelor cu magneziu separările de grafit se obțin de formă nodulară.

Culoarea rupturii pieselor turnate din fonte cu aluminiu variază în funcție de structură: este argintiu-închisă la fontele cu grafit și argintiu-deschisă la fontele fără grafit.

Proprietățile mecanice depind direct de conținutul de aluminiu și deci de structură. Rezistența fontelor este în general mică ($\sigma_r=7 \dots 18 \text{ daN/mm}^2$) și scade odată cu creșterea conținutului de aluminiu și de siliciu, ceea ce se explică prin efectul de fragilizare a feritei.

Îmbunătățirea formei grafitului (prin tratarea fontei cu magneziu și alierea cu Cr, Ni și Ti) determină mărirea rezistenței și a plasticității (săgeții de încovoare), fără însă ca acestea să depășească pe cele ale fontelor cenușii.

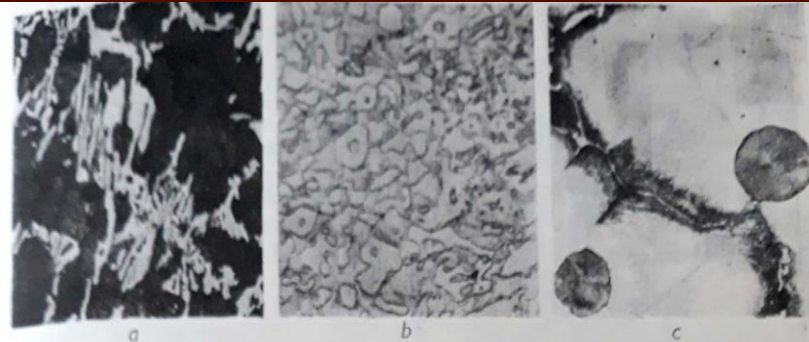


Fig. 3.60. Microstructurile unor fonte înalt aliate:

a — fontă albă sorbitică (2,3 ... 2,7% C, 13 ... 15% Cr; HB=450); b — fontă albă feritică (2,8% C, 27% Cr, HB=600); c — fontă austenitică cu grafit nodular (3% C, 14% Ni, 6% Mn; HB=200).

La conținuturi bogate de aluminiu nu mai are loc reducerea oxizilor de aluminiu de către CO din gaze.

Fonte înalt aliate cu crom. În aceste fonte cromul reprezintă elementul principal de aliere și poate fi cuprins între 12 și 36%. În afară de crom, fontele mai pot conține elemente de aliere secundare în vederea realizării unor proprietăți fizico-chimice superioare. Printre acestea sînt Al (pînă la 10%), Ni (pînă la 15%) și Mo (pînă la 5%) (v. tabelul 3.18).

În industrie se folosesc în primul rînd fontele hipoeutectice sau eutectice deoarece asigură proprietăți mecanice și fizico-chimice superioare.

Structura fontelor depinde de conținutul de crom (fig. 3.60), conform diagramei structurale simplificate din figura 3.61, a. Limitele domeniilor structurale sînt deplasate de conținutul celorlalte elemente de aliere și de viteza de răcire.

Eutecticul în fontele înalt aliate cu crom nu are structura ledeburitei, ci constă, așa cum s-a arătat (v. fig. 1.12, c), din colonii cilindrice, la care austenita constituie un schelet ramificat în masa de cementită. Datorită acestei structuri, rezistența și tenacitatea fontelor sînt mai ridicate, decît la fontele albe nealiate (ledeburitice), la care austenita se găsea sub formă de porțiuni izolate în masa de cementită.

Duritatea carburilor de crom eutectice este mai mare (1 200 ... 1 600 HV) decît a cementitei eutectice (850 ... 1 100 HV).

Masa metalică a fontelor înalt aliate cu crom este diferită, în funcție de compoziția chimică și viteza de răcire:

— fontele albe martensitice (obținute mai ales prin tratament termic de călire + revenire la temperatură joasă), se caracterizează prin conținuturi de crom pînă la 30% și carbon 3,0 ... 3,6% C (de obicei aliate cu Mo și Ni) și posedă durități ridicate. Sînt folosite ca materiale rezistente la uzură abrazivă. Cu cît grosimea peretelui piesei este mai mare cu atît mai puțină martensită se obține în structură (fig. 3.61, b). Creșterea conținutului de carbon determină mărirea proporției de carburi și prin aceasta, a rezistenței la uzură abrazivă (fig. 3.61, c). Frecvent sînt folosite următoarele tipuri: 12 Cr, Mo (călire în apă sau ulei) pentru turnarea corpurilor de măcinare din industria cimentului sau

3.1.3. Fonte aliate. [2]

13% cromul mărește potențialul electrochimic al soluției solide. În plus, formarea peliculei de Cr_2O_3 la suprafața pieselor frânează procesul de coroziune în mediile corozive oxidante.

Fontele feritice cu crom se folosesc pentru turnarea pieselor destinate instalațiilor chimice, de fabricare a acidului azotic (pentru melanjare, conducte, supape), pentru piese care lucrează la temperaturi ridicate și în gaze corozive (părți de focare, creuzete de topire, retorte, plăci, armături, fittinguri, cutii de cementare), piese pentru industria de ciment și elemente de încălzire.

Prelucrabilitatea fontelor albe feritice aliate cu crom este bună chiar la durități ridicate (până la 400 HB) deoarece ferita este moale, iar carburile se desprind ușor din masa metalică.

Acest lucru constituie un avantaj deosebit de important al acestor fonte față de fontele feritice înalt aliate cu siliciu sau cu aluminiu.

Fontele înalt aliate cu nichel conțin între 18 și 36% Ni, sînt cenușii și fac parte din clasa austenitică, deci au structura constituită din grăunți de austenită și separări de grafit lamelar sau nodular.

În afară de nichel fontele mai sînt aliate suplimentar cu 1 ... 6% crom (v. tabelul 3.18).

Conținutul de carbon la aceste fonte este mai scăzut decît la fontele nealiate ($C=2,4 \dots 3,0\%$) deoarece nichelul, ca și celelalte elemente grafitizante, deplasează spre stînga valoarea conținutului de carbon eutectic (C_e) ceea ce rezultă din relația:

$$C_e = 4,3 - 0,33 (\% \text{ Si}) - 0,047 \text{ Ni}$$

Deci efectul nichelului în aceste fonte se însumează la cel al siliciului, care este mult mai puternic.

În industrie se folosesc în general fonte hipoeutectice.

Conținutul de siliciu variază între 1,0 și 2,8% ca și la fontele nealiate rolul lui fiind acela de a asigura gradul maxim de grafitizare ($C_{leg}=0$). Cu cît grosimea peretelui piesei și valoarea conținutului de carbon sînt mai mici cu atît conținutul de siliciu este mai ridicat.

Prin alierea suplimentară a fontelor cu pînă la 6% crom se urmărește mărirea rezistenței la tracțiune cauzată de apariția în structură a unei cantități neînsemnate (sub 5%) de carburi (v. fig. 3.60, c).

Cu cît conținutul de nichel este mai mare cu atît mai ridicat trebuie să fie și cel de crom pentru a obține proporția necesară de carburi.

Structura austenitică se obține la turnare fără tratament termic. În cazul cînd în structură apare o proporție mare de carburi (fonte peștrițe) datorită vitezei mari de răcire, fontele se supun unui tratament de recoacere grafitizantă (încălzire la 950 ... 1 040°C, menținere și răcire în aer sau în cuptor).

În afară de tratamentul de înmuiere se mai utilizează:

— recoacere de detensionare (încălzire la 620 ... 680°C, menținere 1 h/25 mm, răcire în aer sau în cuptor);

— recoacere de stabilizare a dimensiunilor (încălzire la 850°C, răcire în cuptor, cu viteză de max. 50°C/h);

— tratament pentru îmbunătățirea rezistenței și alungirii la fontele cu grafit nodular (încălzire la 930 ... 1 000°C urmată de răcire în ulei).

Fontele austenitice cu grafit lamelar aliate cu nichel și crom se caracterizează printr-o duritate și rezistență relativ scăzută $\text{HB}=150 \dots 250$; $\sigma_r=15 \dots 30 \text{ daN/mm}^2$, alungire mult mai ridicată ($\delta=1 \dots 3\%$) decît la fontele cenușii cu grafit lamelar nealiate.

Fontele asutenitice cu grafit nodular (modificate cu magneziu) au practic aceeași duritate, însă rezistența la tracțiune și alungirea sînt mult mai mari ($\sigma_r=38 \dots 50 \text{ daN/mm}^2$; $\delta=5 \dots 20\%$); cromul micșorează alungirea.

Rezultă că fontele austenitice nu posedă rezistență mecanică ridicată. Ele sînt utilizate numai pentru proprietăți fizice și chimice speciale, printre care cele mai importante sînt următoarele:

a) rezistență la cald la temperaturi de pînă la 600°C, în cazul fontelor cu grafit nodular;

b) reziliență ridicată la temperaturi scăzute (pînă la -196°C) la fontele cu grafit nodular destinate turnării pieselor pentru instalații chimice, de transport și de depozitare a petrolului în stare lichidă etc. La aceste temperaturi scăzute fontele trebuie să aibă o tenacitate ridicată (KCU peste 3,0 daJ/cm²). Pentru a realiza aceste reziliențe ridicate, structura trebuie să fie austenitică, fără carburi libere (conținutul de crom sub 0,2%) și fără martensită (conținut de nichel ridicat). Pieseile complexe, greu de turnat din oțel, pot fi produse din fonte austenitice. În plus aceste fonte au și o rezistență la uzură mai mare și proprietăți de antifricțiune superioare. Se folosesc pentru turnarea de ventile, fittinguri, pistoane, pompe, compresoare etc., piese destinate instalațiilor pentru transportul gazelor lichide (de exemplu gaz metan la -161°C), azot și oxigen lichid, etilen etc;

c) rezistență la coroziune ridicată în foarte multe medii (alcaline și acide), ceea ce se explică prin valoarea scăzută a potențialului electrochimic al austenitei aliate cu nichel;

d) rezistență la oxidare și la creștere ridicată care este determinată de structura monofazică a masei metalice, compactitatea mare a fontei și structura ei fină (grăunți cu dimensiuni mici și separări mici de grafit uniform repartizate). Din acest motiv pătrunderea în interiorul masei a mediului coroziv (oxidant) se face cu greutate. Lipsa transformărilor fazice însoțite de schimbări de volum și absența tensiunilor și fisurilor face ca fontele austenitice aliate cu nichel să poată lucra în majoritatea mediilor gazoase pînă la temperaturi de 800°C, cu excepția gazelor care conțin sulf. În prezența sulfului și a temperaturii ridicate se formează NiS , care duce la apariția unui eutectic cu temperatură joasă de topire (cca. 900°C). Caracteristic pentru fontele austenitice aliate cu nichel este și rezistența termică importantă. Fontele aliate cu nichel (fonta 30 Ni 6 Si denumită *microsilal*) prezintă cea mai mare rezistență la creștere și la oxidare;

e) proprietăți magnetice speciale, datorită structurii austenitice, care se caracterizează printr-o permeabilitate magnetică scăzută ($\mu=1,03 \dots 1,05 \text{ GS/oe}$), rezistivitate electrică mare ($\rho=125 \dots 140 \mu\Omega \text{ cm}$, deci de două ori mai mare ca la fonta cu grafit lamelar perlitică) și prin pierderi mici. Foucault (la încălzire ρ variază numai cu 8 ... 10%, în timp ce la Fgl cu 25 ... 30%). Fontele sînt deci paramagnetice. De aceea se folosesc pentru piese de electrotmotoare, mașini electrice, ca înlocuitor al bronzului și al alamei;

f) coeficient mic de dilatare, proprietate care prezintă o mare importanță pentru piesele care trebuie să aibă stabilitate dimensională mare în timpul exploatarii (piese pentru mașini de precizie, instrumente, prese, cămăși de turbine etc.).

Așadar, fontele austenitice aliate cu nichel posedă o pluritate de proprietăți mecanice, fizice și chimice foarte valoroase pentru construcția de mașini și aparate.

Bibliografie:

[1]. Cojocaru-Filipiuc, V., *Fonte - obținere;*

[2]. Sofroni, L., *Elaborarea și turnarea aliajelor;*

[3]. Brabie, V., ș.a. *Tehnologia elaborării și turnării oțelului.*

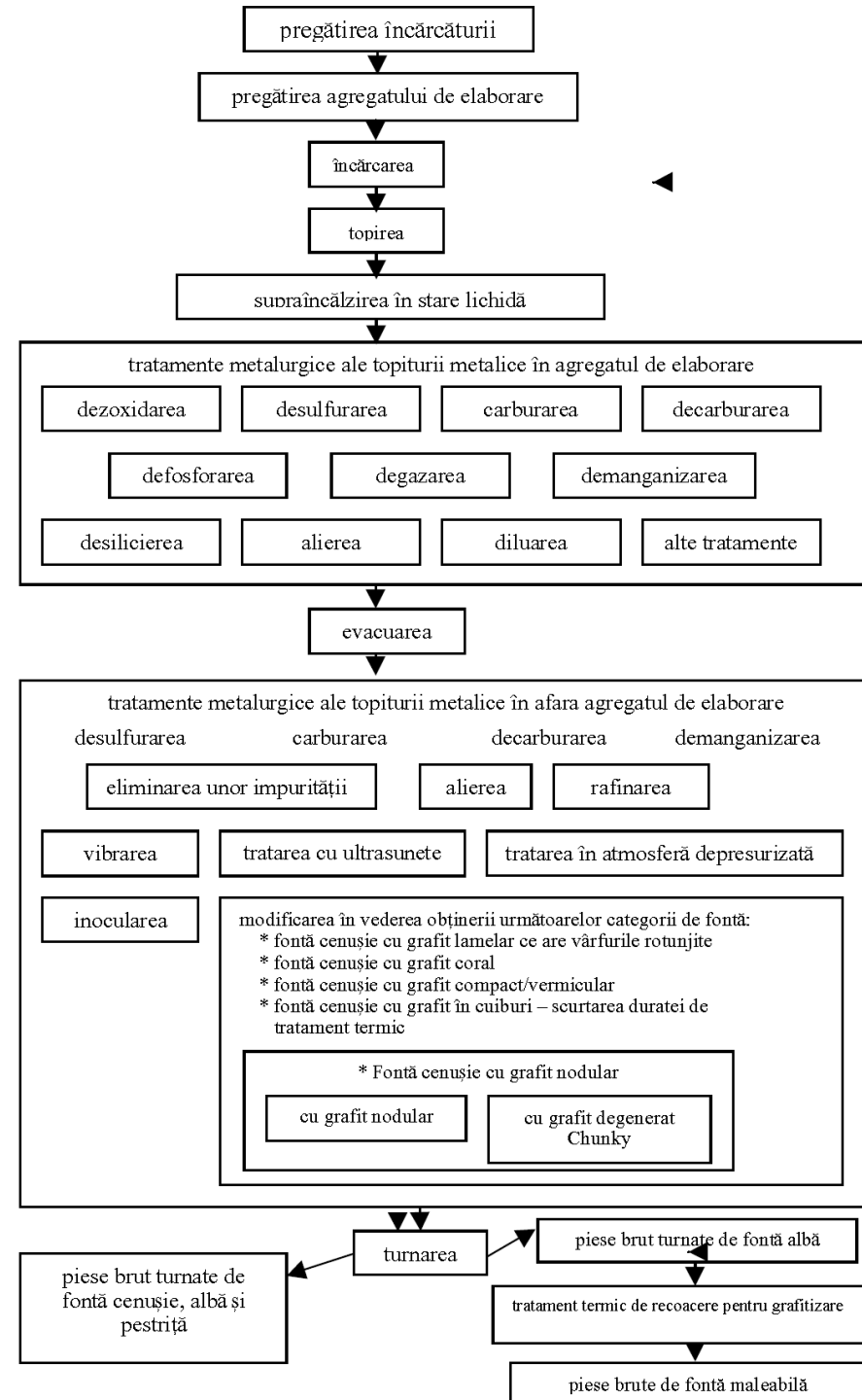
BAZELE ELABORĂRII ALIAJELOR FERROASE

PARTEA 3.1.

CUPRINS

1. Introducere. Istoricul procesării unei încărcături metalice și nemetalice feroase în vederea obținerii fontei și oțelului
2. Schema logică a unui flux de elaborare a unui aliaj feros.
3. Fonte.
 - 3.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.
 - 3.1.1. Fonte cenușii cu grafit lamelar nemodificate.
 - 3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare.
 - 3.1.3. Fonte aliate.
 - 3.2. Elaborarea fontelor.
 - 3.2.1. Tehnologia de elaborare a fontelor în cubilou.
 - 3.2.2. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.
 - 3.2.3. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu arc.
4. Oțeluri.
 - 4.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.
 - 4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: oțeluri pentru construcții și structuri sudate; oțeluri pentru construcții mecanice; oțeluri inoxidabile și refractare;
 - 4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;
 - 4.2. Elaborarea oțelurilor
 - 4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc.
 - 4.2.2. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.
 - 4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizor.

3.2. Elaborarea fontelor.



Schema bloc a fluxului tehnologic general de elaborare a unei fonte

Tehnologia de elaborare a fontelor în cubilou.

Cubiloul reprezintă un agregat metalurgic de tip cuvă, dezvoltat pe verticală, utilizat în principal pentru topire, în care încărcătura circulă în sens invers cu gazele de ardere obținute prin arderea unui combustibil.

În prezent sunt utilizate diverse tipuri constructive de cubilouri, o clasificare exhaustivă a acestora fiind dificil de realizat. Pentru o clasificare sumară pot fi luate în considerare următoarele elemente:

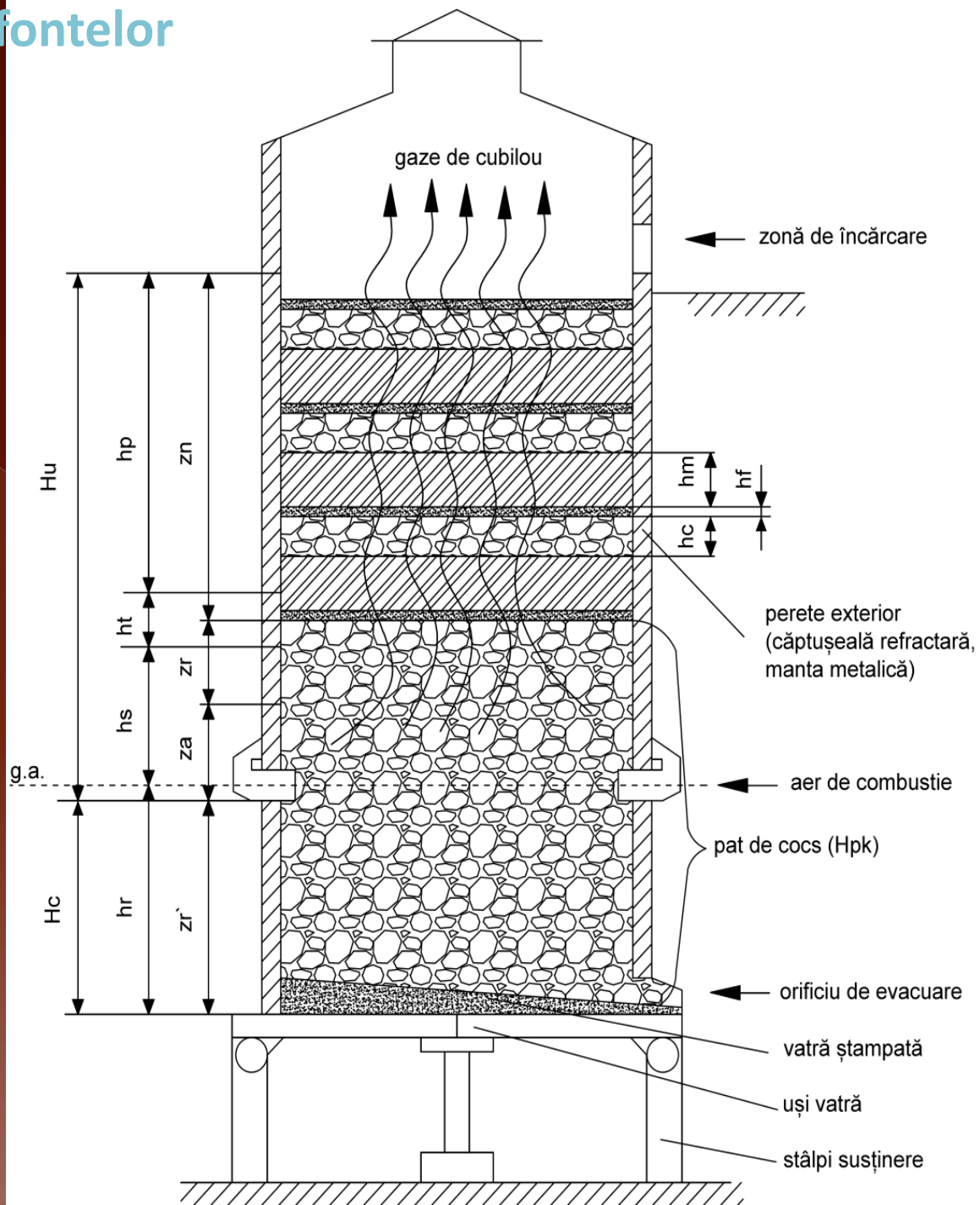
- caracterul zgurii: cu zgură acidă sau bazică;
- constructive: cu sau fără căptușeală refractară; cu aer rece sau preîncălzit, cu aer normal sau îmbogățit în oxigen, cu distribuție normală a aerului (1,2 sau 3 guri de aer) sau cu aer redistribuit, cu cuvă cilindrică sau tronconică etc;
- modul de răcire: fără răcire sau răcite cu apă;
- tipul combustibilului: cu cocs, cu cocs și combustibil gazos /lichid, cu combustibil gazos (gaz natural), cu combustibil lichid (produse petroliere).

Principiul de funcționare a cubiloului constă în topirea continuă a încărcăturii metalice ce coboară în contracurent cu gazele rezultate prin ardere. Acestea realizează în fază inițială încălzirea încărcăturii metalice în zona superioară, urmată de topirea acesteia și de supraîncălzirea topiturii aflată sub formă de picături.

Tehnologia de elaborare a fontelor în cubilou.

Figura 1. Schița principiului de funcționare a cubiloului.

H_u – înălțimea utilă;
 H_c – înălțimea creuzetului;
g.a. – nivelul gurilor de ardere;
 H_{pk} – înălțimea patului de cocs;
 h_m – înălțimea porției de metal;
 h_f – înălțimea porției de fondant;
 h_k – înălțimea porției de cocs;
 h_p – înălțimea zonei de preîncălzire;
 h_t – înălțimea zonei de topire;
 h_s – înălțimea zonei de supraîncălzire;
 h_r – înălțimea zonei de răcire;
 z_n – zona neutră;
 z_r – zona de reducere de la partea superioară a patului de cocs;
 z_a – zona de ardere;
 z_r' – zona de reducere din creuzetul cubiloului.



Tehnologia de elaborare a fontelor în cubilou.



© Viktor Mácha



Pregătirea încărcăturii

Prin încărcătură se înțelege totalitatea componentelor ce se introduc în agregatele de elaborare în vederea obținerii fontei propuse.

În funcție de natura agregatului de elaborare, încărcătura poate fi metalică și metalică împreună cu nemetalică.

Încărcătura metalică poate fi constituită, în diverse proporții (de la 0% la 100%) din următoarele sorturi metalice: fontă brută, fontă de înaltă puritate, feroaliaje, prealiaje brute de aliere, metale rafinate de aliere, fontă veche, oțel vechi, deșeuri de oțel, deșeuri de fontă, burete de fier, șpan etc.

Calitatea încărcăturii este un factor foarte important pentru bunul mers al întregului proces de elaborare. Din acest motiv, în vederea încărcării, sorturile metalice necesită o pregătire prealabilă din punct de vedere calitativ.

Atât fonta veche, deșeurile de oțel cât și celelalte sorturi pot fi impurificate din mai multe cauze:

- depozitarea în condiții necorespunzătoare și de lungă durată (impurificare cu pământ, zgură și rugină);
- dezmembrarea incompletă sau neîngrijită a utilajelor/instalațiilor casate (impurificare cu beton, zidărie, metale neferoase, uleiuri, emulsii etc.);
- sortarea neatentă (impurificare cu deșeuri de oțel aliat sau cu acoperiri metalice și nemetalice – piesele emailate conțin bor și plumb, lagărele conțin arseniu, stibiu și plumb, impurificare cu vopsea, etc.)

Din punctul de vedere al mărimii bucăților, încărcătura metalică se pregătește diferit, în funcție de natura agregatului de elaborare.

Pregătirea încărcăturii

1. Pregătirea calitativă

A. **Încărcătura metalică** poate fi compusă din fontă brută sau din mai multe sorturi (fontă veche, oțel vechi, feroaliaje etc).

Dimensiunile bucăților de sorturi metalice trebuie să fie de maximum $1/3$ din diametrul interior al cubiloului.

Dimensiunile minime ale bucăților de sorturi metalice sunt limitate din cauza măririi suprafeței specifice. O suprafață specifică mare conduce la pierderi mari prin oxidare în zona de preîncălzire. În plus, bucățile mici coboară cu viteză mare pe înălțimea cubiloului, influențând compoziția chimică a fontei obținute.

De exemplu, micșorarea dimensiunilor medii ale bucăților metalice de la 40 mm la 10 mm determină o mărire a suprafeței specifice de la $0,006 \text{ m}^2/\text{kg}$ la $0,025 \text{ m}^2/\text{kg}$ și, prin aceasta, o creștere a conținutului de sulf din fonta obținută cu 25...50%.

Pregătirea încărcăturii

. Pregătirea calitativă

B. Încărcătura nemetalică – cocsul se află în cubilou la partea inferioară sub formă de pat de cocs și la partea superioară , în porțiile de încărcătură, sub formă de porții de cocs.

În România, cocsul de turnătorie este reglementat prin STAS 7491-71 sub formă de trei mărci: CT-1, CT-2, CT-3, prezentate în tabelul de mai jos.

Unele proprietăți fizice și chimice ale cocsului de turnătorie, conform STAS 7 491-71

Nr. crt.	Caracteristica	Marca		
		CT-1*	CT-2*	CT-3*
1	Umiditatea totală, (), în % maximum	4,0	4,0	4,0
2	Cenușa (A^{anh}), în %			
	– media sub	8,0	9,5	11,0
	– maximum	10,0	11,0	13,0
3	Sulful total raportat la cocsul anhidru (), % maximum	0,9	1,0	1,1
4	Materiile volatile, raportate la cocsul anhidru (V^{anh}), % maximum	1,0	1,2	1,5
5	Rezistența mecanică:			
	– M 80, % minimum	60	–	–
	– M40, %	88	80	78
	– media peste	85	75	74
	– minimum	8	9	10
	– M 10, % maximum			
6	Porozitatea, (), % maximum	42	45	47
7	Puterea calorică inferioară, , kJ/kg (minimum)	29 678	29 260	28 424
8	Compoziția granulometrică			
	– rest pe ciurul cu țesătură de sârmă 80, STAS 1 077-67, % minimum	95	85	70
	– trece prin ciurul cu țesătură de sârmă 40, STAS 1 077-67, % maximum	3	6	8

Pregătirea încărcăturii

1. Pregătirea calitativă

B. Încărcătura nemetalică – cocsul

Calitatea cocsului influențează mersul cubiloului prin:

I. Caracteristici fizico-chimice:

- **granulația**: influențează prin suprafața specifică – în practică se preferă utilizarea de cocs cu dimensiuni mici, însă cu un grad de uniformitate a granulației mai mare.

- **rezistența mecanică**: a cocsului este proprietatea acestuia de a rezista solicitărilor mecanice la care este supus de către coloana de încărcătură.

- **porozitatea**: este dată de raportul dintre volumul porilor unei bucăți de cocs și volumul respectivei bucăți de cocs, în % - se impune în practică o valoare de 40%.

II. Carboxireactivitatea reprezintă capacitatea carbonului de a reduce CO_2 din gazele de cubilou. Cocsul de turnătorie trebuie să aibă o valoare mică a carboxireactivității.

III. Compoziția chimică a cocsului de turnătorie: carbon (85...92%), cenușă (frânează accesul O_2 spre carbonul fix ducând la creșterea consumului de cocs și la scăderea productivității), umiditate (se impune max. 4%), materiale volatile (se impune prezența lor în limitele 1...1,5%, deoarece micșorează rezistența mecanică și măresc porozitatea cocsului), conținutul de sulf (se admite 0,9...1%, creșterea conținutului de S micșorează temperatura fontei și productivitatea cubiloului prin micșorarea puterii calorice a cocsului)

Pregătirea încărcăturii

1. Pregătirea calitativă

C. Încărcătura nemetalică – fondantul

Fondantul este un material de natură chimică bazică, ce are ca rol principal legarea chimică a cenușei ce rezultă din arderea cocsului. Ca rol secundar, mărește fluiditatea zgurii ce se formează, cu scopul separării de faza metalică.

Rezultatele cele mai bune se obțin dacă se combină calcarul metalurgic cu 1 ...1,5% fluorină, caz în care se obține o mărire substanțială a fluidității zgurii, o reducere a pierderilor de elemente chimice din faza metalică prin oxidare, o desulfurare mai bună a fontei etc.

Fondanți utilizați la elaborarea fontei în cubilou împreună cu unele caracteristici și modalități de utilizare

Denumire	Caracteristici	Modalități de utilizare
Calcar metalurgic	52...54% CaO; 1,8...2% SiO ₂ ; 1...1,5% MgO; max 0,8% Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ ; max.0,01% P (fosforul trece în totalitate în faza metalică); max. 0,14% S (sulfurul trece în totalitate în faza metalică); 30...44% CO ₂ . Temperatura de topire este de circa 1 339°C	Sub formă de bucăți cu dimensiunile de 25...200 mm. Se pretează pentru elaborarea fontelor, indiferent de destinația lor.
Fluorină	85...90% CaF ₂ ; 5...10% SiO ₂ ; max. 0,2% S	În proporție de 1...1,5%.Are ca scop principal fluidificarea zgurilor cu viscozitate mare.
Var	88...93% CaO ; 2% MgO ; max.2% SiO ₂ ; max. 0,2% CO ₂ ; max. 3% Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	În mod similar precum calcarul metalurgic.
Dolomită	28...30% CaO ; 19...22% MgO ; 0,25...1,50% SiO ₂ ; 0,2...1,5% FeO; 44...47% CO ₂	I.d.*
Apatită cu clor	35...42% CaO ; 28...32% P ₂ O ₅ ; 8...15% SiO ₂ ; 5...10% Al ₂ O ₃ ; 0,4...0,6% Fe ₂ O ₃ ; 6,8% Cl	Se folosește apatita cu clor și nu apatita cu fluor deoarece se află în roci de natură chimică bazică.

Încărcarea

Prin **încărcare** se înțelege totalitatea operațiilor prin care încărcătura metalică și nemetalică este amplasată în agregatul de elaborare, în așa fel încât durata de elaborare să fie minimă iar fonta să se obțină cu calitate superioară.

Încărcarea cubiloului se face prin intermediul porțiilor de metal cocs și fondant, fiind recomandată încărcarea mecanizată (cu excepția agregatelor de dimensiuni mici).

Prima porție ce se încarcă în cubilou peste patul de cocs este porția de fondant pentru ca fondantul să lege chimic cenușa de natură chimică acidă ce rezultă din arderea cocsului în zona de ardere. Ulterior se încarcă porții de metal, cocs și fondant, în această ordine, până la nivelul gurii de încărcare.

Ordinea normală de introducere a bucăților de încărcătură metalică din porția de metal este următoarea:

- la partea inferioară se introduc bucățile cu fuzibilitate maximă (deșeuri de oțel, fontă etc);
- la partea superioară se introduc bucățile cele mai ușor fuzibile (bucăți de fontă veche cu grosimea de perete mai mică etc.).

Dacă deșeurile sunt sub formă de bucăți mici, se recomandă introducerea lor la partea superioară, inferior fiind așezate bucățile de dimensiuni mai mari.

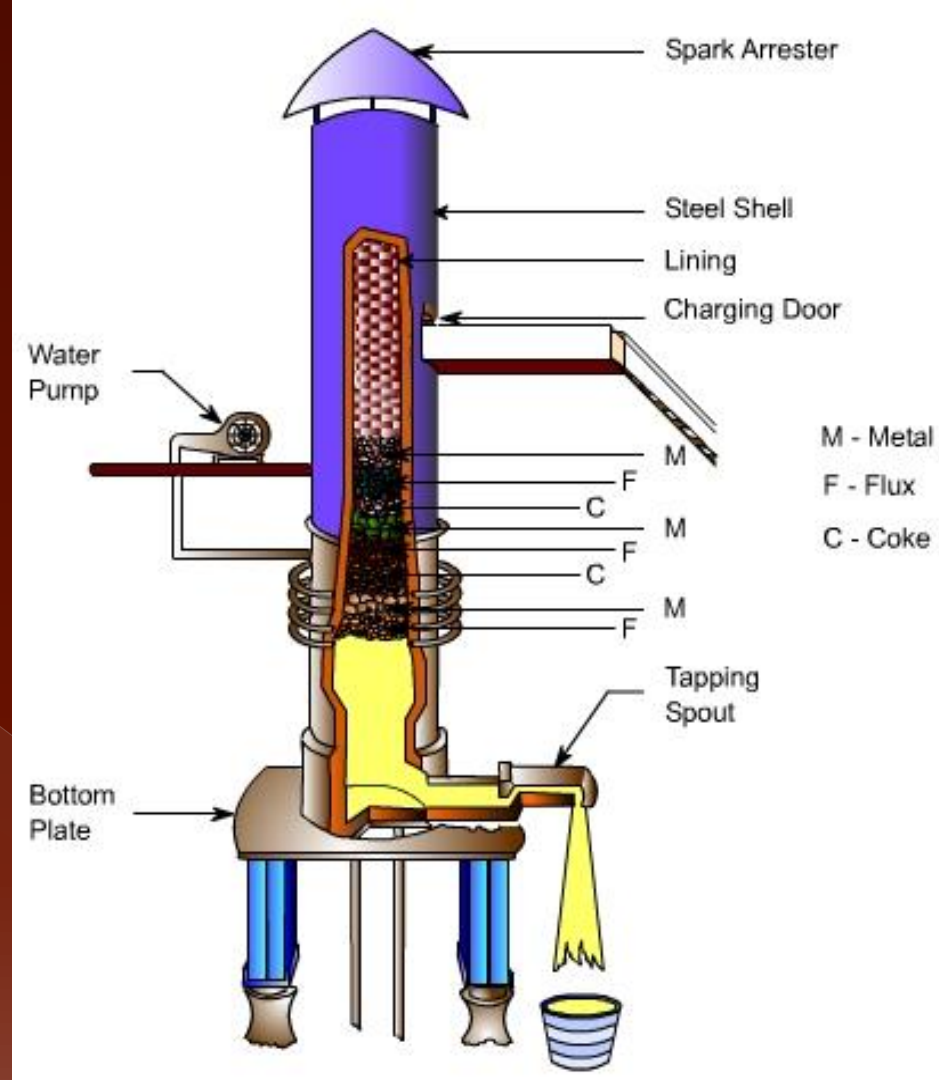
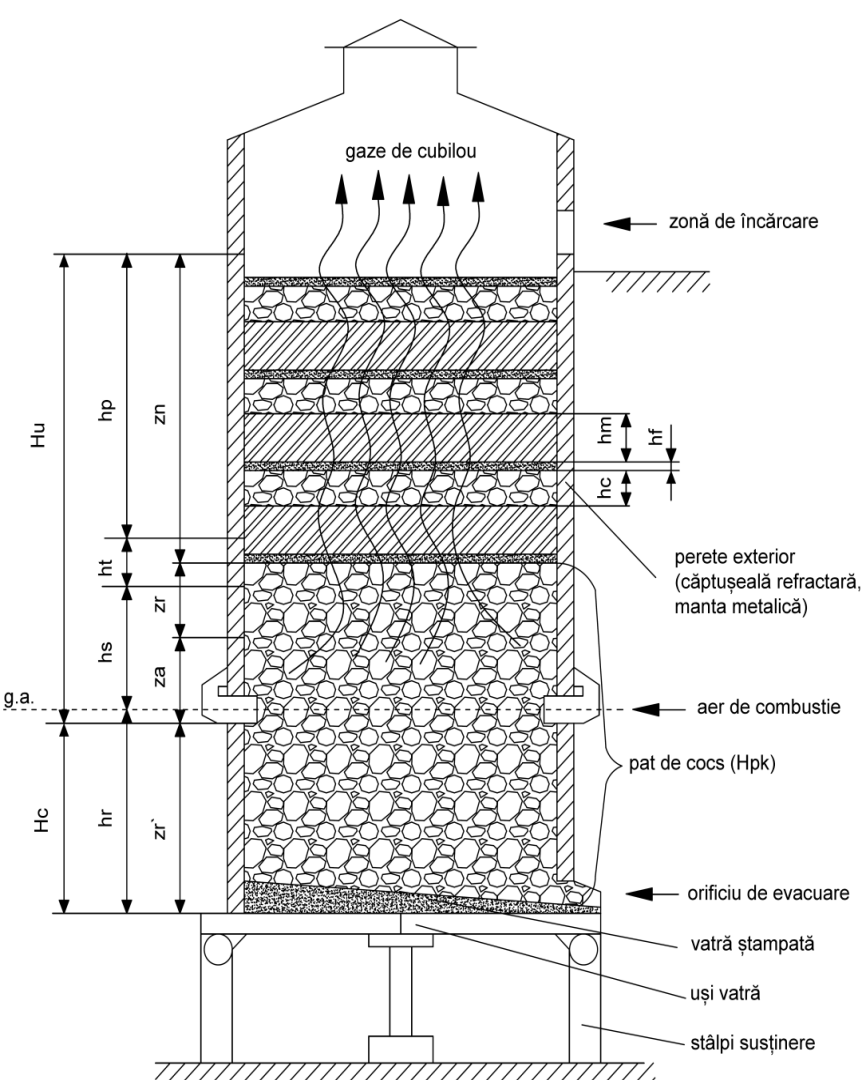
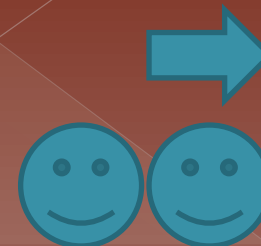


Figura 1. Schița principiului de funcționare a cubiloului.

H_u – înălțimea utilă; H_c – înălțimea creuzetului; g.a. – nivelul gurilor de ardere; H_{pk} – înălțimea patului de cocs; h_m – înălțimea porției de metal; h_f – înălțimea porției de fondant; h_k – înălțimea porției de cocs; h_p – înălțimea zonei de preîncălzire; h_t – înălțimea zonei de topire; h_s – înălțimea zonei de supraîncălzire; h_r – înălțimea zonei de răcire; z_n – zona neutră; z_r – zona de reducere de la partea superioară a patului de cocs; z_r' – zona de reducere din creuzetul cubiloului.



Topirea

Topirea reprezintă încălzirea în vederea transformării încărcăturii metalice din stare solidă în starea lichidă, împreună cu toate fenomenele ce însoțesc această transformare. La toate agregatele de elaborare apariția fazei metalice lichide are loc la fel.

În timpul încălzirii și topirii încărcăturii, au loc o serie de procese specifice fiecărui agregat de elaborare, aceste procese fiind, în principal, următoarele: oxidare, reducere, formare a zgurii, carburare, sulfurare, gazificare, defosforare etc.

Fenomenul principal ce caracterizează cubiloul este circulația picăturilor de metal în contracurent cu gaze a căror compoziție chimică variază pe toată înălțimea cubiloului.

Principalele fenomene ce însoțesc încălzirea și topirea: variația compoziției chimice a metalului pe înălțimea cubiloului, formarea zgurii, interacțiuni chimice între fazele componente ale sistemului metalurgic (captușeala refractară, încărcătura metalică, zgura, atmosfera gazoasă).

Din **punct de vedere chimic**, în funcție de caracterul chimic al atmosferei gazoase și de procesele chimice ce au loc între componentele încărcăturii cubiloului, există trei tipuri de zone: - zona de ardere/oxidare (za), zona de reducere (zr), zona neutră (zn).

Atmosfera din cubilou poate fi caracterizată și din **punct de vedere al schimbului de căldură**, fiind împărțită în următoarele zone: zona de preîncălzire (hp), zona de topire (ht), zona de supraîncălzire (hs) și zona de răcire (hr).

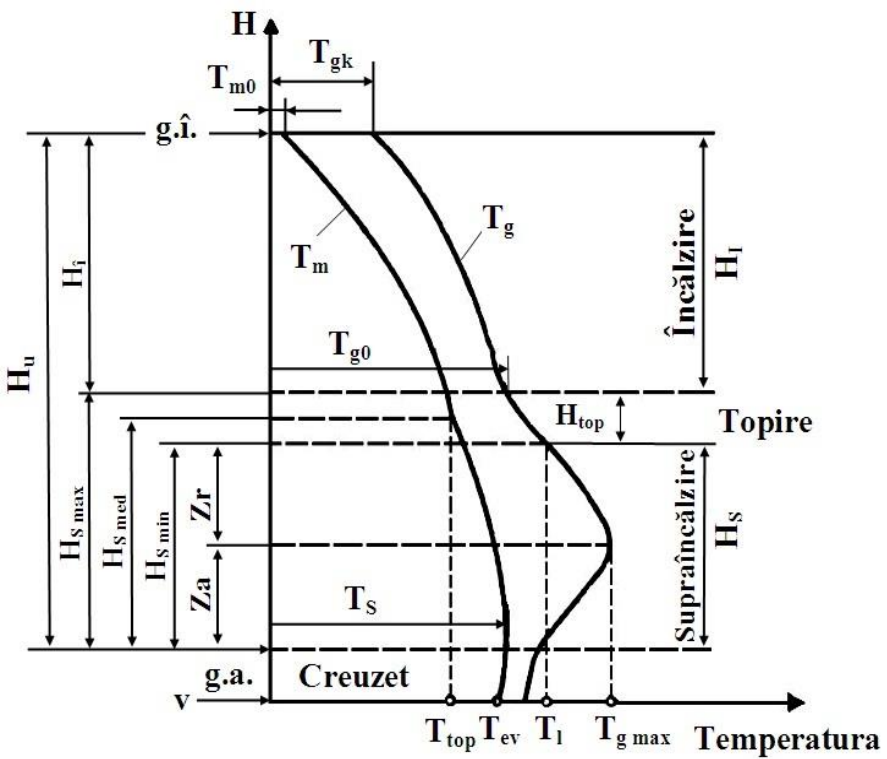
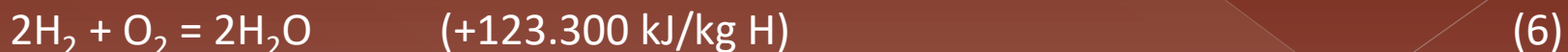


Fig.2. Zonele de încălzire, topire și supraîncălzire a fontei în cubilou:

T_m – temperatura încălzirii metalice;
 T_g – temperatura gazelor (T_{g0} – la începutul topirii);
 T_{gk} – temperatura gazelor arse la gura de încărcare;
 T_{top} – temperatura medie de topire a încălzirii;
 T_1 – temperatura gazelor la partea inferioară a zonei de topire;
 T_s – temperatura maximă de supraîncălzire a fontei lichide;
 T_{ev} – temperatura fontei la evacuarea din cubilou;
 H_i, H_{top}, H_s – înălțimile zonelor de încălzire, topire respectiv, supraîncălzire; H_i – înălțimea zonei de încălzire ($H_i = H_1$)
 $H_{Smax}, H_{Smin}, H_{Smed}$ – înălțimile superioară; inferioară și medie ale patului de coals de la nivelul rîndului de bază de guri de aer;
 H_n – înălțimea utilă a cubiloului;
 Z_a – zona de ardere, Z_r = zona de reducere;
 v, g_a, g_i – pozițiile vetrei, gurilor de aer din rîndul de bază respectiv, guri de încălzire.

Zona de ardere (za) este o zonă de pe înălțimea patului de coals unde au loc următoarele reacții



Prođușii de reacție ai reacțiilor (1) – (7) sunt în stare gazoasă și formează împreună cu azotul din aerul de combustie gazele de cubilou, ce au traseu ascendent de evacuare printre bucățile de coals incandescent și picăturile de metal.

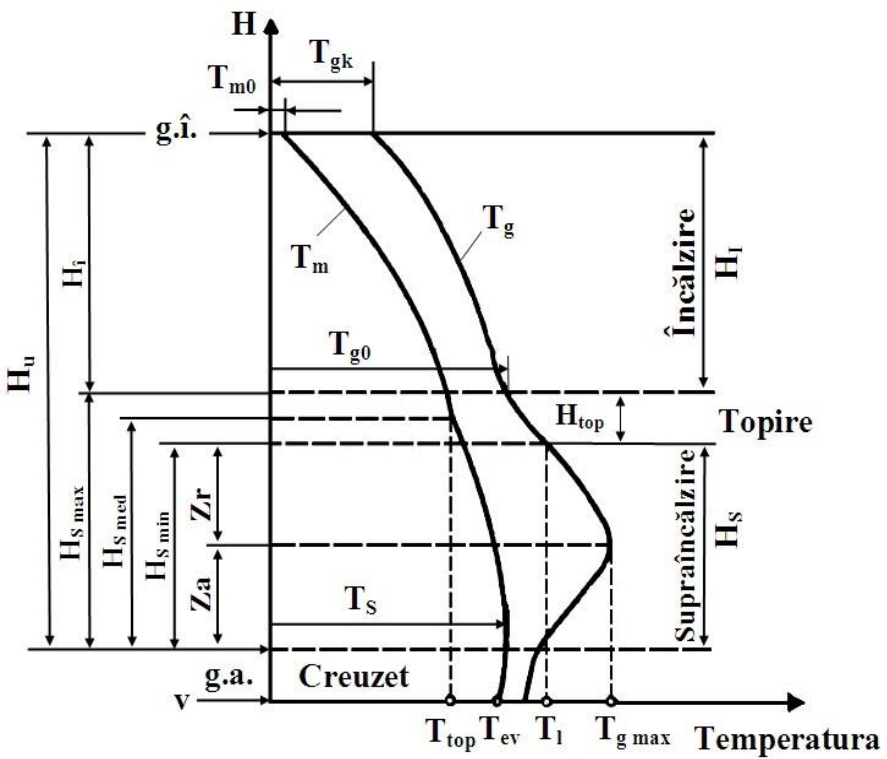


Fig.2. Zonele de încălzire, topire și supraîncălzire a fontei în cubilou:

T_m – temperatura încărcăturii metalice;
 T_g – temperatura gazelor (T_{g0} – la începutul topirii);
 T_{gk} – temperatura gazelor arse la gura de încărcare;
 T_{top} – temperatura medie de topire a încărcăturii;
 T_l – temperatura gazelor la partea inferioară a zonei de topire;
 T_s – temperatura maximă de supraîncălzire a fontei lichide;
 T_{ev} – temperatura fontei la evacuarea din cubilou;
 H_i, H_{top}, H_s – înălțimile zonelor de încălzire, topire respectiv, supraîncălzire; H_i – înălțimea zonei de încălzire ($H_i = H_l$)
 $H_{smax}, H_{smin}, H_{smed}$ – înălțimile superioară; inferioară și medie ale patului de cocs de la nivelul rîndului de bază de guri de aer;
 H_n – înălțimea utilă a cubiloului;
 Z_a – zona de ardere, Z_r = zona de reducere;
 v, g_a, g_i – pozițiile vetrei, gurilor de aer din rîndul de bază respectiv, gurii de încărcare.

Zona de reducere (zr) este zona de pe înălțimea cubiloului delimitată inferior de partea superioară a zonei de ardere și superior de partea superioară a patului de cocs. Reacția principală ce se produce în această zonă este **reacția de gazeificare a carbonului (Bell-Boudouard)** - (7), ceea ce produce o scădere a temperaturii gazelor de cubilou.

Zona neutră (zn) este zona cuprinsă între partea superioară a patului de cocs și nivelul **gurii de încărcare (gî)** fiind practic formată din porțiile de încărcătură. Reacția preponderentă desfășurată în această zonă este **disocierea fondantului** (8) însoțită și de alte reacții: reacția (7) în mică măsură, evaporarea apei din porțiile de încărcătură, degajarea materialelor volatile, **oxidarea** unor elemente chimice din încărcătura metalică (9).



Topirea

Cubiloul

Reacțiile de oxidare care implică metalul încep încă din zona de încălzire și continuă și după topire în special în zona de ardere conform reacțiilor:



După ce se realizează topirea, suprafața fazei metalice se mărește foarte mult, fiind acoperită cu un strat de oxizi consistent. Forma de picături generează o accelerare a reacțiilor chimice de oxidare, așa încât în zona de ardere fierul are condiții de oxidare până la Fe_3O_4 din cauza prezenței oxigenului liber în gaze în proporții mari (13).

Reacțiile de reducere implică elementele cu afinitate mai mare față de oxigen decât Fe, astfel:



Reacțiile de reducere se desfășoară în zona de reducere (în timpul prelingerii picăturilor metalice peste bucățile de cocs incandescent) și în creuzetul cubiloului unde atmosfera are tot un caracter reducător (FeO din baia metalică este redus de către C, Si și Mn din baia metalică).

Supraîncălzirea în stare lichidă

Supraîncălzirea unei fonte în stare lichidă este o etapă a fluxului tehnologic de elaborare ce succede etapa de topire a încărcăturii.

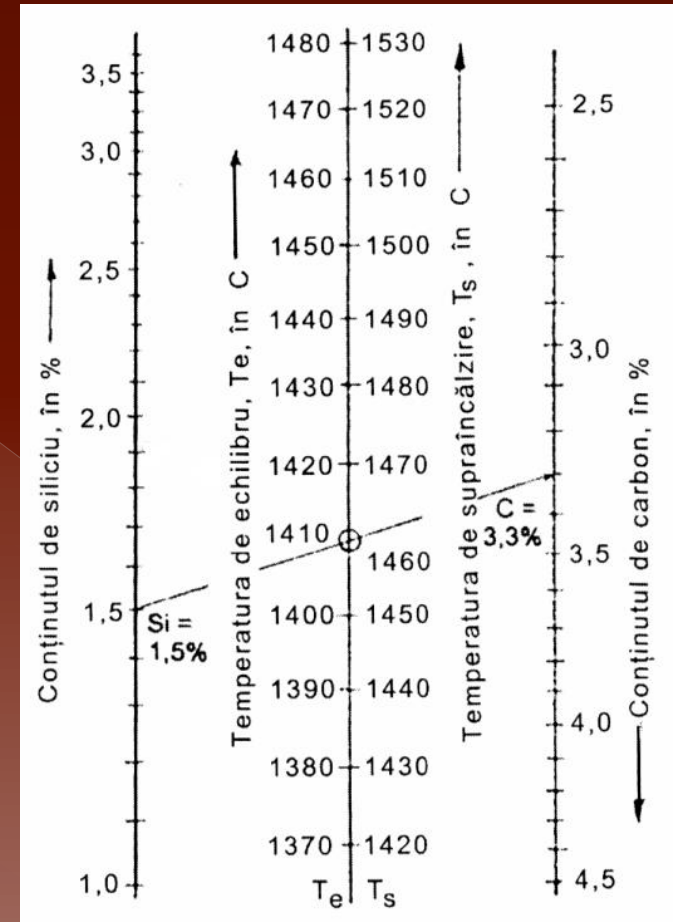
Supraîncălzirea constă în încălzirea băii metalice peste temperatura corespunzătoare liniei lichidus a aliajului respectiv, putând fi apreciată prin gradul de supraîncălzire ΔT_s , definit prin relația:

$$\Delta T_s = T_s - T_L [^{\circ}\text{C}], \quad (1)$$

unde T_s - temperatura de supraîncălzire,

T_L - temperatura liniei lichidus.

În cazul fontelor nealiante, T_s se determină în funcție de conținutul de C și Si al băii metalice, folosind nomograma din figura alăturată.



Nomogramă pentru determinarea temperaturilor de echilibru, T_e , și de supraîncălzire, T_s , ale băii metalice, în funcție de conținuturile de carbon și de siliciu din baia metalică.

Supraîncălzirea în stare lichidă

Alegerea gradului de supraîncălzire se face în funcție de mai mulți factori, cei mai frecvenți fiind următorii:

- tratamentul metalurgic ce va fi aplicat ulterior băii metalice (în agregatul de elaborare și în afara acestuia - modificarea fontelor pentru obținerea fontelor cu grafit nodular);
- fluiditatea fontei lichide;
- gradul de puritate al fontei propusă spre elaborare;
- compensarea pierderilor de căldură de la evacuarea din agregatul de elaborare a fontei lichide, de la manevrarea oalelor de turnare și de la turnarea în forme a aliajului lichid.

Supraîncălzirea în stare lichidă are ca scop modificarea proprietăților fontei lichide (de ex. mărirea caracteristicilor de rezistență mecanică). Această etapă a fluxului tehnologic de elaborare poate fi realizată în principal prin desfășurarea următoarelor două fenomene:

- ***Dezactivarea germenilor eterogeni*** ce influențează necontrolat structura metalografică la solidificarea fontei. Germeții eterogeni sunt reprezentați de particule solide de tipul oxizilor, suflurilor, nitrurilor, compușilor chimici complecși sau de tipul grafitului. Aceștia sunt dezactivați prin dizolvarea parțială a acestor particule sau de separarea acestora în zgură.
- Obținerea unei fontei lichide cu o structură din care să solidifice, în urma transformării eutectice, un număr mare de celule eutectice cu grafitul fin și uniform repartizat în matricea metalică.

În funcție de agregatul de elaborare, supraîncălzirea în stare lichidă se realizează diferit.

Supraîncălzirea în stare lichidă

În **cubilou** se produce supraîncălzirea fazei metalice numai în stadiul de picături, într-o anumită zonă de pe înălțimea cubiloului numită zona de supraîncălzire, putând fi atinse temperaturi maxime cuprinse între 1400...1550°C. Pot fi aplicate măsuri suplimentare pentru creșterea gradului de supraîncălzire, dintre care pot fi enumerate următoarele: supraîncălzirea în creuzetul cubiloulului prin inducție, în antecreuzetul cubiloului prin intermediul gazelor de ardere obținute prin arderea unui combustibil, supraîncălzirea prin inducție a fontei pe jgheabul cubiloului etc.

Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

2. Carburarea

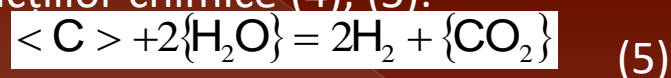
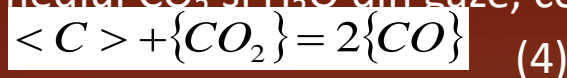
În general, în cazul elaborării fontei, apare necesitatea carburării băii metalice din cauză că în încărcătură se utilizează și deșeuri de oțel sau numai deșeuri de oțel, pentru a se compensa pierderile prin oxidare ale carbonului dar și pentru a se asigura conținuturi mai mari de carbon impuse de unele mărci de fonte.

Cubiloul

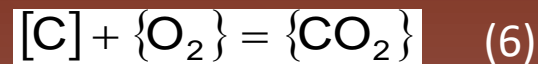
Conținutul de carbon din încărcătură depinde de procesele de oxidare a carbonului din încărcătura metalică (trecerea carbonului din încărcătură metalică în gaze) și carburare a încărcăturii metalice (trecerea carbonului din cocs în fontă).

Oxidarea carbonului din încărcătura metalică are loc în modul următor:

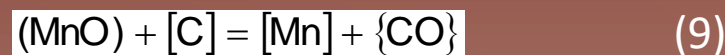
– oxidarea carbonului din încărcătura metalică solidă în **zona de preîncălzire** a cubiloului, prin intermediul CO_2 și H_2O din gaze, conform reacțiilor chimice (4), (5):



– oxidarea carbonului din picăturile metalice în timpul trecerii acestora prin **zona de ardere**, prin intermediul oxigenului liber din aerul de combustie, conform reacției chimice (6):



– oxidarea carbonului din **baia metalică** prin intermediul FeO din zgură și baia metalică, și a MnO din zgură în creuzetul cubiloului sau în antecreuzet, după caz, conform reacțiilor chimice (7), (8), (9):



Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

2. Carburarea

Cantitatea de carbon din faza metalică ce se oxidează poate fi caracterizată printr-un coeficient de ardere $-\beta$, – ce variază în intervalul 0,4...0,6, în funcție de condițiile realizate.

Carburarea fazei metalice se produce datorită difuziei carbonului din cocs în faza metalică lichidă, pe întreaga înălțime a patului de cocs, atât în stadiul de picături cât și în stadiul de baie a fazei metalice.

Procesul de carburare din cubilou depinde de mulți factori:

- **temperatura:** procesul de carburare a fazei metalice este endoterm;
- **înălțimea patului de cocs** – cu cât acesta este mai mare, cu atât se mărește suprafața de contact cocs-fază metalică lichidă, și cu atât mai mult se accelerează procesul de carburare;
- **mărimea granulației cocsului** – cu cât acesta este mai mică, cu atât carburarea este mai intensă datorită creșterii suprafeței de contact cocs-fază metalică lichidă;
- **conținutul de carbon din încărcătura metalică** – cu cât acesta este mai mic, cu atât procesul de carburare este mai intens;
- **bazicitatea zgurii** – cu cât aceasta este mai mare, cu atât mai mult suprafața bucăților de cocs este mai „descoperită” de cenușa și carburarea fazei metalice este mai intensă;
- **durata de contact cocs incandescent-fază metalică** – cu cât acesta este mai mare, cu atât carburarea fazei metalice este mai intensă.
- **suprafața de contact cocs incandescent-faza metalică;**
- **înălțimea creuzetului** – cu cât aceasta este mai mică, cu atât procesul de carburare este mai puțin accentuat.

Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

4. Desulfurarea

Sulful se află în fonta lichidă nealiată sub formă de FeS sau (FeMn)S.

În fonte, conținutul de sulf variază în general între limitele 0,005 – 0,18%, prezența lui având, în principal, implicații negative:

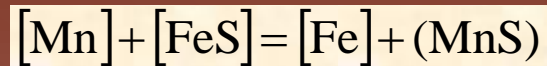
- favorizează apariția de zone de fontă albă în piese, mai ales în cazul vitezelor de răcire mari – înrăutățește prelucrabilitatea mecanică a pieselor;
- micșorează rezistența la șoc termic;
- micșorează caracteristicile mecanice de rezistență;
- determină durificarea inversă: piesele au duritate mai mare în zona centrală a pereților și duritate mai mică la periferie.

Desulfurarea are la bază interacțiunea chimică dintre faza metalică lichidă și elemente chimice ce au afinitatea chimică față de sulf mai mare decât fierul.

Condiții de desfășurare a procesului de desulfurare:

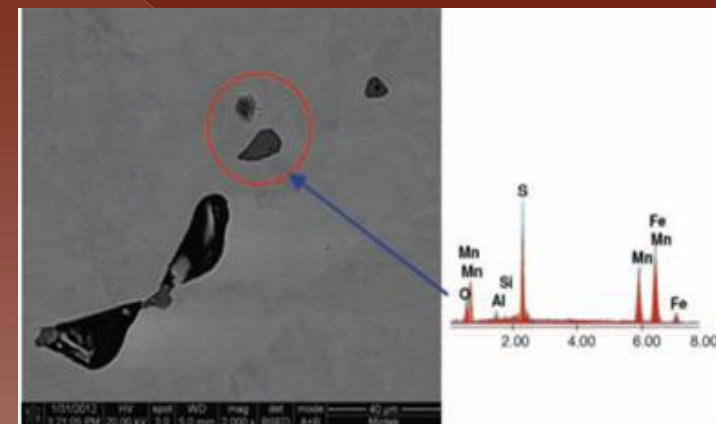
- în baia metalică să se introducă materiale ce conțin elemente chimice desulfurante,
- materialele desulfurante introduse trebuie să conțină acele elemente chimice care să formeze sulfuri, respectând condiția următoare: $(\Delta G_{MeS}^0 < \Delta G_{FeS}^0)$,
- produșii de reacție să nu se dizolve în baia metalică.

Desulfurarea cu Mn:



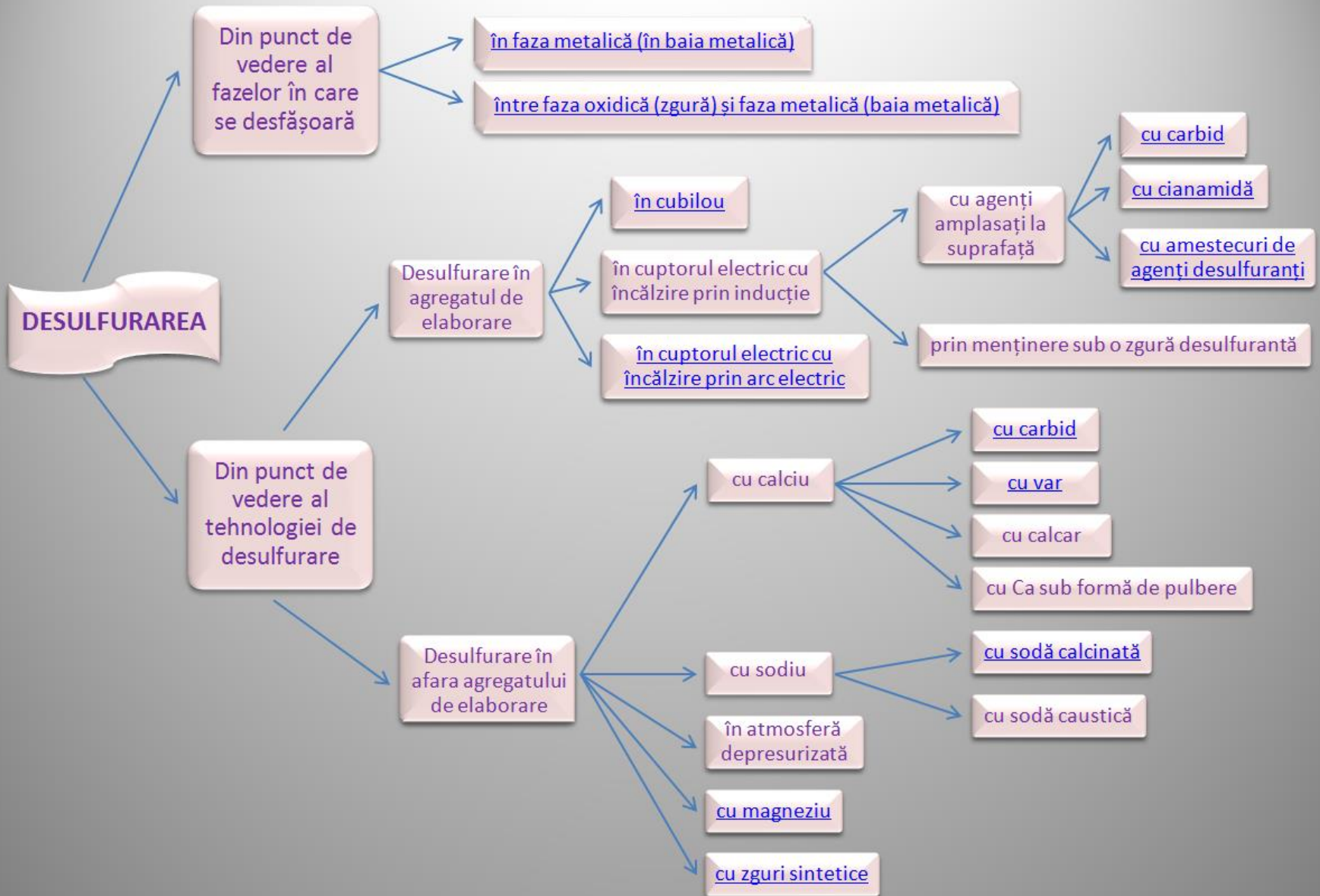
Conținutul minim de Mn necesar:

- pentru fonta cenușie: $\%Mn_{\min} = \%S \cdot 1,7 + (0,2 \dots 0,3)$,
- pentru fonta maleabilă: $\%Mn_{\min} = \%S \cdot 2 + (0,1 \dots 0,2)$,



Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

4. Desulfurarea



Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

4. Desulfurarea în cubilou

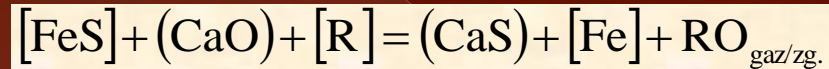
Desulfurantul principal este Ca, sub formă de CaO, care provine din:

- disocierea CaCO_3 (fondant);
- carbid ($\text{CaC}_2 + \text{CaO}$);
- fluorină (CaF_2).

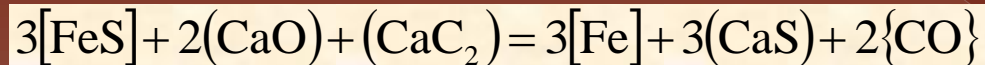
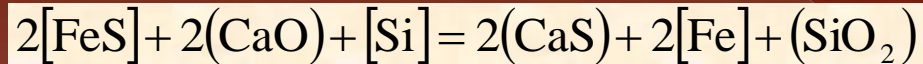
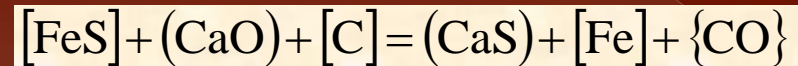
Zonele în care se produce cu preponderență desulfurarea sunt:

- creuzet (și antecreuzet) – timpul de contact este mai mare;
- zonele de reducere și oxidare – temperatura este foarte ridicată.

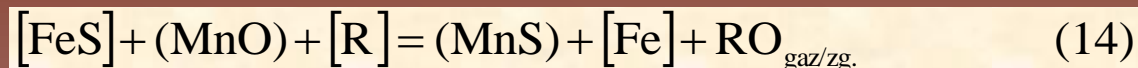
Reacția chimică generală de desulfurare, care nu determină pierderi în baia metalică:



unde R poate fi C, Ca, Si etc:



Desulfurarea poate fi realizată și prin intermediul MnO din zgură:



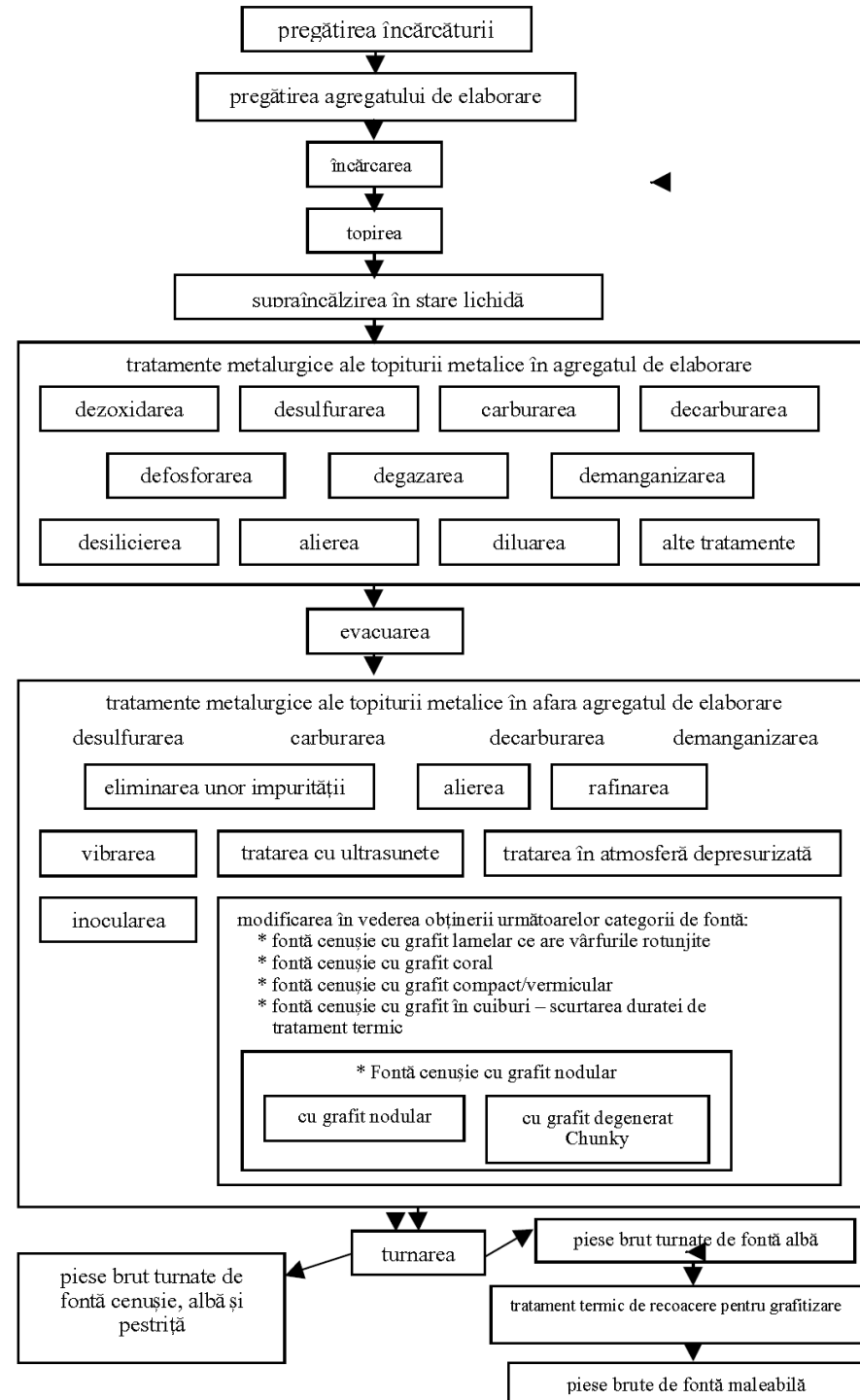
BAZELE ELABORĂRII ALIAJELOR FERROASE

PARTEA 3.2.

CUPRINS

1. Introducere. Istoricul procesării unei încărcături metalice și nemetalice feroase în vederea obținerii fontei și oțelului
2. Schema logică a unui flux de elaborare a unui aliaj feros.
3. Fonte.
 - 3.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.
 - 3.1.1. Fonte cenușii cu grafit lamelar nemodificate.
 - 3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare.
 - 3.1.3. Fonte aliate.
 - 3.2. Elaborarea fontelor.
 - 3.2.1. Tehnologia de elaborare a fontelor în cubilou.
 - 3.2.2. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.
 - 3.2.3. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu arc.
4. Oțeluri.
 - 4.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.
 - 4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: oțeluri pentru construcții și structuri sudate; oțeluri pentru construcții mecanice; oțeluri inoxidabile și refractare;
 - 4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;
 - 4.2. Elaborarea oțelurilor
 - 4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc.
 - 4.2.2. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.
 - 4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizor.

3.2. Elaborarea fontelor.



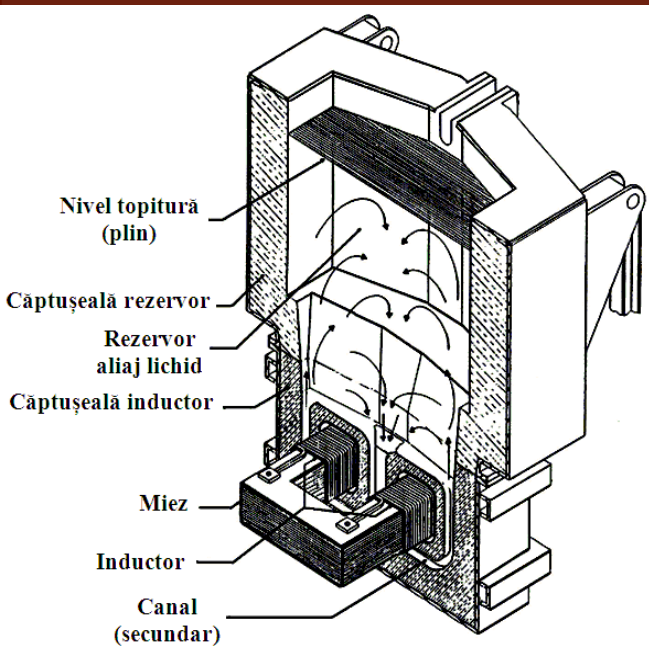
Schema bloc a fluxului tehnologic general de elaborare a unei fonte

Agregate de elaborare

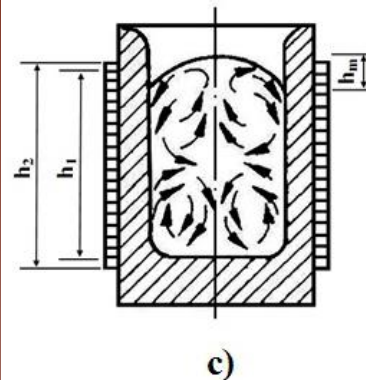
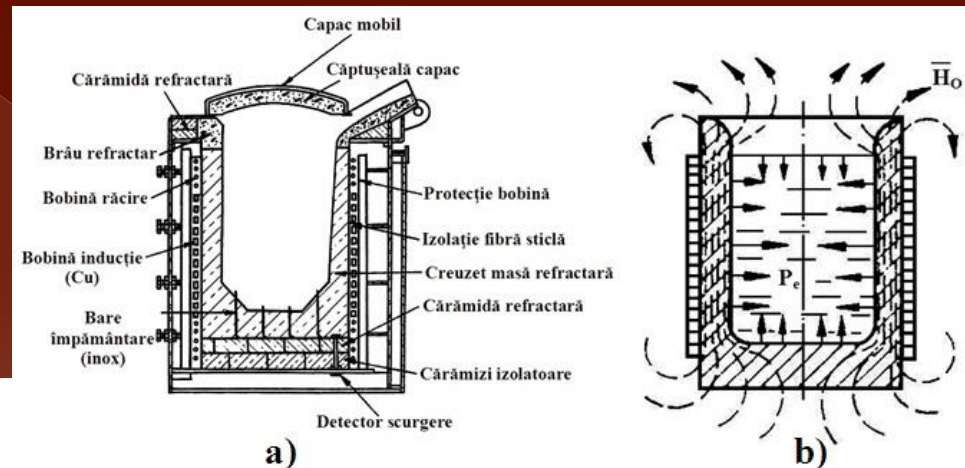
Cuptorul cu încălzire electrică prin inducție

Principiul funcționării constă în încălzirea încărcăturii metalice pe seama transformării în energie termică (efectul Joule – Lenz) a curenților turbionari (Foucault) induși în încărcătură de către un câmp electromagnetic variabil creat de o bobină de inducție (inductor). Inductorul este alimentat cu curent alternativ care poate fi la frecvența rețelei (50 Hz), frecvență medie (250 – 10 000Hz) sau frecvență înaltă (> 100 000Hz).

Din punct de vedere constructiv există două tipuri de cuptor cu inducție, respectiv, cuptor cu inducție cu creuzet și cuptor cu inducție cu canal.



Cuptor electric cu canal (schemă construcție)



c)

Cuptor electric cu creuzet:

a) – schemă construcție;

b) – distribuție forțe electromagnetice;

c) - circulația topiturii sub efectul câmpului electromagnetic

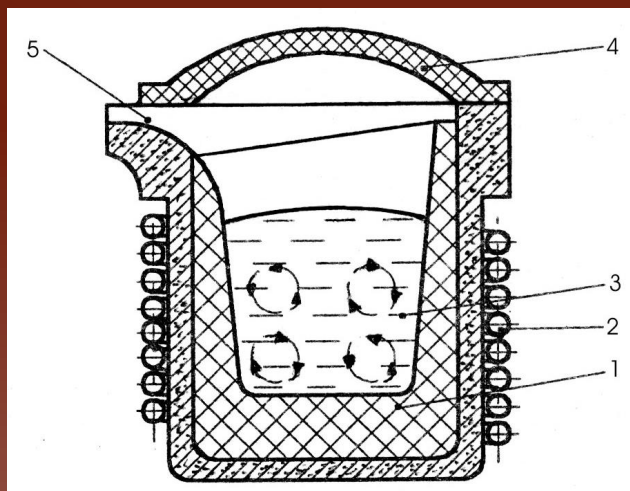
Agregate de elaborare

Cuptorul cu încălzire electrică prin inducție cu creuzet (CEI)

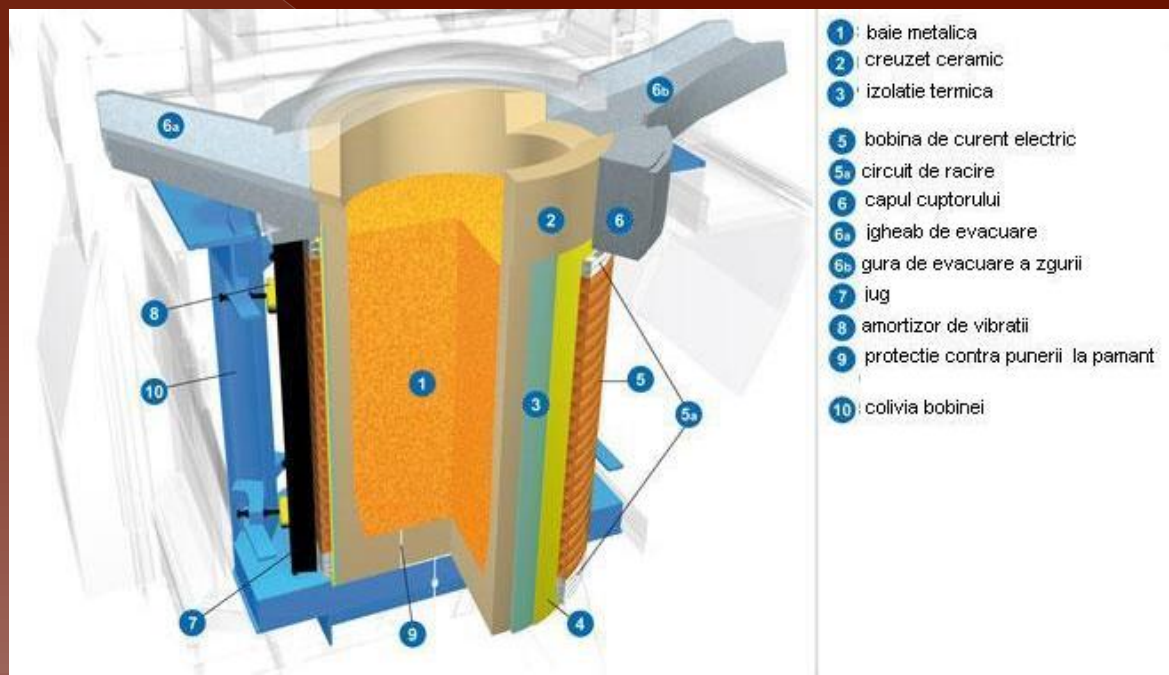
Cuptorul cu inducție fără miez este format dintr-un creuzet constituit din material refractar granular ce este înconjurat de o țevă de cupru sub formă de spirală prin care circulă apă de răcire și care reprezintă inductorul.

Cuptorul cu inducție funcționează pe principiul transformatorului, primarul fiind serpentina de cupru – iar secundarul fiind încărcătura metalică din creuzet – indusul.

Cuptorul cu inducție fără miez este format din două conductoare concentrice, respectiv unul exterior – inductorul – și celălalt interior – încărcătura metalică. Sensul curentului electric, în cele două conductoare, determină ca acele două conductoare să se respingă. Deoarece inductorul este rigid, baia metalică tinde să se comprime sub acțiunea forțelor electromotoare orientate dinspre perete spre centrul creuzetului – consecința este apariția unei convexități la suprafața băii metalice (baia metalică se bombează).



Schiață unui cuptor electric cu inducție fără miez – cu creuzet: 1 – creuzet; 2 – inductor; 3 – baie metalică; 4 – capac; 5 – jgheab de evacuare.



Pregătirea încărcăturii

Prin încărcătură se înțelege totalitatea componentelor ce se introduc în agregatele de elaborare în vederea obținerii fontei propuse.

În funcție de natura agregatului de elaborare, încărcătura poate fi metalică și metalică împreună cu nemetalică.

Încărcătura metalică poate fi constituită, în diverse proporții (de la 0% la 100%) din următoarele sorturi metalice: fontă brută, fontă de înaltă puritate, feroaliaje, prealiaje brute de aliere, metale rafinate de aliere, fontă veche, oțel vechi, deșeuri de oțel, deșeuri de fontă, burete de fier, șpan etc.

Calitatea încărcăturii este un factor foarte important pentru bunul mers al întregului proces de elaborare. Din acest motiv, în vederea încărcării, sorturile metalice necesită o pregătire prealabilă din punct de vedere calitativ.

Atât fonta veche, deșeurile de oțel cât și celelalte sorturi pot fi impurificate din mai multe cauze:

- depozitarea în condiții necorespunzătoare și de lungă durată (impurificare cu pământ, zgură și rugină);
- dezmembrarea incompletă sau neîngrijită a utilajelor/instalațiilor casate (impurificare cu beton, zidărie, metale neferoase, uleiuri, emulsii etc.);
- sortarea neatentă (impurificare cu deșeuri de oțel aliat sau cu acoperiri metalice și nemetalice – piesele emailate conțin bor și plumb, lagărele conțin arseniu, stibiu și plumb, impurificare cu vopsea, etc.)

Din punctul de vedere al mărimii bucăților, încărcătura metalică se pregătește diferit, în funcție de natura agregatului de elaborare.

Pregătirea încărcăturii

2.3.1. Pregătirea calitativă – cuptor electric cu încălzire prin inducție, fără miez (cu creuzet)

Nu se admite ca sorturile metalice să conțină rugină în cantitate mare, zgură, pământ, beton, zidărie, metale și aliaje neferoase, deșeuri de oțel aliat, deșeuri metalice cu acoperiri metalice și nemetalice, uleiuri, emulsii, oxizi, vopsele etc.

În cazul căptușelii acide, foarte important este conținutul de oxizi de fier din încărcătura metalică, deoarece oxizii de fier interacționează cu SiO_2 din căptușeală și formează silicați de fier ușor fuzibili care se separă în zgură, determinând astfel, distrugerea căptușelii refractare. În tabelul 2 se prezintă influența încărcăturii puternic oxidate asupra durabilității căptușelii acide.

Influența încărcăturii puternic oxidată asupra durabilității căptușelii acide.

Cantitatea de material metalic puternic oxidat în încărcătură, în %		0	5	10	15	20	25	30
Durabilitatea căptușelii refractare acide, în %, la cuptoare cu inducție fără miez cu capacitatea de	3...5 t	100	95... 100	85... 95	75... 80	65... 75	50... 65	25
	5...10 t	100	90... 95	80... 90	60... 80	50... 75	40... 60	25

Film 7

Film 8

Pregătirea încărcăturii

1. Pregătirea calitativă – cuptor electric cu încălzire prin inducție, fără miez (cu creuzet)

Mărimea bucăților metalice din încărcătură depinde de frecvența curentului de alimentare a inductorului. În tabelul 3 se prezintă dependența dintre mărimea minimă a bucăților de metal din încărcătură și frecvența curentului de alimentare.

Dependența dintre mărimea minimă a bucăților de metal din încărcătură și frecvența curentului de alimentare a cuptoarelor cu inducție.

Frecvența curentului de alimentare, în Hz	50	500	1.000	2.500	10.000
Mărimea medie minimă a bucăților de metal din încărcătură, în mm	200	70	40	30	14

În cazul încărcării cuptoarelor cu bena, foarte periculoase sunt bucățile de metal cu proeminențe ascuțite, așchiile, deșeurile de oțel cu proveniență de la deformarea plastică – aceste componente pot provoca pătrunderi superficiale în căptușeala refractară granulară, măbind potențialul de pericol de perforare a căptușelii de către metalul lichid supraîncălzit și, astfel, de accidente grave.

Pregătirea încărcăturii

Pregătirea cantitativă a încărcăturii

Elementele chimice ce trebuie asigurate prin metoda de calcul al încărcăturii aleasă (practică sau analitică) sunt, în principal, carbonul, siliciul și manganul, celelalte elemente din compoziția chimică a fontei propusă spre elaborare fiind asigurate prin tratamente metalurgice ulterioare ale băii metalice.

Încărcătura metalică este alcătuită din unul sau mai multe sorturi metalice, în funcție de disponibilitatea sorturilor din baza de șarjare, de calitatea acestora, de compoziția chimică a fontei propusă spre elaborare etc.

1. Calculul practic al încărcăturii metalice formată din 3 sorturi metalice

În baza de șarjare există trei sorturi metalice: sortul metalic 1 - sm1, sortul metalic 2 - sm2, sortul metalic 3 - sm3.

Compoziția chimică a fiecăruia dintre cele trei sorturi este:

$$\begin{aligned} \langle \%E_{i\text{s.m.1}} \rangle &= \langle \%E_{1\text{s.m.1}} \rangle, \langle \%E_{2\text{s.m.1}} \rangle, \langle \%E_{3\text{s.m.1}} \rangle, \dots \\ \langle \%E_{i\text{s.m.2}} \rangle &= \langle \%E_{1\text{s.m.2}} \rangle, \langle \%E_{2\text{s.m.2}} \rangle, \langle \%E_{3\text{s.m.2}} \rangle, \dots \\ \langle \%E_{i\text{s.m.3}} \rangle &= \langle \%E_{1\text{s.m.3}} \rangle, \langle \%E_{2\text{s.m.3}} \rangle, \langle \%E_{3\text{s.m.3}} \rangle, \dots \end{aligned}$$

În cazul elaborării în cuptoare cu inducție ce funcționează la frecvența rețelei se lucrează cu baie metalică remanentă, a cărei compoziție chimică se cunoaște, fiind aceea a ultimei sarje de fontă evacuată:

Baia metalică remanentă:

$$[\%E_i]_{\text{rem}} = [\%E_1]_{\text{rem}}, [\%E_2]_{\text{rem}}, [\%E_3]_{\text{rem}}, \dots$$

Încărcătura metalică este formată din patru componente, respectiv, fonta remanentă, sortul metalic 1, sortul metalic 2 și sortul metalic 3.

Pregătirea încărcăturii

Calculul practic al încărcăturii metalice formată din 3 sorturi metalice

În funcție de o serie de criterii de stabilire a proporțiilor de sorturi metalice (compoziția chimică a fontei propusă să fie elaborată, cantitatea disponibilă de sort metalic din baza de sarjare etc) se stabilesc cotele de participare la încărcătură ale sorturilor metalice 1, 2 și 3, de $\%w_1$, $\%w_2$ și, respectiv, $\%w_3$, în așa fel încât

$$30^* + \%w_1 + \%w_2 + \%w_3 = 100.$$

(* - se consideră pentru 100 kg încărcătură metalică, structura încărcăturii: 30 kg fontă remanentă, 70 kg sort metalic)

Cantitatea de sort metalic 1 ce se încarcă în cuptor, $Q_{\text{sort } 1}$, în kg, se calculează cu relația (1), cea de sort metalic 2, $Q_{\text{sort } 2}$, în kg, se calculează cu relația (2) iar cea de sort metalic 3, $Q_{\text{sort } 3}$, în kg, se calculează cu relația (3).

$$Q_{\text{sort } 1} = \frac{\%w_1}{100} \cdot Q_{\text{nominal}}$$
$$Q_{\text{sort } 2} = \frac{\%w_2}{100} \cdot Q_{\text{nominal}}$$
$$Q_{\text{sort } 3} = \frac{\%w_3}{100} \cdot Q_{\text{nominal}}$$

în care Q_{nominal} se exprimă în kg.

Pregătirea încărcăturii

Calculul analitic al încărcăturii metalice formată din 3 sorturi metalice

Calculul analitic se efectuează folosind ca baza de calcul proporțiile de siliciu și mangan din sorturile metalice utilizate și din fonta ce urmează a fi elaborată.

Se consideră cele trei sorturi A, B și C.

În cazul elaborării în cuptoare cu inducție ce funcționează la frecvența rețelei se lucrează cu baie metalică remanentă a cărei compoziție chimică se cunoaște, fiind aceea a ultimei sarje de fontă evacuată.

Calculul proporțiilor de sorturi A, B și C se realizează prin rezolvarea unui sistem cu trei ecuații (una de bilanț al siliciului, una de bilanț al manganului și cea de a treia reprezentând suma proporțiilor celor patru sorturi metalice) și patru necunoscute (proporțiile de sorturi A, B, C și FR-fonta remanentă).

$$\begin{cases} \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + \%FR \cdot \langle \%Si_{rem} \rangle = 100 \langle \%Si_{total} \rangle \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + \%FR \cdot \langle \%Mn_{rem} \rangle = 100 \langle \%Mn_{total} \rangle \\ \%A + \%B + \%C + \%FR = 100 \end{cases}$$

În care %A, %B, %C și %FR reprezintă proporțiile de sorturi metalice A, B, C și FR din încărcătură;

% Si_A – proporția de siliciu din sortul metalic A;

% Si_B – proporția de siliciu din sortul metalic B;

% Si_C – proporția de siliciu din sortul metalic C ,

% Si_{rem} - proporția de siliciu din fonta remanentă,

⟨%Si⟩ – proporția de siliciu din încărcătură ce se calculează,

% Mn_A – proporția de mangan din sortul metalic A;

% Mn_B – proporția de mangan din sortul metalic B;

% Mn_C – proporția de mangan din sortul metalic C ,

% Mn_{rem} - proporția de mangan din fonta remanentă,

⟨%Mn⟩ – proporția de mangan din încărcătură ce se calculează.

Pregătirea încărcăturii

Calculul analitic al încărcăturii metalice formată din 3 sorturi metalice

În cazul în care proporția de fontă lichidă remanentă este de 30% din capacitatea cuptorului (capacitatea nominală), sistemul devine:

$$\begin{cases} \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + 30 \cdot \langle \%Si_{rem} \rangle = 100 \langle \%Si_{total} \rangle \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + 30 \cdot \langle \%Mn_{rem} \rangle = 100 \langle \%Mn_{total} \rangle \\ \%A + \%B + \%C = 70 \end{cases}$$

Criteriile de alegere ale sorturilor metalice A, B și C sunt următoarele:

– conținuturile de siliciu ale celor trei sorturi metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mici decât

$$\left(\langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem} \rangle}{100} \right)$$

– conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mari decât

$$\left(\langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem} \rangle}{100} \right)$$

– conținuturile de mangan ale sorturilor metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mici decât

$$\left(\langle \%Mn_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Mn_{rem} \rangle}{100} \right)$$

– conținuturile de mangan ale sorturilor metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mari decât

$$\left(\langle \%Mn_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Mn_{rem} \rangle}{100} \right)$$

- primele două ecuații ale sistemului nu trebuie să fie identice;

- soluția sistemului trebuie să fie reală și pozitivă din punct de vedere matematic.

Pregătirea agregatului de elaborare

Pregătirea cuptorului cu inducție

Ca material refractar granular de bază, pentru **căptușeala acidă**, se utilizează **cuarțita** (min.98% SiO_2 , max. 0,60% Fe_2O_3 , max. 1,00% Al_2O_3 , max. 1,00% TiO_2 , max. 0,30% MgO , max. 0,30% CaO și max. 0,30% H_2O) iar ca liant se utilizează acidul boric (H_3BO_3) în proporție de 1...2%, dar și anhidrida borică (B_2O_3) în proporție de 0,6...1,0%.

Pentru **căptușeala refractară granulară neutră**, ca material refractar de bază se utilizează corindon, electrocorindon, sillimanit și distensillimanit, în diverse rețete, iar ca liant se utilizează acidul boric în proporție de 0,8...2,5%. Căptușelile neutre au rezistență la șoc termic mai mare de 3...4 ori decât cele acide, rezistența la compresiune este aproape dublă față de cele acide, permit elaborarea la temperaturi mari (peste 1.550°C , datorită legării chimice a SiO_2 de către Al_2O_3), nu permit "eliberarea" de oxigen din SiO_2 și asigură pierderi prin oxidare foarte mici – de exemplu, absența pierderilor prin oxidare pentru Mn, Cr, Ni, Mo și Cu, în condiții de elaborare corespunzătoare.

Pentru **căptușeala refractară granulară bazică**, ca material refractar de bază se utilizează magnezita, a cărei refractaritate poate depăși temperatura de 2.000°C ; se caracterizează prin coeficient de dilatare mare.

Înainte de fiecare încărcare se verifică sistemul de avertizare pentru evitarea străpungerii căptușelii refractare de către metalul lichid (de ex închiderea unui circuit electric între baia metalică și electrozi implantați în căptușeala refractară, variația rezistenței electrice a căptușelii refractare, utilizarea de marcatori radioactivi, șablon metalic și de plasă de avertizare de material termorezistent, creșterea factorului de putere etc).

Pregătirea agregatului de elaborare

Pregătirea cuptorului cu inducție

În industrie, cele mai utilizate cuptoare cu inducție fără miez sunt cele căptușite acid deoarece sunt îndeplinite, în mare măsură, următoarele condiții pentru căptușeală:

- rezistență la temperaturi mari,
- rezistență la solicitarea mecanică a masei de metal lichid,
- rezistență la șocul termic cauzat de evacuarea băii metalice,
- coeficient de dilatare mic pentru ca susceptibilitatea de fisurare să fie mică,
- componenții chimici să nu sufere modificări alotropice cu schimbări de volum mari,
- cost mic,
- să nu fie higroscopică,
- să preia șocurile mecanice cauzate la încărcare etc.

Căptușeala canalului este partea cea mai solicitată din punct de vedere termic, chimic și mecanic și se obține prin starea (baterea) compoziției refractare în jurul unor șabloane de forma golului canalului.

Șabloanele se confecționează din tablă de oțel sau metalul de topit și au o secțiune transversală circulară.

Sinterizarea căptușelii, prin care se înțelege interacțiunea chimică dintre masa refractară și liant, are loc la temperaturi ridicate obținute prin topirea șabloanelor metalice.

Încărcarea

Cuptoarele cu creuzet se încarcă manual sau prin intermediul benelor metalice, acordându-se atenție mărită centrării benei deasupra creuzetului pentru ca deteriorarea prin șoc mecanic a părții superioare a căptușelii refractare granulare să fie evitată sau să fie minimă.

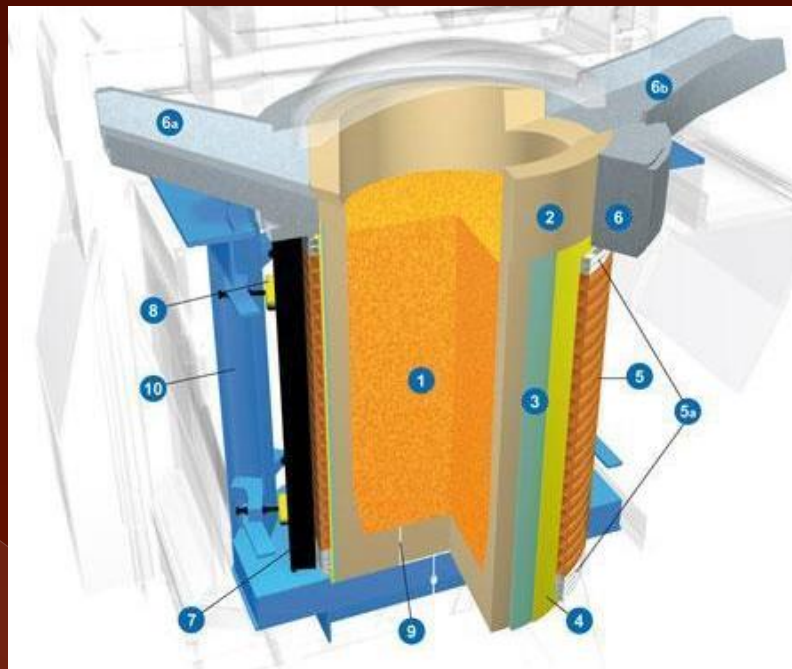
C. Cuptorul electric cu încălzire prin arc electric

Pentru cuptoarele de capacitate mică, încărcarea se face manual, însă pentru majoritatea cuptoarelor utilizate la scară industrială, încărcarea se face în mod mecanizat:

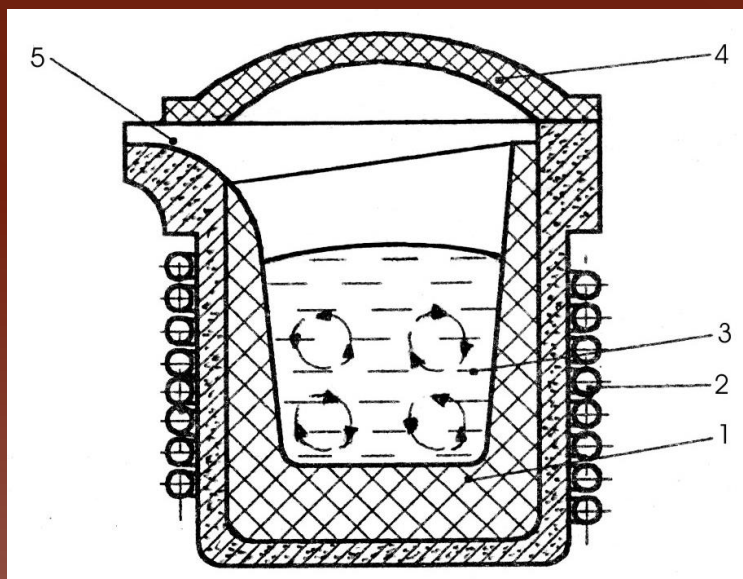
- prin ușa cuptorului (cu jgheaburi metalice transportate și acționate de către podul rulant)
- pe la partea superioară a cuvei (după ce cuva cuptorului a fost descoperită fie prin rabatarea în plan orizontal a bolții împreună cu electrozii, fie prin deplasarea cuvei cuptorului, pe șine, până la baza de șarjare).

Bena este un utilaj sub formă de coș executat din tablă de oțel și prevăzut la partea inferioară cu un fund format din două jumătăți mobile ce se închid și se deschid prin acționare din podul rulant.

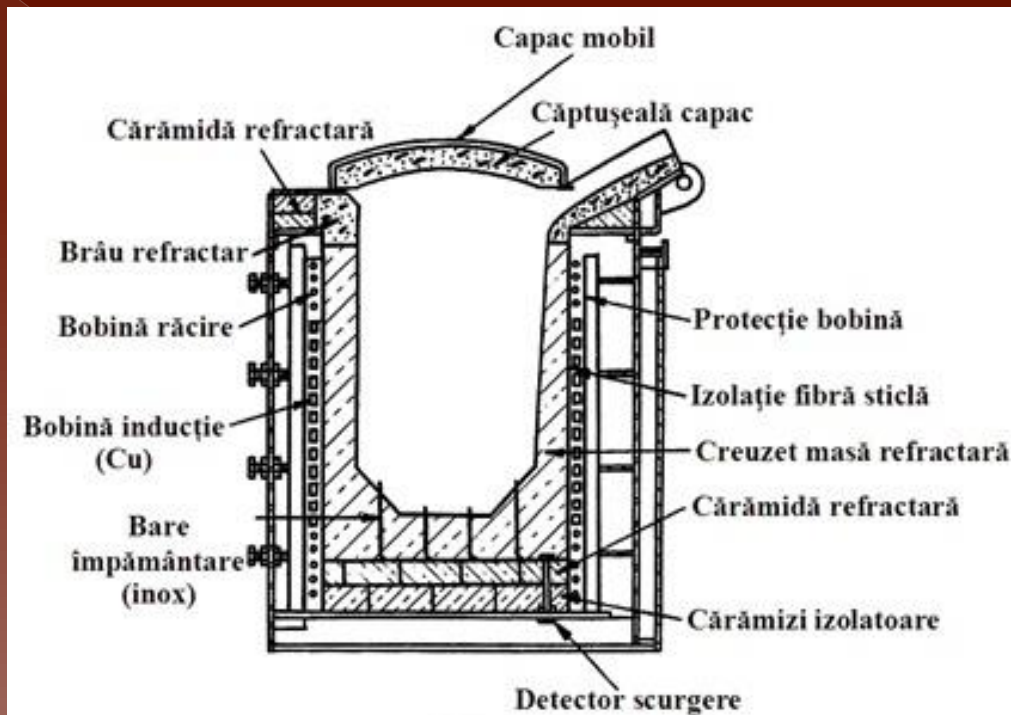
În toate cazurile de încărcare se recomandă ca încărcarea să se efectueze cu viteză maximă, pentru ca pierderile de căldură din cuptor să fie minime (nu se recomandă ca încărcarea cuptorului, să se facă, de exemplu, cu podul rulant prevăzut cu electromagnet de încărcare, deoarece încărcarea durează prea mult timp, astfel cuptorul răcindu-se și mărindu-se costul fontei elaborate).



- 1 baie metalica
- 2 creuzet ceramic
- 3 izolatie termica
- 5 bobina de curent electric
- 5a circuit de racire
- 6 capul cuptorului
- 6a igheab de evacuare
- 6b gura de evacuare a zgurii
- 7 iug
- 8 amortizor de vibratii
- 9 protectie contra punerii la pamant
- 10 colivia bobinei



Schița unui cuptor electric cu inducție fără miez – cu creuzet: 1 – creuzet; 2 – inductor; 3 – baie metalică; 4 – capac; 5 – jgheab de evacuare.



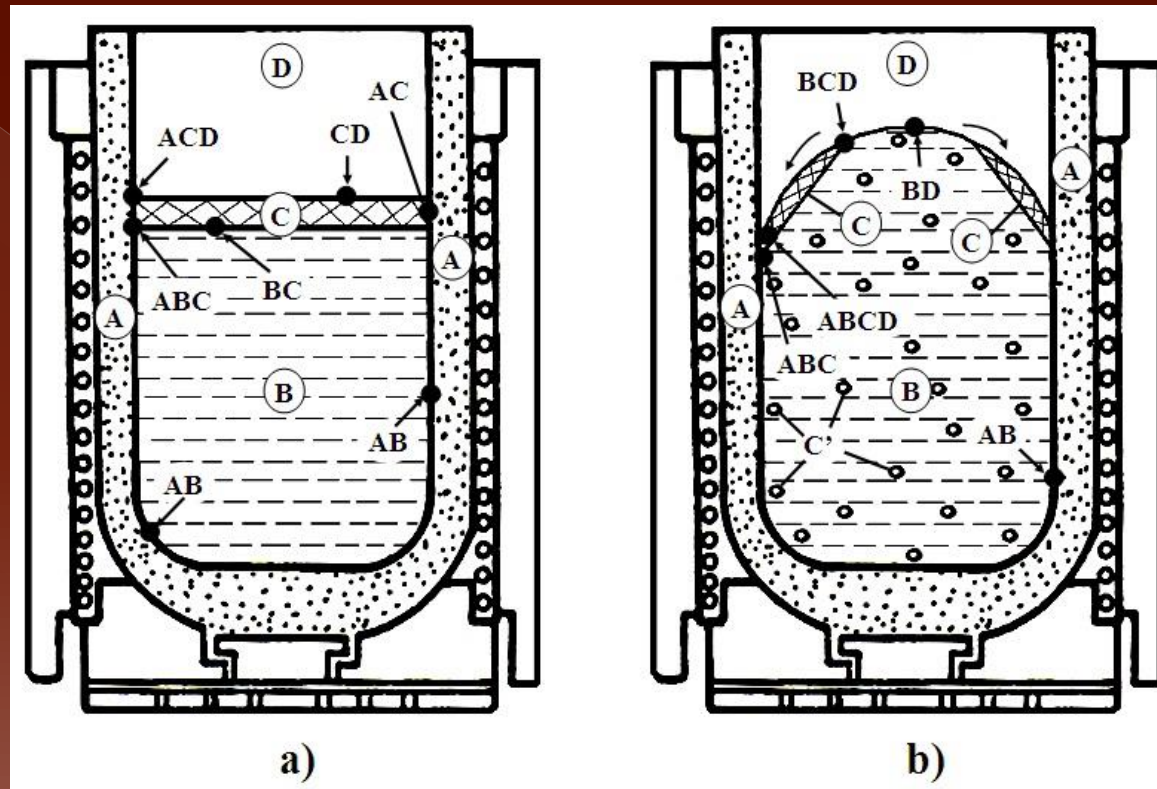
Detector scurgere

Topirea

După topirea încărcăturii formate din sorturile metalice de fontă, se adaugă în baia metalică, treptat, deșeurile de oțel, până la asimilarea totală a acestora de către baia metalică.

În timpul etapei de topire se produc mai multe tipuri de interacțiuni între cele patru faze existente - A (căptușeala refractară), B (încărcătura metalică), C (zgura) și D (atmosfera gazoasă):

- de ordinul I - A, B, C, D ;
- de ordinul II - AB, AC, AD, BC, BD, CD ;
- de ordinul III - ABC, ABD, ACD, BCD ;
- de ordinul IV - ABCD.



Schema interacțiunii între fazele CEI cu creuzet acid la frecvența rețelei: a – baie liniștită; b – baie foarte agitată (zgura este spartă și antrenată parțial în baia metalică sub formă de picături (C')).

Topirea

Interacțiunile chimice de *ordinul I* sunt de tipul următor:

– în căptușeala refractară granulară are loc interacțiunea chimică dintre cuarțită și acidul boric, anhidrida borică și Cr_2O_3 , după caz;

– în baia metalică reacțiile sunt diverse: oxidarea elementelor chimice cu afinitatea chimică față de oxigen mai mare decât cea a fierului, cu FeO, cum ar fi C, Si, Mn (22), interacțiuni între incluziunile nemetalice și C (23), interacțiunea dintre FeS și Mn (24) etc.



– în zgură, procesele chimice sunt complexe deoarece se referă la interacțiuni între oxizi de naturi chimice opuse, cu formare de compuși chimici complecși (25)



– în atmosfera gazoasă a cuptorului, prezența oxigenului liber determină arderea monooxidului de carbon (26) etc.



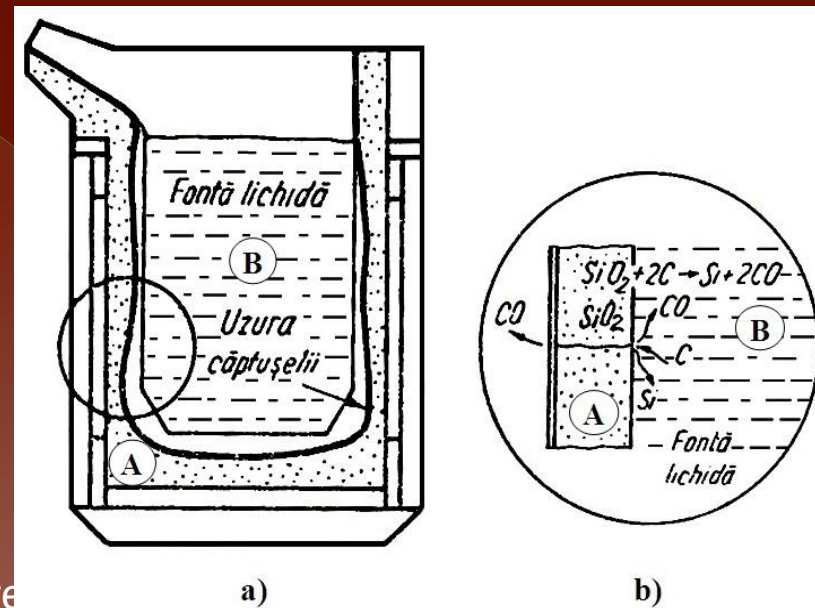
Topirea

Interacțiunile de **ordinul al II-lea** au loc la granița a două faze aflate în contact, semnificative fiind interacțiunile: căptușeală – topitură (AB), căptușeală – zgură (AC) și topitură – zgură (BC).

-*Interacțiunea între topitură și căptușeala cuptorului (AB) prezintă un interes deosebit, datorită faptului că favorizează infiltrarea fontei lichide prin căptușeală spre inductorul răcit cu apă, apărând pericolul de explozie. În figura de mai jos este prezentat aspectul uzării căptușelii ca urmare a reacției de reducere a bioxidului de siliciu din căptușeală de către carbonul din fonta lichidă.*

-*Interacțiunea zgură-căptușeală refractară granulară (AC) are mare importanță deoarece privește în mod direct afectarea grosimii căptușelii.*

Oxizii cu caracter bazic ai zgurii (MnO, CaO, MgO, FeO) reacționează cu SiO_2 din căptușeală, cu formarea de silicați greu fuzibili ce se depun pe căptușeală:



Aspectul uzării căptușelii ca urmare a reacției de reducere a bioxidului de siliciu din căptușeală de către carbonul din fonta lichidă:
a – secțiune cuptor; b – detaliu; A – perete creuzet (cuarțită); B – fontă lichidă.

Topirea

-Interacțiunea zgură-topitură (BC) este caracterizată de reacții chimice importante din punctul de vedere al compoziției chimice a băii metalice, deși zgura este apreciată că nu are activitate metalurgică mare, din cauza temperaturii mici. Prezența SiO_2 nelegat chimic în zgură în proporție mare (până la 70%) și de asemenea, a FeO și Fe_2O_3 într-o proporție apreciabilă (până la 30%) – variantele nelegate chimic – determină oxidarea unor elemente chimice din baia metalică, Me, conform unor reacții chimice de tipul (30), (31).

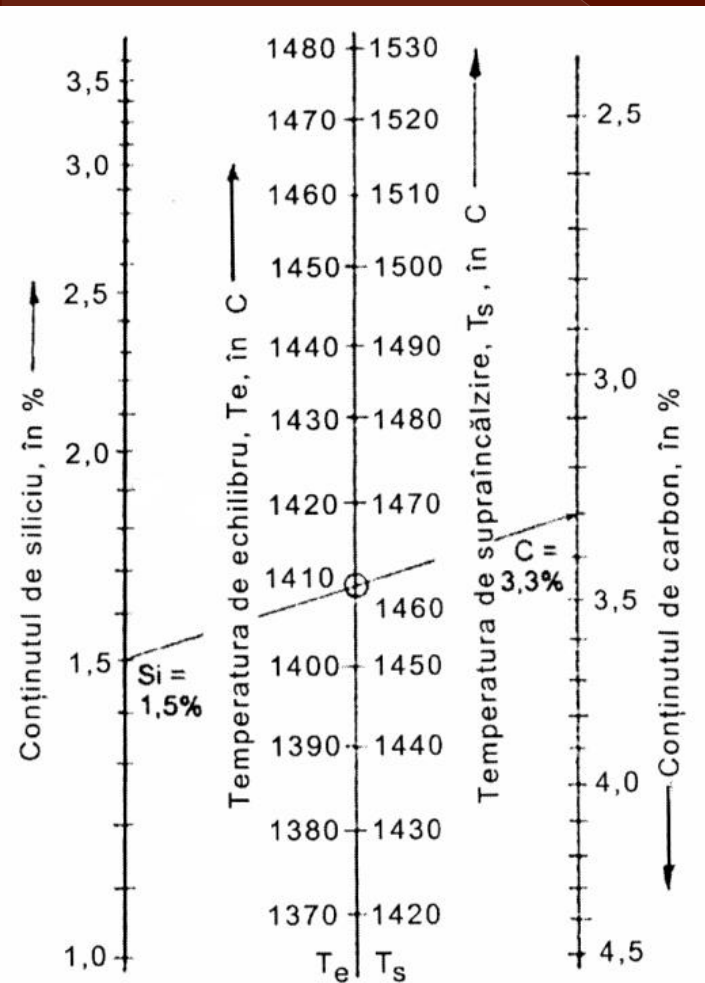
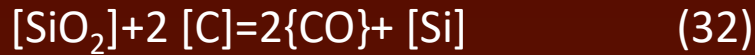


Interacțiunile de ordinul al III-lea sunt deosebit de complexe. Interacțiunea ABC, respectiv căptușeală-topitură-zgură, precum și cea de tipul ACD, și anume căptușeală-zgură-atmosferă pot avea un caracter permanent sau periodic, în funcție de poziția reciprocă a celor trei faze în contact. Interacțiunile ABD (căptușeală-topitură-atmosferă) și BCD (topitură-zgură-atmosferă) au numai un caracter periodic. Cea mai importantă interacțiune ternară este cea de tipul ABC și are ca rezultat formarea unor combinații complexe, care determină mărirea cantității de zgură sau se depun pe căptușeală.

Interacțiunea de ordinul al IV-lea (ABCD) are loc numai în cazuri izolate, când în contact ajung concomitent toate cele patru faze: căptușeală, topitură, zgură, atmosferă. Atmosfera cuptorului participă la această interacțiune prin oxigenul care este adsorbit în zgură și baia metalică.

Topirea

Pe toată durata etapei de topire, temperatura băii metalice trebuie să fie mai mică decât temperatura de echilibru, a reacției chimice:



Temperatura de echilibru se determină din nomograma prezentată în figură, prin unirea punctelor ce reprezintă conținuturile de siliciu și carbon cu o dreaptă și este dată de intersecția dreptei respective cu ordonata din mijlocul nomogramei (în exemplul dat în figură, pentru conținuturile de 1,5% Si și 3,3% C, temperatura de echilibru este de 1.410°C).

Nomogramă pentru determinarea temperaturilor de echilibru, T_e , și de supraîncălzire, T_s , ale băii metalice, în funcție de conținuturile de carbon și de siliciu din baia metalică.

Supraîncălzirea în stare lichidă

Supraîncălzirea unei fonte în stare lichidă este o etapă a fluxului tehnologic de elaborare ce succede etapa de topire a încărcăturii.

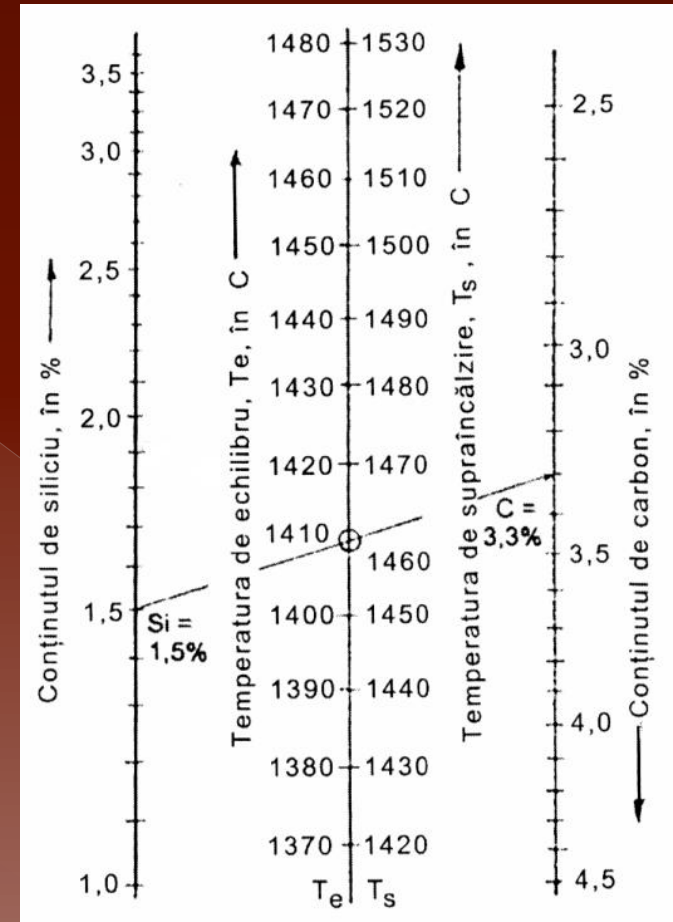
Supraîncălzirea constă în încălzirea băii metalice peste temperatura corespunzătoare liniei lichidus a aliajului respectiv, putând fi apreciată prin gradul de supraîncălzire ΔT_s , definit prin relația:

$$\Delta T_s = T_s - T_L [^\circ\text{C}], \quad (1)$$

unde T_s - temperatura de supraîncălzire,

T_L - temperatura liniei lichidus.

În cazul fontelor nealiate, T_s se determină în funcție de conținutul de C și Si al băii metalice, folosind nomograma din figura alăturată.



Nomogramă pentru determinarea temperaturilor de echilibru, T_e , și de supraîncălzire, T_s , ale băii metalice, în funcție de conținuturile de carbon și de siliciu din baia metalică.

Supraîncălzirea în stare lichidă

Alegerea gradului de supraîncălzire se face în funcție de mai mulți factori, cei mai frecvenți fiind următorii:

- tratamentul metalurgic ce va fi aplicat ulterior băii metalice (în agregatul de elaborare și în afara acestuia - modificarea fontelor pentru obținerea fontelor cu grafit nodular);
- fluiditatea fontei lichide;
- gradul de puritate al fontei propusă spre elaborare;
- compensarea pierderilor de căldură de la evacuarea din agregatul de elaborare a fontei lichide, de la manevrarea oalelor de turnare și de la turnarea în forme a aliajului lichid.

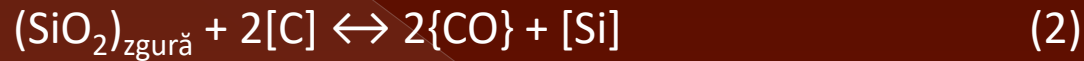
Supraîncălzirea în stare lichidă are ca scop modificarea proprietăților fontei lichide (de ex. mărirea caracteristicilor de rezistență mecanică). Această etapă a fluxului tehnologic de elaborare poate fi realizată în principal prin desfășurarea următoarelor două fenomene:

- ***Dezactivarea germenilor eterogeni*** ce influențează necontrolat structura metalografică la solidificarea fontei. Germeții eterogeni sunt reprezentați de particule solide de tipul oxizilor, suflurilor, nitrurilor, compușilor chimici complecși sau de tipul grafitului. Aceștia sunt dezactivați prin dizolvarea parțială a acestor particule sau de separarea acestora în zgură.
- Obținerea unei fontei lichide cu o structură din care să solidifice, în urma transformării eutectice, un număr mare de celule eutectice cu grafitul fin și uniform repartizat în matricea metalică.

În funcție de agregatul de elaborare, supraîncălzirea în stare lichidă se realizează diferit.

Supraîncălzirea în stare lichidă

Supraîncălzirea în CEI se realizează cu un randament termic net superior celui obținut în cazul cubiloului, variind între limitele 60-70%. După atingerea T_s se realizează o menținere pentru omogenizare cu o durată cuprinsă între 15...30 min, timp în care se desfășoară o serie de reacții chimice care determină micșorarea conținutului de carbon din baia metalică:



Un timp de menținere prea îndelungat poate duce la mărirea tendinței de albire a fontei. Răcirea băii metalice după supraîncălzire se realizează la o temperatură optimă cu 50°C sub temperatura de echilibru.

Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

1. Dezoxidarea

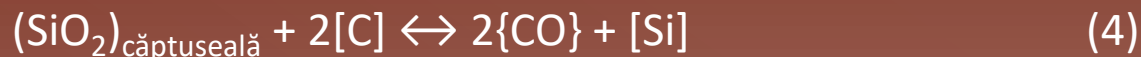
Dezoxidarea este etapa fluxului tehnologic de elaborare a fontelor care constă în scăderea conținutului de oxigen din fonta lichidă. Realizarea acestei etape se impune atunci când se folosește o încărcătură metalică excesiv de ruginită, care determină o neutralizare a materialelor reducătoare din încărcătură.

Prezența oxigenului în exces în fonta lichidă are consecințe negative, dintre care pot fi menționate următoarele:

- creșterea coeficientului de contracție la solidificare;
- obținerea de piese cu defecte de turnare numeroase, de tipul retasurilor de dimensiuni mari, fisurilor, porozității accentuate, suflurilor cu pereți oxidați etc;
- diminuarea fluidității în mod accentuat o dată cu micșorarea temperaturii fontei lichide.

Dezoxidarea fontei se poate realiza prin următoarele două moduri:

- supraîncălzirea fontei în stare lichidă la o temperatură mai mare decât temperatura de echilibru a reacțiilor chimice:



- introducerea în fonta lichidă de materiale reducătoare

Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

2. Carburarea

Materialul de carburare se introduce la suprafața bii metalice deoarece afinitatea de absorbție a fierului pentru carbon se micșorează pe măsură ce concentrația de carbon a încărcăturii metalice se mărește.

Odată introdus materialul de carburare la suprafața băii metalice, procesul de carburare suportă trei etape: ruperea de macroparticule din materialul de carburare, descompunerea macroparticulelor și trecerea carbonului în soluție, prin difuzie.

Randamentul de asimilare a carbonului în baia metalică depinde de :

- a. **structura materialului de carburare** (dacă materialul de carburare are o structură amorfă, energia de asimilare a carbonului de către fierul lichid este mai mare decât în cazul în care materialul de carburare este cristalin);
- b. **conținutul de cenușă**: cu cât conținutul de cenușă al materialului de carburare este mai mare, cu atât randamentul de asimilare a carbonului de către baia metalică este mai mic;
- c. **porozitatea**: mărirea porozității mărește și suprafața de contact a materialului de carburare cu oxigenul din atmosfera gazoasă a cuptorului, în felul acesta mărindu-se pierderile de material;
- d. **mărimea granulației**: cu cât mărimea granulației materialului de carburare este mai mică, cu atât se măresc pierderile prin oxidare. În practică se utilizează materiale de carburare cu mărimea granulației cuprinsă în intervalul 2...30 mm ;
- e. **umiditatea**;

Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

2. Carburarea

Randamentul de asimilare a carbonului în baia metalică depinde de :

f. sulful: S-a constatat că materialele de carburare ce conțin sulf în cantitate mică (de exemplu, 0,2%), asigură și viteza cea mai mare de difuzie a carbonului în baia metalică. Se impune ca materialele de carburare să aibă maximum 1% sulf ;

g. substanțele volatile trebuie să fie limitate în materialele de carburare la maximum 1%;

h. temperatura. Deoarece carburare este un proces endoterm, se impune ca temperatura băii metalice să fie cât mai mare. Se recomandă ca temperatura băii metalice în vederea carburării să fie minimum 1 450°C ;

i.gradul de agitare electromagnetică. Cu cât gradul de agitare electromagnetică a băii metalice este mai mare cu atât este mare suprafața de contact dintre materialul de carburare și fonta lichidă, durata de carburare micșorându-se iar randamentul de asimilare mărindu-se;

î. compoziția chimică a băii metalice. Elemente chimice din fonta lichidă, însoțitoare ale fierului și carbonului, precum Co, Ni, Cu, Sn, Sb, Al, S, Si, P etc. micșorează solubilitatea carbonului în fierul lichid, în ordinea enumerată, în timp ce elemente chimice precum Mo, Mn, Cr, V etc. măresc solubilitatea carbonului în fierul lichid, de asemenea, în ordinea enumerată;

j. momentul introducerii în cuptor a materialelor de carburare;

k. durata de carburare: cu cât durata de contact dintre baia metalică și materialul de carburare este mai mare cu atât cantitatea de carbon ce se asimilează în baia metalică este mai mare;

l. natura materialului de carburare.

Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă2. Carburarea

Dintre materialele de carburare uzuale cele mai utilizate sunt grafitul sintetic din care se fabrică electrozii de grafit utilizați la cuptoarele electrice cu încălzire prin arc electric, cocsul de petrol calcinat la temperaturi cuprinse între limitele 1 100...1 400°C (prin calcinare, se micșorează conținuturile de sulf și volatile), cocsul de lignit calcinat la temperatura de 800°C etc.

Foarte eficientă pentru carburare este carbura de siliciu sub formă de deșeuri.

Conținuturile de umiditate, volatile și cenușă pentru câteva materiale de carburare

Nr. crt.	Materialul de carburare	Umiditatea, în %	Volatilele, în %	Cenușa, în %
1.	Grafit de electrozi B	0,05	0,60	0,60
2.	Grafit de electrozi A	—	0,70	0,60
3.	Grafit special A	0,02	0,90	0,60
4.	Cocs de gaz	1,40	33,50	1,20
5.	Cocs de petrol	1,70	5,90	5,50
6.	Antracit	1,60	2,15	1,20
7.	Grafit special B	0,03	0,50	1,30
8.	Cocs D	0,35	1,90	9,40
9.	Cocs C	1,00	1,00	7,00
10.	Cocs B	0,60	0,62	6,20
11.	Cocs E	2,56	0,30	12,80
12.	Cocs A	0,05	0,60	5,50

Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

3. Decarburarea

B. În alte agregate de elaborare

➤ Decarburarea fontei prin oxidare

Oxigenul se insuflă prin intermediul lăncilor răcite cu apă, accesul lăncilor în cuptor făcându-se prin boltă, iar al țevilor de oțel cu conținut mic de carbon nerăcite cu apă, accesul țevilor în cuptor făcându-se prin ușa de lucru – figura 8/F5.

În cazul în care se utilizează lănci răcite cu apă, acestea pătrund perpendicular pe suprafața băii metalice (6), prin bolta (1), capul lăncii (2) imersându-se în zgura (4) sau menținându-se la o distanță de 70...100 mm de aceasta. Se apreciază că participarea vetrei (8) și a masei de ajustare (7) nu participă la procesul de decarburare. Capul lăncii se execută din cupru și se assemblează cu țeava de oțel ce, de fapt, se imersează cu capătul liber în zgură, de exemplu.

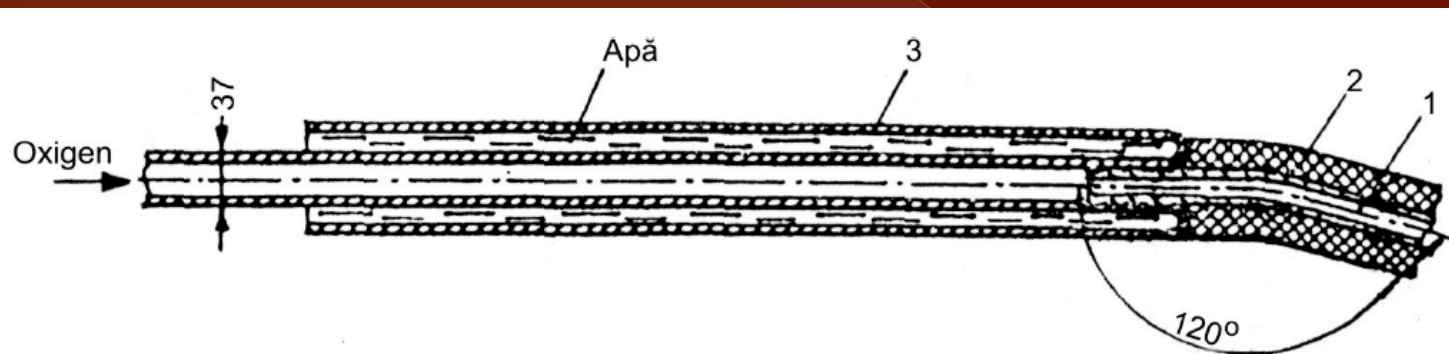


Figura 8/F5. Exemplu de schiță de țeavă de oțel utilizată la insuflarea oxigenului prin ușa de lucru: 1 – țeavă de oțel cu conținut mic de carbon; 2 – cătușeală refractară; 3 – țeavă suport răcită cu apă.

Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

3. Decarburarea

B. În alte agregate de elaborare

➤ Decarburarea fontei prin diluare

Decarburarea fontei lichide prin diluare se realizează prin introducerea în aceasta de materiale metalice ce au un conținut de carbon cu mult mai mic decât fonta propusă să fie decarburată. În același timp se impune ca materialul metalic respectiv să nu impună ulterior alte operații de corectare a compoziției chimice și să nu cauzeze impurificarea fontei cu sulf, fosfor, gaze etc.

Diluarea fontei lichide în carbon se realizează cu oțel ce are conținutul de carbon mult mai mic decât fonta lichidă iar impuritățile, alături de siliciu și mangan sunt, de asemenea, în proporții mai mici decât fonta propusă a fi diluată în carbon.

De regulă, rezolvarea sistemului (12) conduce la cantitatea de material metalic diluant necesar.

$$\begin{cases} \frac{\%C_{F.I.}}{100} \cdot \%x + \frac{\%C_D}{100} \cdot \%y = \%C_{F.F.} \\ \%x + \%y = 100 \end{cases} \quad (12)$$

în care %C_{F.I.} reprezintă proporția de carbon din fonta lichidă inițială ; %x – proporția de fontă lichidă inițială ; %C_D – proporția de carbon din diluant, ; %y – proporția de material metalic diluant ; %C_{F.F.} – proporția de carbon din fonta lichidă finală (după diluare).

Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

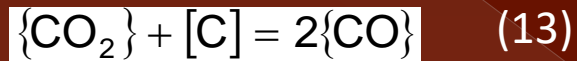
3. Decarburarea

C. În afara agregatului de elaborare

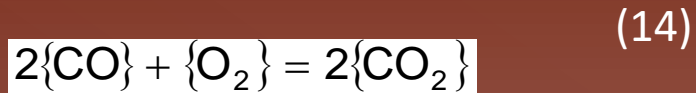
Operația de decarburare este impusă în cazul în care nu este posibilă micșorarea conținutului de carbon prin diluare cu deșeuri de oțel, de exemplu. Este cazul, de regulă, al decarburării fontei elaborate în cubilou.

Decarburarea se realizează prin insuflarea unui curent de CO₂, de exemplu, cu un debit de 16 kg/min, ceea ce corespunde unui consum de 0,85 kg CO₂/t de fontă, prin intermediul unei lănci ce pătrunde în incinta oalei printr-un orificiu aflat în capacul căptușit refractar ce acoperă oala de turnare.

Decarburarea fontei are la bază reacția chimică Bell-Boudouard (13).



Reacția chimică Bell-Boudouard este puternic endotermă, motiv pentru care se insuflă la suprafața băii metalice un curent de oxigen sau de aer, oxigenul respectiv determinând reacția chimică de terminare a arderii (14), reacție chimică ce este exotermă și astfel se combate micșorarea semnificativă a temperaturii băii metalice în timpul tratamentului.



Procesul de decarburare poate fi combinat și cu procesul de desulfurare dacă printr-o altă lance se insuflă în baia metalică și un agent desulfurant – de exemplu, var sub formă de pudră (baia metalică este agitată puternic de către bioxidul de carbon).

Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

4. Desulfurarea

Sulful se află în fonta lichidă nealiată sub formă de FeS sau (FeMn)S.

În fonte, conținutul de sulf variază în general între limitele 0,005 – 0,18%, prezența lui având, în principal, implicații negative:

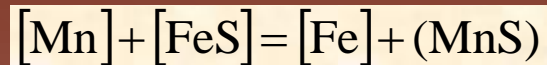
- favorizează apariția de zone de fontă albă în piese, mai ales în cazul vitezelor de răcire mari – înrăutățește prelucrabilitatea mecanică a pieselor;
- micșorează rezistența la șoc termic;
- micșorează caracteristicile mecanice de rezistență;
- determină durificarea inversă: piesele au duritate mai mare în zona centrală a pereților și duritate mai mică la periferie.

Desulfurarea are la bază interacțiunea chimică dintre faza metalică lichidă și elemente chimice ce au afinitatea chimică față de sulf mai mare decât fierul.

Condiții de desfășurare a procesului de desulfurare:

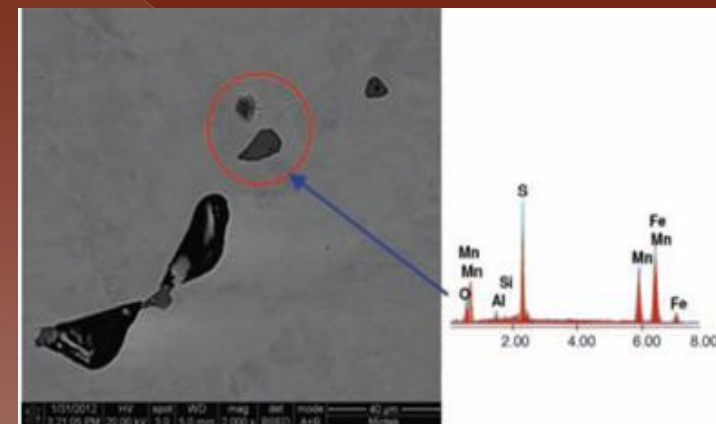
- în baia metalică să se introducă materiale ce conțin elemente chimice desulfurante,
- materialele desulfurante introduse trebuie să conțină acele elemente chimice care să formeze sulfuri, respectând condiția următoare: $(\Delta G_{MeS}^0 < \Delta G_{FeS}^0)$,
- produșii de reacție să nu se dizolve în baia metalică.

Desulfurarea cu Mn:



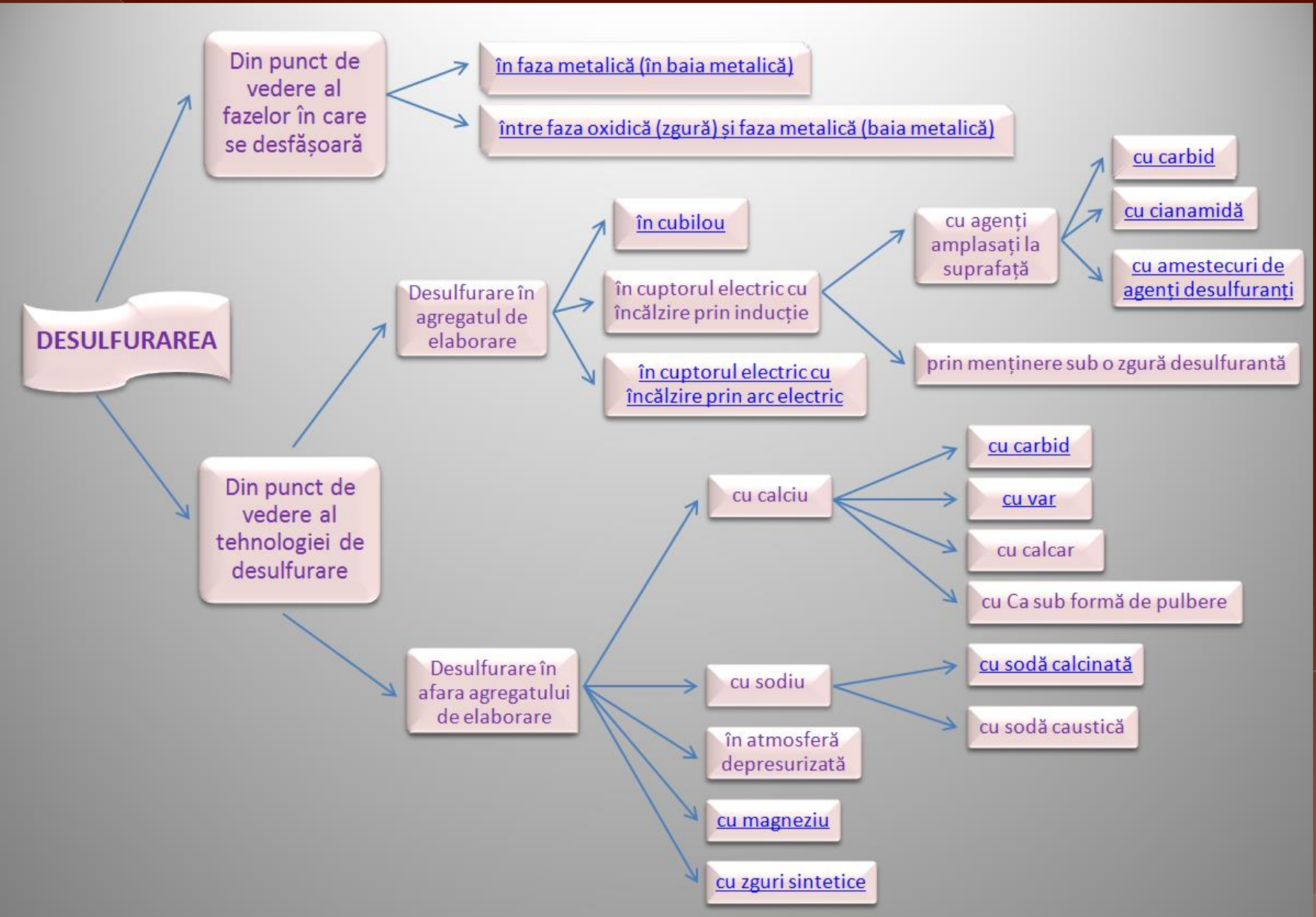
Conținutul minim de Mn necesar:

- pentru fonta cenușie: $\%Mn_{\min} = \%S \cdot 1,7 + (0,2 \dots 0,3)$,
- pentru fonta maleabilă: $\%Mn_{\min} = \%S \cdot 2 + (0,1 \dots 0,2)$,



Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

4. Desulfurarea

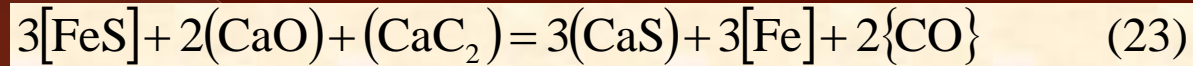
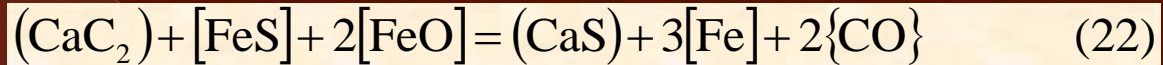


Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

4. Desulfurarea în cuptorul cu inducție – cu agenți amplasați la suprafața băii metalice - desulfurarea cu carbid

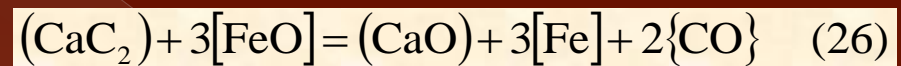
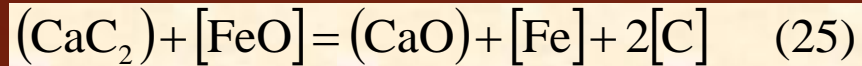
Cel mai utilizat material desulfurant este carbidul, în varianta de compoziție eutectică (85% CaC₂, 15% CaO), a cărui greutate specifică este de 2,27g/cm³.

Procesul de desulfurare se desfășoară conform reacțiilor:



Recomandări:

baia metalică trebuie dezoxidată și curățată de zgură:



cantitatea de carbid utilizată depinde de: mărimea granulației (0,5...3 mm), cantitatea de sulf propusă a fi eliminată, temperatura băii metalice, gradul de agitare a băii metalice, cantitatea de fontă lichidă, compoziția chimică a fontei lichide/carbidului

durata de desulfurare variază în intervalul 3...10 min, o durată prea mare ducând la resulfurarea băii, conform reacției:



T_{introducere carbid} = 1300...1350°C și T_{final desulfurare} = 1420...1450°C

menținerea temperaturii în valorile recomandate, pentru a evita sinterizarea carbidului și intensificarea interacțiunii dintre (CaO) și SiO₂ din cătușeală.

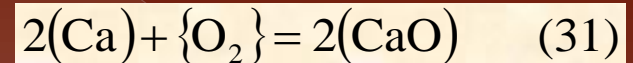
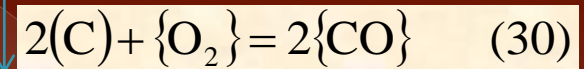
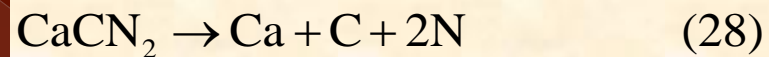
Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

4. Desulfurarea în cuptorul cu inducție – cu agenți amplasați la suprafața băii metalice - desulfurarea cu cianamidă de calciu industrială (CaCN₂)

Varianta de CaCN₂ utilizată în practică are următoarea compoziție chimică:

Formula chimică	Compoziția chimică, în %					
	CaCN ₂	CaC ₂	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	C
CaCN ₂	55...62	0,20...0,60	20...25	2...4	2...6	11...12

La temperatura de 1400°C se produce reacția de disociere:



Desulfurarea cu amestecuri de agenți desulfuranți

În practică se utilizează amestecul format din cianamidă și alte substanțe, de exemplu:

74...77% CaCN₂, 18...20% Na₂SiO₃, 5...6% CaF₂

Acest amestec se utilizează în cantitate de 0,8...1 kg/100 kg fontă lichidă, în condiții de agitare intensă a băii metalice și de menținere în această stare timp de 25...30 min.

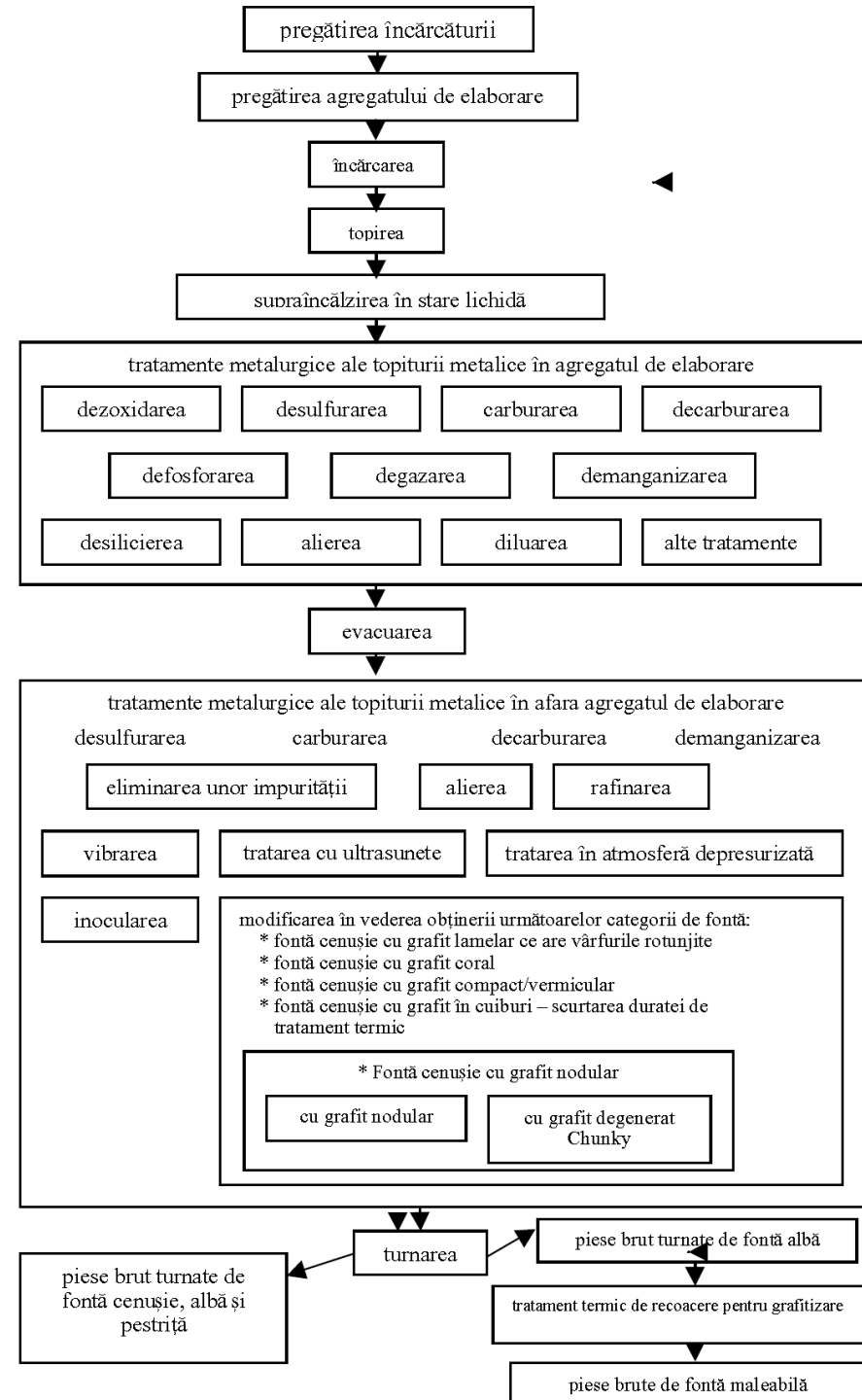
BAZELE ELABORĂRII ALIAJELOR FERROASE

PARTEA 3.3

CUPRINS

1. Introducere. Istoricul procesării unei încărcături metalice și nemetalice feroase în vederea obținerii fontei și oțelului
2. Schema logică a unui flux de elaborare a unui aliaj feros.
3. Fonte.
 - 3.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.
 - 3.1.1. Fonte cenușii cu grafit lamelar nemodificate.
 - 3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare.
 - 3.1.3. Fonte aliate.
 - 3.2. Elaborarea fontelor.
 - 3.2.1. Tehnologia de elaborare a fontelor în cubilou.
 - 3.2.2. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.
 - 3.2.3. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu arc.
4. Oțeluri.
 - 4.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.
 - 4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: oțeluri pentru construcții și structuri sudate; oțeluri pentru construcții mecanice; oțeluri inoxidabile și refractare;
 - 4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;
 - 4.2. Elaborarea oțelurilor
 - 4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc.
 - 4.2.2. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.
 - 4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizor.

3.2. Elaborarea fontelor.



Schema bloc a fluxului tehnologic general de elaborare a unei fonte

Agregate de elaborare

Cuptorul cu încălzire electrică cu arc (CEA)

Cuptoarele electrice cu arc sunt specifice elaborării oțelului dar pot fi întâlnite și în turnătoriile de fontă mai des în cazurile în care este necesară o prelucrare avansată sub zgură a topiturii metalice, datorită calității slabe a încărcăturii metalice (proveniență necunoscută, conținut ridicat de impurități, dimensiuni mari ale componentelor metalice care necesită pregătire laborioasă pentru a fi topite în alte agregate etc.), necesității obținerii unor conținuturi foarte scăzute de S și mai ales de P în fonta elaborată etc.

Cuptorul cu arc electric este format dintr-o vatră (12), o cuvă (9), o boltă (4), o ușă de lucru (6) și un orificiu de evacuare (3). Vatra dispune și de o masă refractară de ajustare (1). Pentru evitarea pierderilor de căldură ușa de lucru este prevăzută cu o ușă de vizitare (14).

La scară industrială întotdeauna în cuptor, după etapa de topire, va rezulta o baie metalică (2) iar la suprafața ei un strat de zgură (13).

Cuptorul se basculează înspre în față – jgheab de evacuare (11) – sau înspre în spate – ușa de lucru – prin acționare de către un sistem hidraulic (de exemplu) de basculare (7) și prin intermediul unor role de basculare (8).

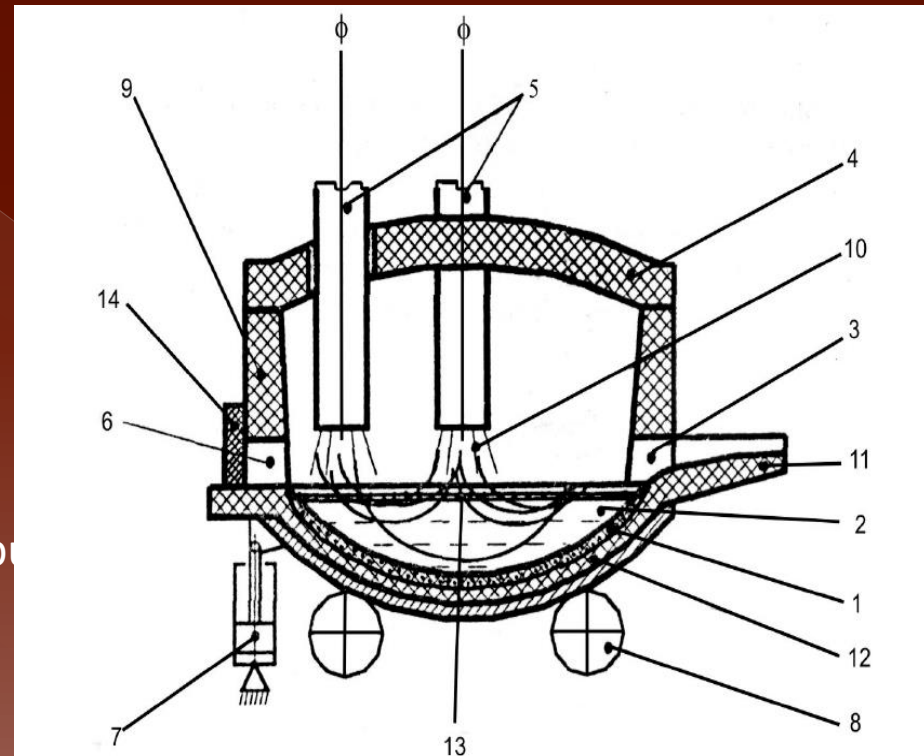


Figura 2/F5. Schema de principiu a unui cuptor electric trifazat. 1 – masă refractară granulară de ajustare; 2 – baie metalică; 3 – orificiu de evacuare; 4 – boltă; 5 – electrozi; 6 – ușă de lucru; 7 – sistem hidraulic de basculare; 8 – role de basculare; 9 – cuvă; 10 – arc electric; 11 – jgheab de evacuare; 12 – vatră; 13 – zgură; 14 – ușă de vizitare.

Agregate de elaborare

Cuptorul cu încălzire electrică cu arc (CEA)

Încălzirea, topirea și supraîncălzirea încărcăturii metalice se realizează, în cea mai mare parte, de către căldura celor trei arce electrice (10) ce reprezintă o descărcare electrică autonomă între electrozi (5) (de grafit de regulă) – dispuși la 120 de grade în jurul axei de simetrie longitudinală a cuvei – și încărcătura metalică. Deoarece curentul electric este alternativ, electrozii și încărcătura metalică își schimbă polaritatea, devenind alternativ catod și anod. Atunci când devin catod, fie electrozii, fie încărcătura metalică, emit electroni ce produc ionizarea continuă a gazelor sau vaporilor metalici. În urma ciocnirii electronilor cu gazele, energia cinetică a electronilor se transformă în căldură, temperatura arcului electric fiind, de exemplu, de 3.300°C (temperatura electrozilor ajunge în intervalul 3.000...5.000 K).

Cuptorul electric este dotat și cu un transformator, celule de înaltă tensiune, bare secundare ale transformatorului, cabluri flexibile, coloane de deplasare a electrozilor, bare ale portelectrozilor, portelectrozi și suporți de prindere a electrozilor, etc.

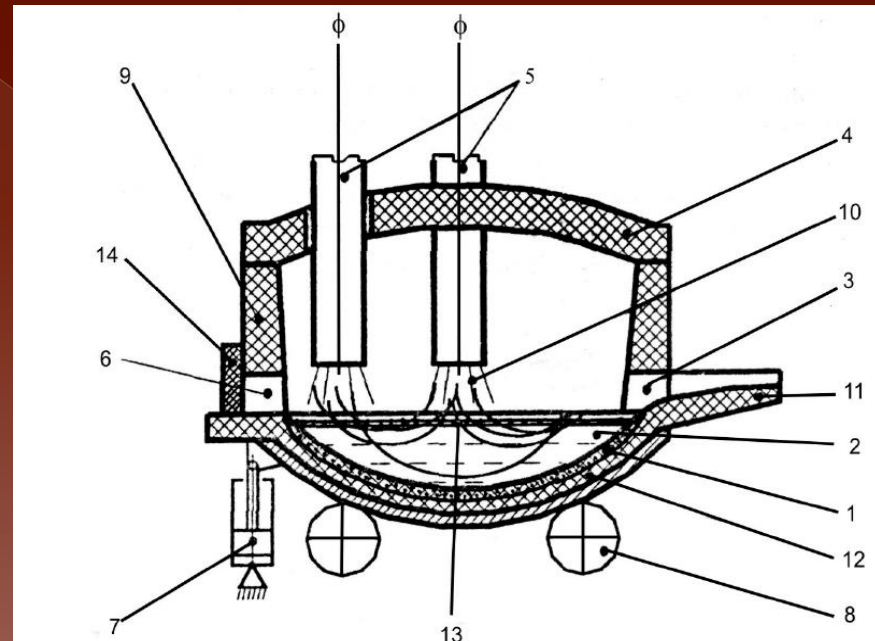


Figura 2/F5. Schema de principiu a unui cuptor electric trifazat. 1 – masă refractară granulară de ajustare; 2 – baie metalică; 3 – orificiu de evacuare; 4 – boltă; 5 – electrozi; 6 – ușă de lucru; 7 – sistem hidraulic de basculare; 8 – role de basculare; 9 – cuvă; 10 – arc electric; 11 – jgheab de evacuare; 12 – vatră; 13 – zgură; 14 – ușă de vizitare.

Pregătirea încărcăturii

Prin încărcătură se înțelege totalitatea componentelor ce se introduc în agregatele de elaborare în vederea obținerii fontei propuse.

În funcție de natura agregatului de elaborare, încărcătura poate fi metalică și metalică împreună cu nemetalică.

Încărcătura metalică poate fi constituită, în diverse proporții (de la 0% la 100%) din următoarele sorturi metalice: fontă brută, fontă de înaltă puritate, feroaliaje, prealiaje brute de aliere, metale rafinate de aliere, fontă veche, oțel vechi, deșeuri de oțel, deșeuri de fontă, burete de fier, șpan etc.

Calitatea încărcăturii este un factor foarte important pentru bunul mers al întregului proces de elaborare. Din acest motiv, în vederea încărcării, sorturile metalice necesită o pregătire prealabilă din punct de vedere calitativ.

Atât fonta veche, deșeurile de oțel cât și celelalte sorturi pot fi impurificate din mai multe cauze:

- depozitarea în condiții necorespunzătoare și de lungă durată (impurificare cu pământ, zgură și rugină);
- dezmembrarea incompletă sau neîngrijită a utilajelor/instalațiilor casate (impurificare cu beton, zidărie, metale neferoase, uleiuri, emulsii etc.);
- sortarea neatentă (impurificare cu deșeuri de oțel aliat sau cu acoperiri metalice și nemetalice – piesele emailate conțin bor și plumb, lagărele conțin arseniu, stibiu și plumb, impurificare cu vopsea, etc.)

Din punctul de vedere al mărimii bucăților, încărcătura metalică se pregătește diferit, în funcție de natura agregatului de elaborare.

Pregătirea încărcăturii

Pregătirea calitativă – cuptor electric cu încălzire prin arc electric

La alcătuirea încărcăturii trebuie să se țină seama de trei categorii de dimensiuni, acestea fiind următoarele:

- dimensiuni mici, ce sunt până la 100x100x100 mm, corespunzând grupei de masă 2...7 kg/buc (aceste sorturi se mai numesc ușoare sau mărunte);
- dimensiuni medii, ce variază de la 100x100x100 mm până la 250x250x200 mm, corespunzând grupei de masă de la 8 kg/buc la 40 kg/buc (aceste sorturi se mai numesc mijlocii);
- dimensiuni mari, ce variază de la 250x250x200 mm până la 600x350x250 mm, corespunzând grupei de masă de la 40 kg/buc până la o masă egală cu a cincizecea parte din masa de încărcătură metalică, (aceste sorturi se mai numesc grele sau mari).

Variante de încărcătură metalică, sub aspectul dimensiunilor, pentru diferite capacități ale cuptorului electric cu arc electric

Capacitatea cuptorului, t	Sorturi grele (mari), %	Sorturi mijlocii, %	Sorturi ușoare, %
1,5...5,0	20...30	30...40	30...35
6,0...10,0	25...35	30...40	25...30
12,0...15,0	30...40	25...40	20...25
20,0...40,0	40...50	25...35	15...20

Pregătirea încărcăturii

1. Pregătirea calitativă – cuptor electric cu încălzire prin arc electric

Piese de oțel vechi și deșeurile de oțel se pregătesc sub aspect dimensional prin tăiere cu flacăra oxiacetilenică (bucățile de dimensiuni mari), cu foarfece tip ghilotină acționat hidraulic sau tip aligator și prin balotare (șpanul).

Piese din fontă veche se pregătesc sub aspect dimensional prin mijloace mecanice (sonete cu bilă de 1...2 tone și înălțimea de cădere de 5...8m, zdrobitoare cu bile de 10...20 tone și înălțimea de cădere de 15...25 m etc.) și pirotehnice (spargerea prin explozie în câmp deschis, între dealuri, în gropi protejate, în mediu lichid etc.).

Pregătirea încărcăturii metalice sub aspect dimensional se poate aborda și prin greutatea specifică în vrac, existând următoarele trei grupe de greutate specifică:

- sorturi grele cu greutatea specifică mai mare de $1\,700\text{ kg/m}^3$;
- sorturi mijlocii sau normale cu greutatea specifică cuprinsă în intervalul $1\,300\text{...}1\,700\text{ kg/m}^3$;
- sorturi ușoare cu greutatea specifică cuprinsă în intervalul $800\text{...}1\,300\text{ kg/m}^3$.

La cuptoarele electrice căptușite cu acid se recomandă ca încărcătura metalică să aibă un conținut de sulf și fosfor mic deoarece operațiile de desulfurare și defosforare ale băii metalice trebuie făcute cu materiale de natură chimică bazică și ar genera distrugerea căptușelii acide.

Pregătirea agregatului de elaborare

Pregătirea cuptorului cu arc electric în vederea elaborării constă în operația de ajustare.

Ajustarea constă în operația de reparare – refacere – a căptușelii refractare granulare și se realizează imediat după evacuarea băii metalice din cuptor.

În practică se utilizează, de exemplu, următoarele mase refractare granulare.

- 96% cuarțită și 4% argilă, la care se adaugă 3...5% silicat de sodiu și 3...5% apă caldă;
- 85% cuarțită și 15% bentonită, la care se adaugă 3...5% silicat de sodiu și 3...5% apă caldă;
- 97% nisip cuarțos cu mărimea granulației de maximum 1,5 mm, 2,5% silicat de sodiu și 0,5% apă etc.

Dacă ajustarea se efectuează imediat după evacuarea fontei lichide din cuptor, se realizează următoarele avantaje:

- se scurtează durata de elaborare deoarece fritarea – sinterizarea – (transformarea masei granulare într-un “monobloc”, într-un “monolit”, adică realizarea sudării granulelor între ele) se realizează și cu căldura rămasă în cuptor de la elaborarea precedentă (fritarea se finalizează în timpul etapei de topire);
- se mărește durabilitatea căptușelii;
- se micșorează conținutul de incluziuni nemetalice exogene din fontă;
- se micșorează cantitatea de masă de ajustare ce trece în zgură etc.

Ajustarea trebuie să se realizeze într-o perioadă minimă deoarece reprezintă o perioadă ce micșorează productivitatea cuptorului.

Înainte de ajustare, se elimină din cuptor resturile de fontă și zgură.

Ajustarea constă în repararea căptușelii refractare granulare, mai întâi în planul zgurii, apoi al zonelor înclinate ale vetrei și, în final, fundul vetrei. O dată cu ajustarea se repară și pragul ușii de lucru – se reface – și, de asemenea, jgheabul de evacuare iar, în final, se obturează orificiul de evacuare – se înfundă.

În cazul în care în căptușeala vetrei există adâncituri mari, ajustarea se realizează în straturi, fiecare strat sinterizându-se prin coborârea electrozilor incandescenți în apropierea vetrei – grosimea unui strat de ajustare este de circa 50 mm.

Încărcarea

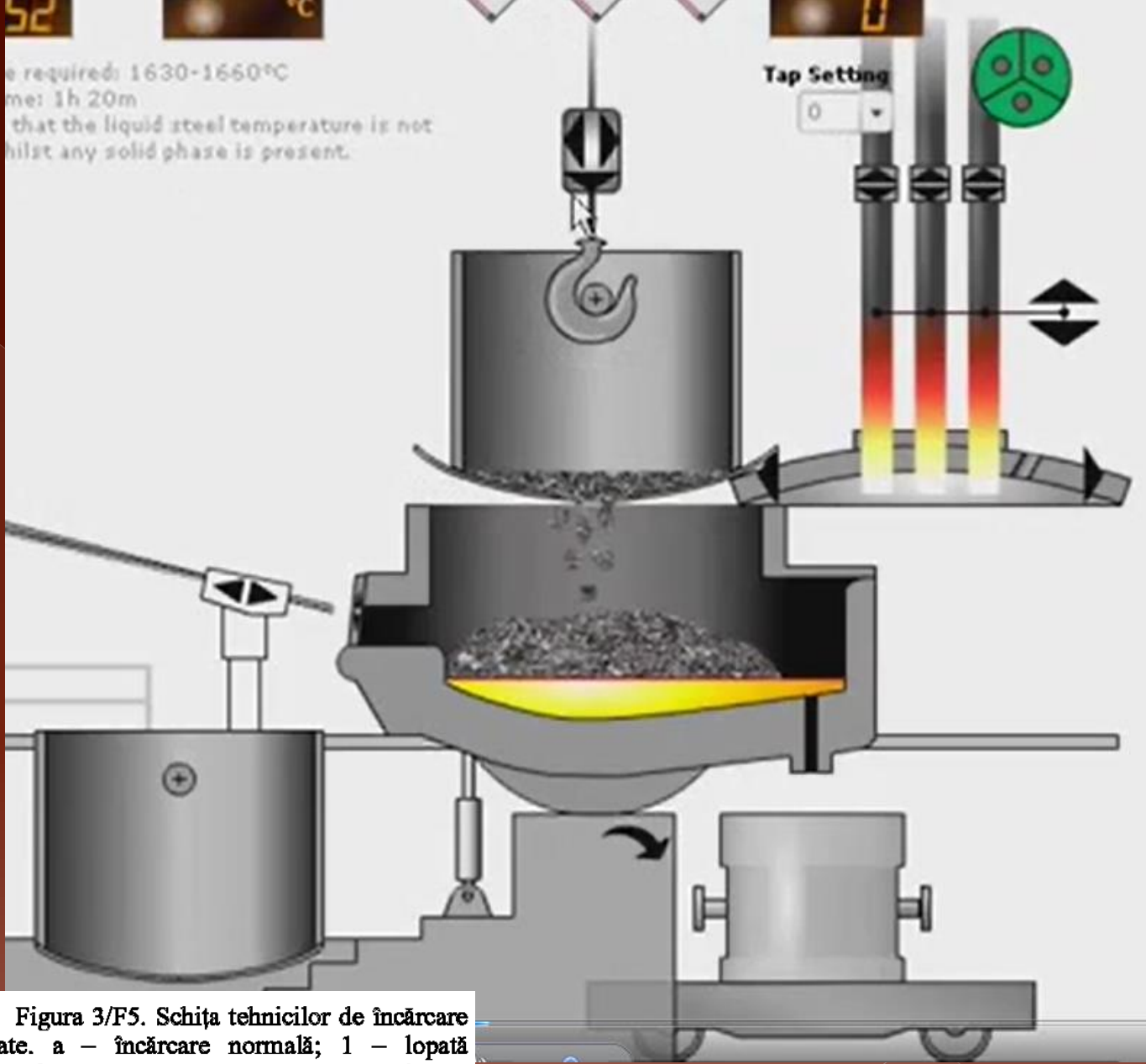
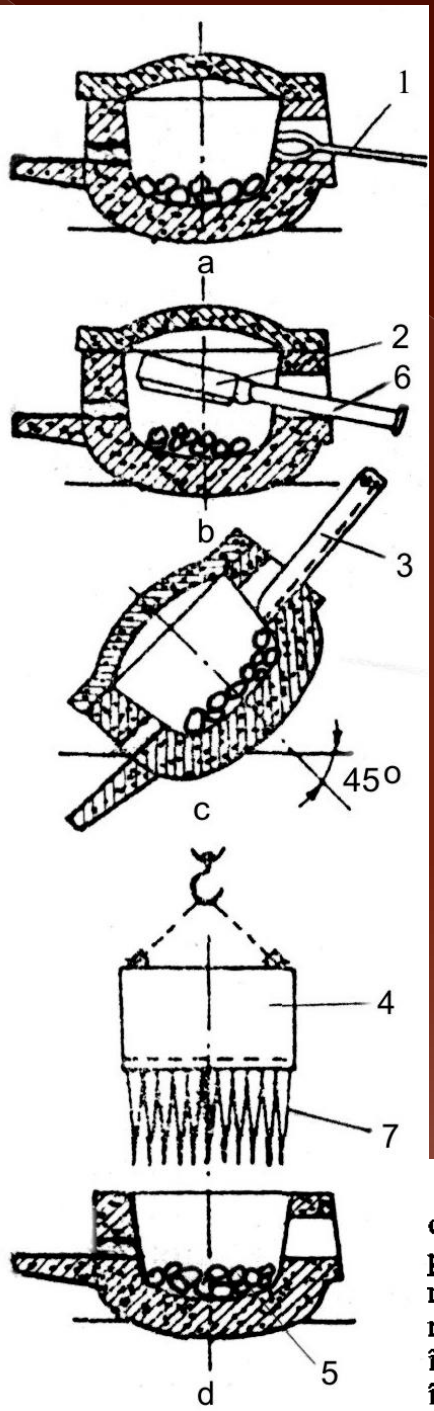
Cuptorul electric cu încălzire prin arc electric

Pentru cuptoarele de capacitate mică, încărcarea se face manual, însă pentru majoritatea cuptoarelor utilizate la scară industrială, încărcarea se face în mod mecanizat:

-prin ușa cuptorului (cu jgheaburi metalice transportate și acționate de către podul rulant)
-pe la partea superioară a cuvei (după ce cuva cuptorului a fost descoperită fie prin rabatarea în plan orizontal a bolții împreună cu electrozii, fie prin deplasarea cuvei cuptorului, pe șine, până la baza de șarjare).

Bena este un utilaj sub formă de coș executat din tablă de oțel și prevăzut la partea inferioară cu un fund format din două jumătăți mobile ce se închid și se deschid prin acționare din podul rulant.

În toate cazurile de încărcare se recomandă ca încărcarea să se efectueze cu viteză maximă, pentru ca pierderile de căldură din cuptor să fie minime (nu se recomandă ca încărcarea cuptorului, să se facă, de exemplu, cu podul rulant prevăzut cu electromagnet de încărcare, deoarece încărcarea durează prea mult timp, astfel cuptorul răcindu-se și mărindu-se costul fontei elaborate).



Temperature required: 1630-1660°C
 Time: 1h 20m
 Note: that the liquid steel temperature is not
 whilst any solid phase is present.

Figura 3/F5. Schița tehnicilor de încărcare consacrate. a – încărcare normală; 1 – lopată profilată; b – încărcare cu troacă acționată mecanizat; 2 – jgheab metalic; 6 – braț de manevrare; c – încărcare cu jgheab metalic; d – încărcare cu benă/coș; 4 – benă; 7 – lanțuri; 5 – încărcătură.



Topirea

În vederea începerii topirii se coboară electrozii în apropierea încărcăturii și se conectează, apoi, cuptorul la rețeaua electrică. În cazul în care arcul electric este stabil, se lucrează cu tensiune mijlocie și în regim de reglare automată a electrozilor, urmând ca pe măsură ce topirea avansează tensiunea să se mărească.

Se disting patru etape în ceea ce privește poziția unui electrod față de încărcătură:

– **etapa I.** Arcul electric (10) este descoperit, se află deasupra încărcăturii (7) și radiază căldură, în mare măsură, către bolta (1) și peretele cuvei (8), ceea ce înseamnă suprasolicitarea termică a acestora și micșorarea randamentului termic în timpul topirii. Se recomandă ca în această etapă să se lucreze cu o tensiune egală cu 80% din tensiunea maximă;

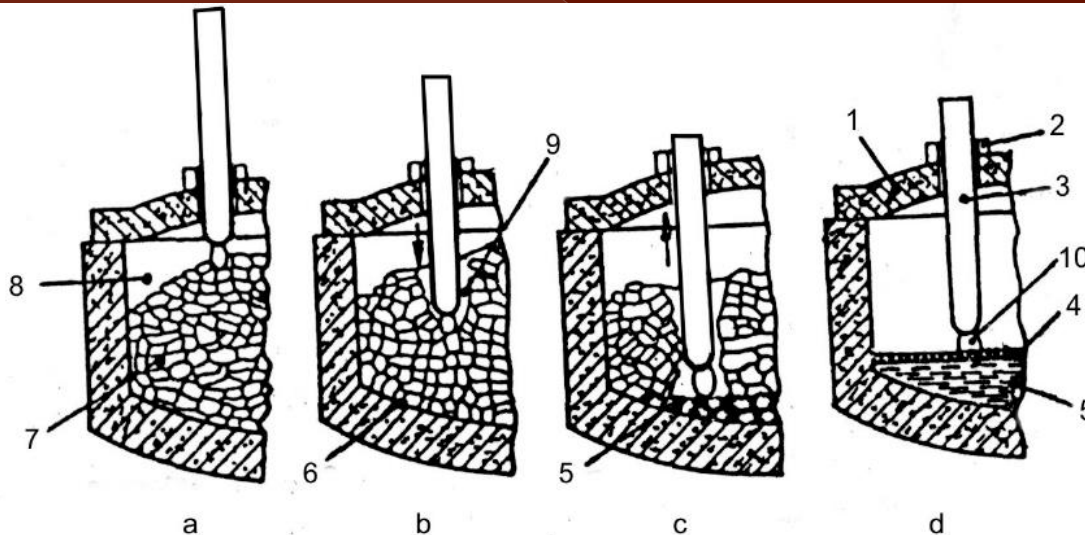


Figura 4/F5. Schema poziției unui electrod în timpul etapei de topire. 1 – boltă; 2 – cap de prindere; 3 – electrod; 4 – zgură; 5 – baie metalică; 6 – vatră; 7 – încărcătură; 8 – cuvă; 9 – crater; 10 – arc electric; a – începutul topirii; b – începerea formării craterelor; c – terminarea formării craterelor; d – finalul topirii.

Topirea

– etapa a II-a. Electrozii (3) încep să pătrundă în încărcătură (în prealabil, pătrund prin boltă acționați de bare port-electrod și capuri de prindere (2)) – se conturează apariția craterelor (9). Arcul electric începe să fie treptat acoperit. Tensiunea se mărește în intervalul 80...100% față de valoarea maximă a acesteia. După acoperirea totală a arcului, acesta nu mai radiază căldură către boltă și peretele cuvei. În cazul în care tensiunea are valori mari, arcul electric este lung și subțire;

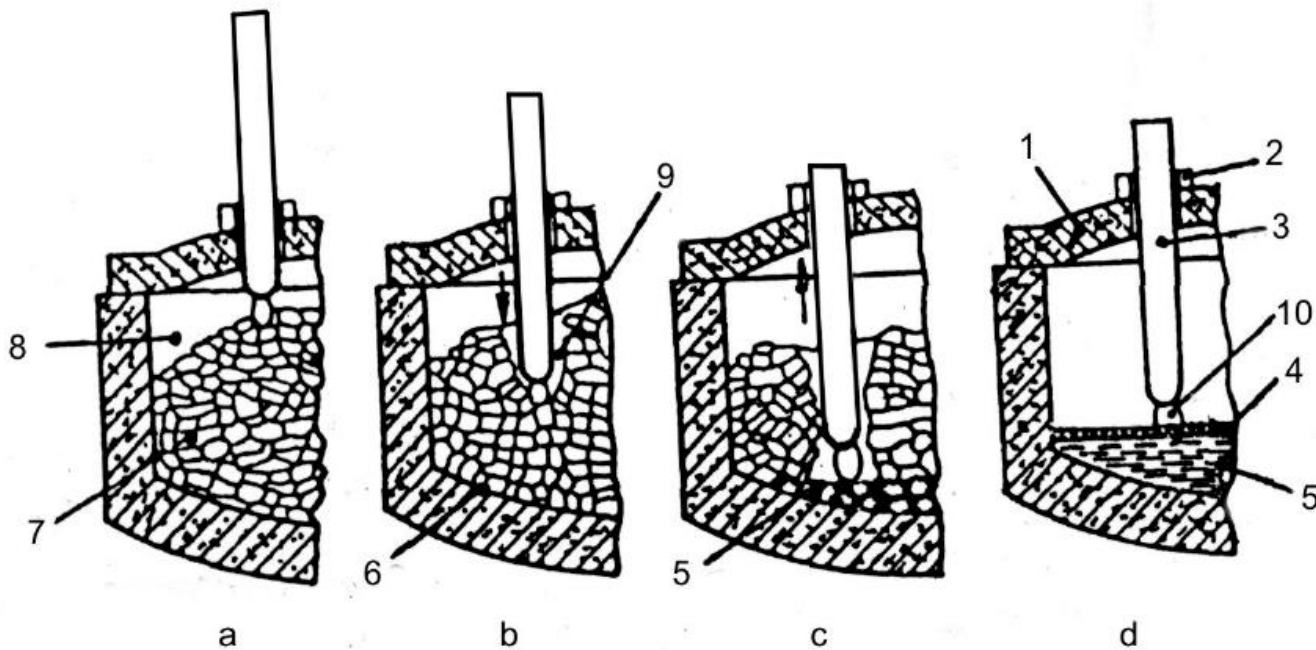


Figura 4/F5. Schema poziției unui electrod în timpul etapei de topire. 1 – boltă; 2 – cap de prindere; 3 – electrod; 4 – zgură; 5 – baie metalică; 6 – vatră; 7 – încărcătură; 8 – cuvă; 9 – crater; 10 – arc electric; a – începutul topirii; b – începerea formării craterelor; c – terminarea formării craterelor; d – finalul topirii.

Topirea

– etapa a III-a. Baia metalică este deja conturată în sensul că există pe vatra (6) și are nivelul în creștere. Arcul electric este complet acoperit și se poate lucra cu tensiunea maximă. Pericolul de suprasolicitare termică a pereților este eliminat;

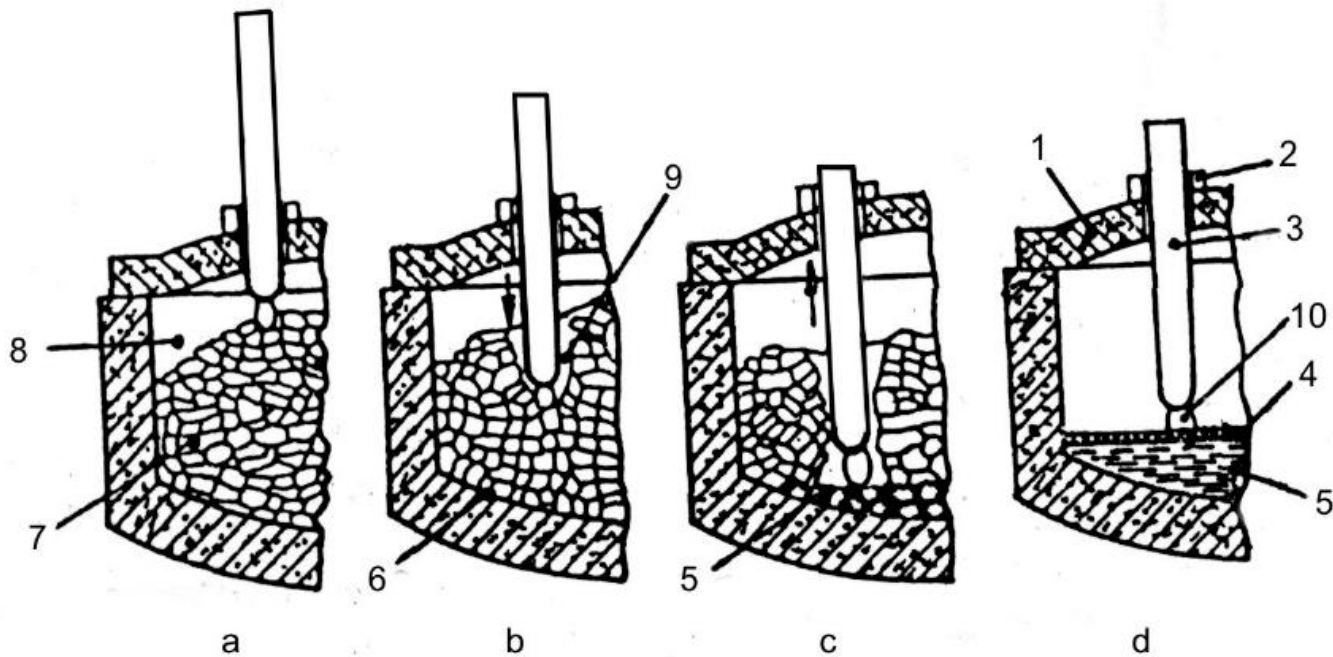


Figura 4/F5. Schema poziției unui electrod în timpul etapei de topire. 1 – boltă; 2 – cap de prindere; 3 – electrod; 4 – zgură; 5 – baie metalică; 6 – vatră; 7 – încărcătură; 8 – cuvă; 9 – crater; 10 – arc electric; a – începutul topirii; b – începerea formării craterelor; c – terminarea formării craterelor; d – finalul topirii.

Topirea

– **etapa a IV-a.** Încărcătura metalică este topită în mare măsură, așa încât baia metalică este aproape integrală (5) iar la suprafața ei zgura este separată (4). Capacitatea de emisie de electroni de către zgura acidă este mai mică decât cea a zgurii bazice, ceea ce înseamnă că arcul electric este mai puțin stabil decât în cazul zgurii bazice (după apariția zgurii sub formă de strat, arcul electric se formează între electrod și zgură). Arcul electric este descoperit și radiază, alături de baia metalică prin intermediul zgurei și din zgură, o mare cantitate de căldură către peretele cuvei și boltă, motiv pentru care se micșorează tensiunea la valori de 60...80% din valoarea maximă (în cazul tensiunilor mici, arcul electric este scurt și gros).

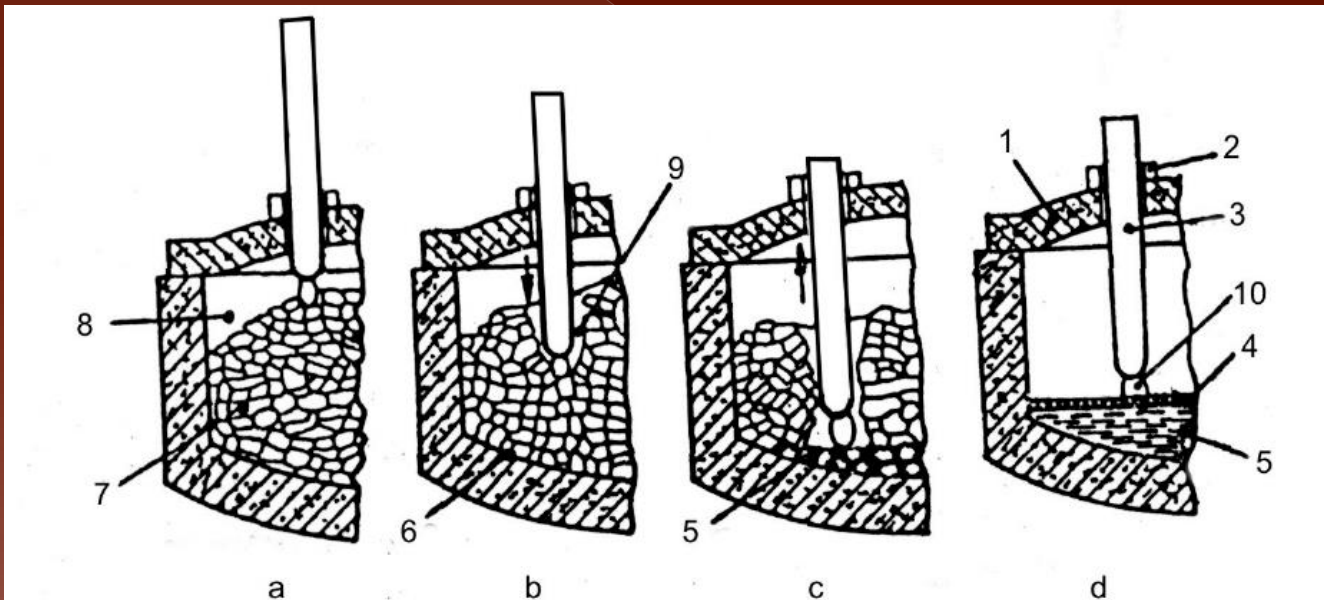


Figura 4/F5. Schema poziției unui electrod în timpul etapei de topire. 1 – boltă; 2 – cap de prindere; 3 – electrod; 4 – zgură; 5 – baie metalică; 6 – vatră; 7 – încărcătură; 8 – cuvă; 9 – crater; 10 – arc electric; a – începutul topirii; b – începerea formării craterelor; c – terminarea formării craterelor; d – finalul topirii.

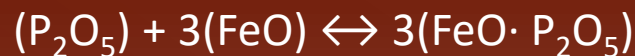


Topirea

La cuptoarele cu arc electric există aceleași patru faze – A, B, C și D – ce se întâlnesc la CEI, iar interacțiunile chimice, au, de asemenea, cele patru ordine – I, II, III și IV.

Interacțiunile de ordinul I sunt, din punct de vedere calitativ, cu excepția unor particularități, identice cu acelea de la cuptoarele electrice cu încălzire prin inducție.

Interacțiunile de ordinul al II-lea mai puternice sunt zgură-baie metalică, zgură-căptușeală refractară, fază gazoasă-zgură și fază gazoasă-baie metalică, la fel cu cele întâlnite la CEI. În cazul CEA zgura se implică în intensitatea reacțiilor chimice produse - prin caracterul neoxidant, slab oxidant și puternic oxidant și prin temperatură.



Interacțiunile chimice de ordinul al III-lea sunt posibile în mod permanent în sistemul căptușeală refractară-baie metalică-zgură, prin formarea de compuși chimici oxidici complecși și temporar, în cazul celorlalte interacțiuni chimice de ordinul al III-lea.

Prin difuzia oxigenului din faza gazoasă în zgură și baia metalică, se consideră că în cuptorul cu arc electric sunt posibile și *interacțiuni de ordinul al IV-lea*.

Supraîncălzirea în stare lichidă

Supraîncălzirea unei fonte în stare lichidă este o etapă a fluxului tehnologic de elaborare ce succede etapa de topire a încărcăturii.

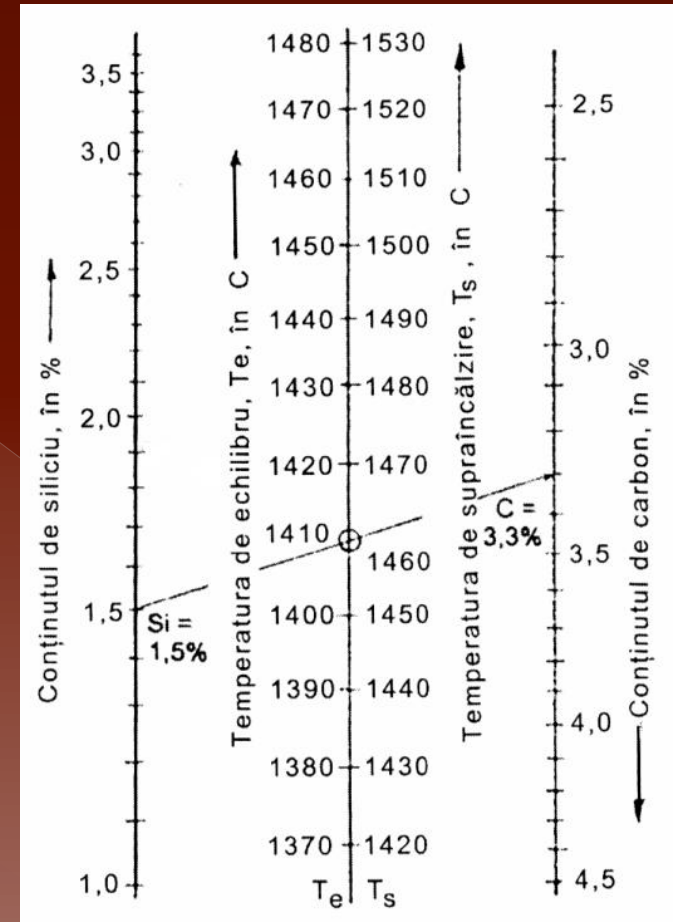
Supraîncălzirea constă în încălzirea băii metalice peste temperatura corespunzătoare liniei lichidus a aliajului respectiv, putând fi apreciată prin gradul de supraîncălzire ΔT_s , definit prin relația:

$$\Delta T_s = T_s - T_L [^{\circ}\text{C}], \quad (1)$$

unde T_s - temperatura de supraîncălzire,

T_L - temperatura liniei lichidus.

În cazul fontelor nealiante, T_s se determină în funcție de conținutul de C și Si al băii metalice, folosind nomograma din figura alăturată.



Nomogramă pentru determinarea temperaturilor de echilibru, T_e , și de supraîncălzire, T_s , ale băii metalice, în funcție de conținuturile de carbon și de siliciu din baia metalică.

Supraîncălzirea în stare lichidă

Alegerea gradului de supraîncălzire se face în funcție de mai mulți factori, cei mai frecvenți fiind următorii:

- tratamentul metalurgic ce va fi aplicat ulterior băii metalice (în agregatul de elaborare și în afara acestuia - modificarea fontelor pentru obținerea fontelor cu grafit nodular);
- fluiditatea fontei lichide;
- gradul de puritate al fontei propusă spre elaborare;
- compensarea pierderilor de căldură de la evacuarea din agregatul de elaborare a fontei lichide, de la manevrarea oalelor de turnare și de la turnarea în forme a aliajului lichid.

Supraîncălzirea în stare lichidă are ca scop modificarea proprietăților fontei lichide (de ex. mărirea caracteristicilor de rezistență mecanică). Această etapă a fluxului tehnologic de elaborare poate fi realizată în principal prin desfășurarea următoarelor două fenomene:

- ***Dezactivarea germenilor eterogeni*** ce influențează necontrolat structura metalografică la solidificarea fontei. Germeții eterogeni sunt reprezentați de particule solide de tipul oxizilor, suflurilor, nitrurilor, compușilor chimici complecși sau de tipul grafitului. Aceștia sunt dezactivați prin dizolvarea parțială a acestor particule sau de separarea acestora în zgură.
- Obținerea unei fontei lichide cu o structură din care să solidifice, în urma transformării eutectice, un număr mare de celule eutectice cu grafitul fin și uniform repartizat în matricea metalică.

În funcție de agregatul de elaborare, supraîncălzirea în stare lichidă se realizează diferit.

Supraîncălzirea în stare lichidă

În cazul **supraîncălzirii în CEA** , randamentul este cuprins între limitele 15...25%, temperatura maximă de supraîncălzire fiind încadrată între limitele 1500...1600°C.

Reacțiile chimice desfășurate în etapa de supraîncălzire în CEA , în cazul procedurii de elaborare acid sunt cele prezentate anterior (2)-(4), producându-se suplimentar și reacția (5) într-o măsură avansată, în funcție de temperatura de supraîncălzire adoptată.



Particularitatea supraîncălzirii în CEA se referă la influența caracterului zgurii asupra modului de transfer al oxigenului din faza gazoasă în baia metalică. Astfel, o zgură slab oxidantă sau una puternic oxidantă vor determina trecerea unei cantități mai mari de oxigen din faza gazoasă a cuptorului în baia metalică, o dată cu creșterea temperaturii de supraîncălzire.

Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

2. Carburarea

Factorii ce influențează procesul de carburare a fontei și randamentul de asimilare a carbonului, la elaborarea în cuptorul electric cu încălzire prin arc electric, sunt aceiași ca și la carburarea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin inducție.

Particularitățile procesului de carburare la cuptorul electric cu arc se referă la:

- **temperatura zgurii:** cu cât temperatura zgurii este mai mare, cu atât zgura este mai activă din punct de vedere metalurgic, activitatea termodinamică a carbonului din zgură este mai mare, coeficientul de difuzie a carbonului în fierul lichid este mai mare, și, deci, randamentul de asimilare a carbonului în fierul lichid este mai mare ;
- **pierderile de carbon prin oxidare:** sub influența căldurii mari a arcului electric pierderile de carbon din materialele de carburare sub formă de monoxid de carbon cresc cu atât mai mult cu cât temperatura arcului electric este mai mare;
- **absența agitării electromagnetice:** randamentul de asimilare a carbonului este de maximum 60% în cazul utilizării cocsului ca material de carburare și de 70...75% în cazul utilizării deșeurilor de electrozi de grafit. În plus, cu cât cantitatea de material de carburare este mai mare, cu atât randamentul de asimilare a carbonului în baia metalică este mai mic – se măresc pierderile de carbon prin oxidare din cauza arcului electric.

Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

4. Desulfurarea

Sulful se află în fonta lichidă nealiată sub formă de FeS sau (FeMn)S.

În fonte, conținutul de sulf variază în general între limitele 0,005 – 0,18%, prezența lui având, în principal, implicații negative:

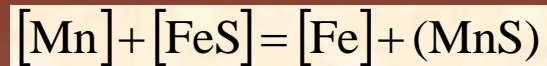
- favorizează apariția de zone de fontă albă în piese, mai ales în cazul vitezelor de răcire mari – înrăutățește prelucrabilitatea mecanică a pieselor;
- micșorează rezistența la șoc termic;
- micșorează caracteristicile mecanice de rezistență;
- determină durificarea inversă: piesele au duritate mai mare în zona centrală a pereților și duritate mai mică la periferie.

Desulfurarea are la bază interacțiunea chimică dintre faza metalică lichidă și elemente chimice ce au afinitatea chimică față de sulf mai mare decât fierul.

Condiții de desfășurare a procesului de desulfurare:

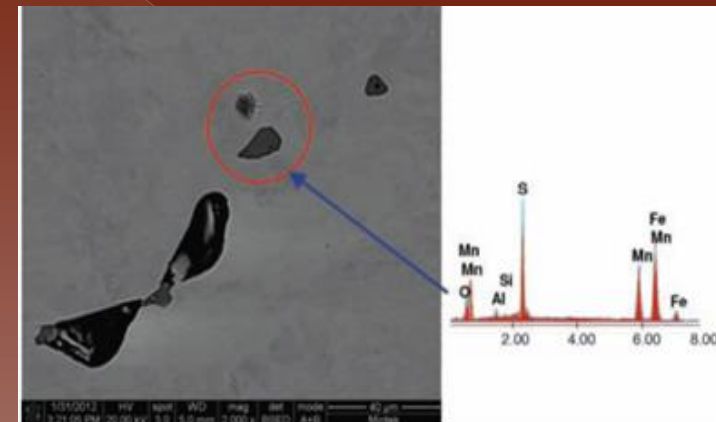
- în baia metalică să se introducă materiale ce conțin elemente chimice desulfurante,
- materialele desulfurante introduse trebuie să conțină acele elemente chimice care să formeze sulfuri, respectând condiția următoare: $(\Delta G_{MeS}^0 < \Delta G_{FeS}^0)$,
- produșii de reacție să nu se dizolve în baia metalică.

Desulfurarea cu Mn:



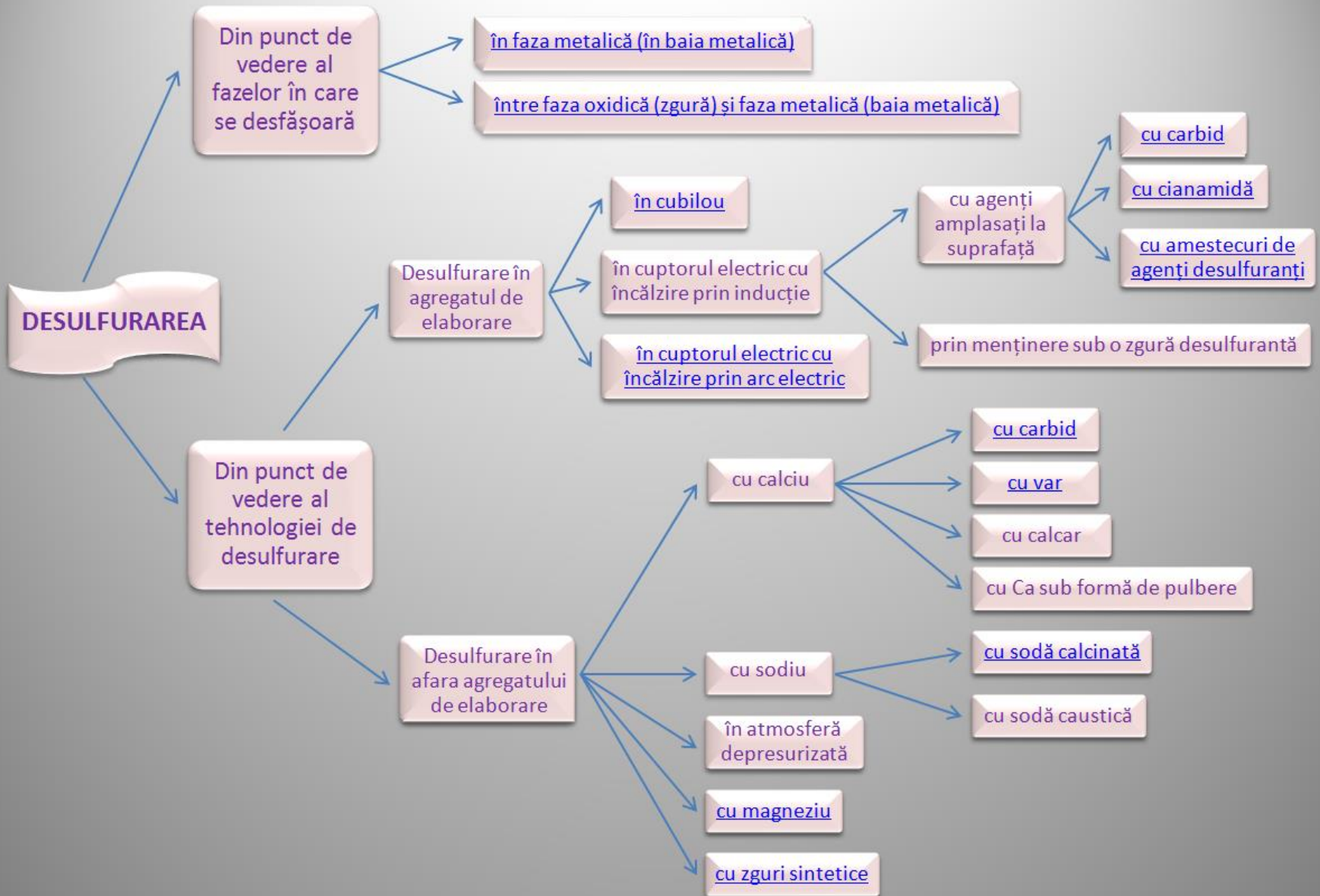
Conținutul minim de Mn necesar:

- pentru fonta cenușie: $\%Mn_{min} = \%S \cdot 1,7 + (0,2...0,3)$,
- pentru fonta maleabilă: $\%Mn_{min} = \%S \cdot 2 + (0,1...0,2)$,



Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

4. Desulfurarea



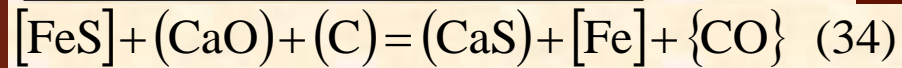
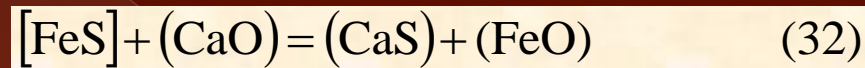
Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă

4. Desulfurarea în cuptorul cu arc electric

Procesul are la bază menținerea băii metalice sub un strat de zgură activă (până la 1 oră în cazul unei atmosfere reducătoare), în cuptoarele căptușite bazic.

Elementul desulfurant este Ca, a cărui prezentă este asigurată în zgură prin introducerea de var nestins (de ex: 88...93%CaO, 2%MgO, max.2%SiO₂, max.2%(Al₂O₃+Fe₂O₃), max.0,2%S).

Procesul de desulfurare se desfășoară conform reacțiilor:

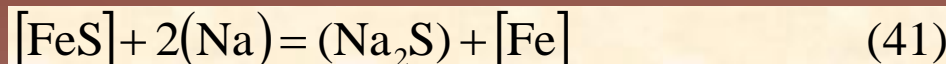
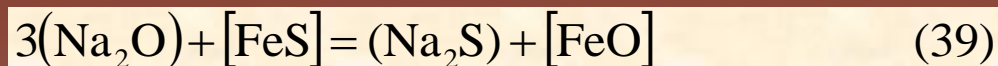


sub influența arcului electric se produce zgură carbidică: $3(\text{C}) + (\text{CaO}) = (\text{CaC}_2) + \{\text{CO}\} \quad (36)$



În practică trebuie să se asigure o zgură bazică în cantitate de 2...5% din fonta lichidă ce se supune desulfurării și respectarea proporției $\text{CaO} : \text{CaF}_2 : \text{C} = (6...12) : (2...3) : (1...4)$

În practică se utilizează și procedeul de desulfurare prin menținerea băii metalice sub un strat de zgură sintetică din sistemul CaO – Na₂O - CaF₂, în cuptoarele căptușite bazic.



BAZELE ELABORĂRII ALIAJELOR FEROUASE

PARTEA 4.1.

CUPRINS

- 1. Introducere. Istoricul procesării unei încărcături metalice și nemetalice feroase în vederea obținerii fontei și oțelului**
- 2. Schema logică a unui flux de elaborare a unui aliaj feros.**
- 3. Fonte.**
 - 3.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.**
 - 3.1.1. Fonte cenușii cu grafit lamelar nemodificate.**
 - 3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare.**
 - 3.1.3. Fonte aliate.**
 - 3.2. Elaborarea fontelor.**
 - 3.2.1. Tehnologia de elaborare a fontelor în cubilou.**
 - 3.2.2. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.**
 - 3.2.3. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu arc.**
- 4. Oțeluri.**
 - 4.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.**
 - 4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: oțeluri pentru construcții și structuri sudate; oțeluri pentru construcții mecanice; oțeluri inoxidabile și refractare;**
 - 4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;**
 - 4.2. Elaborarea oțelurilor**
 - 4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc.**
 - 4.2.2. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.**
 - 4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizor.**

4.1. Definiție.

Oțelul este un aliaj al ferului (Fe) care conține carbon (C) ca element însoțitor de bază al Fe, începând de la 0,03%C până la conținuturi ce trec de 2,11%C_{echivalent}, elemente însoțitoare de bază ale Fe și C (Si, Mn, P și S), impurități numite oligoelemente (Sb, Pb, As etc) și gaze (N, O, H etc).

Atunci când oțelul este aliat conține și elemente de aliere: Si, Mn, Cr, Ni, Mo, W, V, Al etc.

În sistemul binar Fe-C, oțelurile sunt poziționate ca având minimum 0,006%C.

Trecerea de la sistemul binar Fe-C la oțelurile tehnice se face prin intermediul noțiunii de carbon echivalent (C_{echiv}).

Astfel, pentru analiza structurii fontelor/oțelurilor se utilizează diagrama Fe-C, însă în locul conținutului de carbon se va lua în considerare conținutul de carbon echivalent.

Se procedează astfel deoarece elementele chimice prezente în aliaj afectează solubilitatea carbonului în fierul lichid și în fierul solid.

Carbonul echivalent se calculează cu relația:

$$C_{\text{echiv}} = C_t + \% E_i \cdot m_j$$

unde: C_t : carbonul total, determinat prin analiză chimică;

% E_i: proporția de element chimic însoțitor al Fe și C;

m_j : valoarea afectării solubilității C în Fe lichid.

Pentru sistemul Fe-C-Si-S-Mn-P:

$$C_{\text{echiv}} = C_t + 0,3 \cdot \% \text{Si} - 0,3 \cdot \% \text{P} + 0,4 \cdot \% \text{S} - 0,03 \cdot \% \text{Mn}$$

4.1. Definiție.

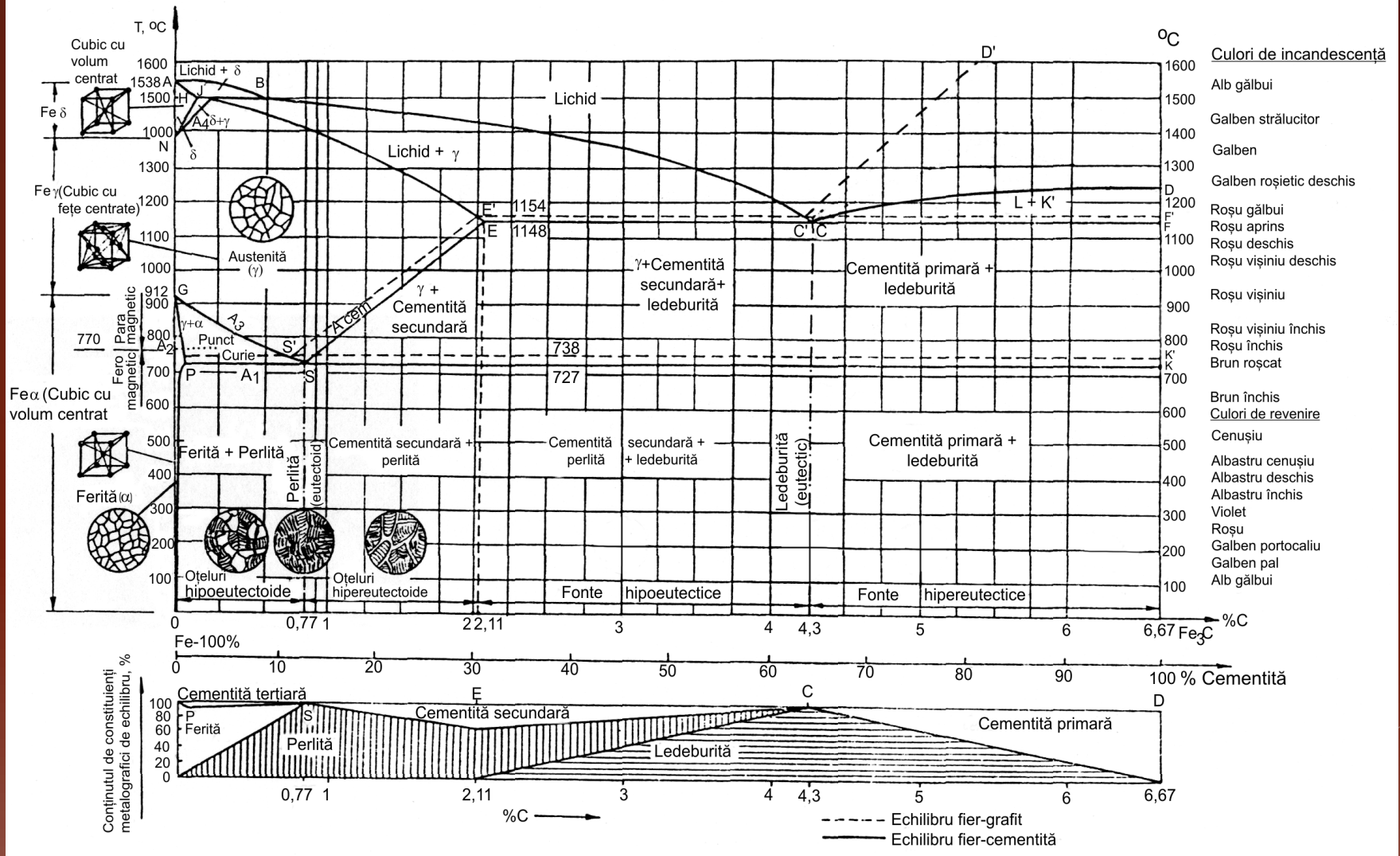


Diagrama de echilibru termodinamic fier-carbon

4.1. Criterii de clasificare. Mărci.

Definirea și clasificarea mărcilor de oțel este făcută conform SR EN 10020, în funcție de compoziția chimică determinată pe oțelul lichid, considerând împărțirea oțelurilor în: oțeluri nealiat și oțeluri aliate.

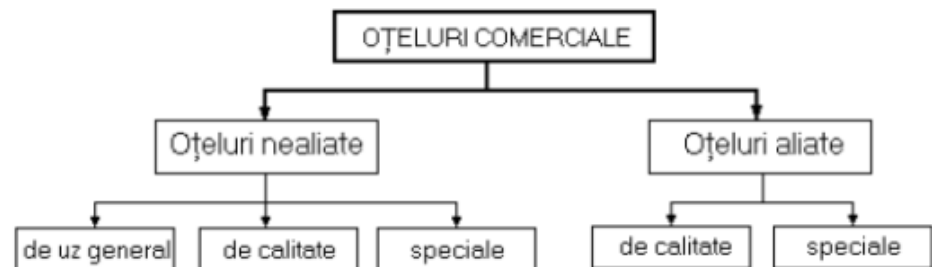
Conform standardului SR EN 10020, **oțelurile nealiat** sunt cele la care concentrațiile masice ale elementelor determinate pe oțelul lichid sau pe produsele realizate din acesta nu depășesc valorile limită prezntate în tabelul 1, iar **oțelurile aliate** sunt cele la care concentrația masică (determinată pe oțelul lichid sau pe produsele realizate din acesta) a cel puțin unui element atinge sau depășește valoarea limită.

Atât oțelurile nealiat cât și oțelurile aliate se împart în **clase principale de calitate**, în funcție de gradul de puritate, de tehnologia de elaborare și de nivelul prescripțiilor pentru anumite caracteristici; în cadrul fiecărei clase principale există **subclase** constituite în special după caracteristicile principale de utilizare ale oțelurilor.

Elementul	Valoarea limită, % $EA_{m,lim}$, %	Elementul	Valoarea limită, % $EA_{m,lim}$, %
Aluminiu	0,10 (0,30**)	Plumb	0,40
Bor	0,0008	Seleniu	0,10
Bismut	0,10	Siliciu	0,50 (0,60**)
Cobalt	0,10 (0,30**)	Telur	0,10
Crom*	0,30	Titan *	0,05
Cupru*	0,40	Vanadiu*	0,10
Mangan	1,65	Wolfram	0,10 (0,30**)
Molibden*	0,08	Zirconiu	0,05
Niobiu *	0,06	Altele	0,05 (0,10**)
Nichel*	0,30		

* În cazul în care aceste elemente sunt prescrise combinat, valoarea limită a sumei concentrațiilor lor se consideră $0,7 \sum EA_{m,lim}$.

** Valorile admise pentru analiza efectuată pe produse



4.1. Criterii de clasificare. Mărci.

Clasele principale de calitate sunt caracterizate în standardul SR EN 10020 astfel:

- A. Oțelurile nealiat de uz general** sunt oțeluri ale căror caracteristici corespund prescripțiilor prezentate în tabelul 2, nu necesită aplicarea de tratamente termice pentru obținerea acestor caracteristici, nu au impuse condiții speciale pentru nici un element component (cu excepția manganului și siliciului), nu au prescrisă nici o altă condiție de calitate și sunt obținute prin procedee tehnologice de elaborare obișnuite.

Tabelul 2. Prescripțiile privind caracteristicile oțelurilor nealiat de uz general

Caracteristica prescrisă	Grosimea produsului s, mm	Prescripția
Rezistența la tracțiune minimă	$s \leq 16$	$R_{m,min} \leq 690 \text{ N/mm}^2$
Limita de curgere minimă	$s \leq 16$	$R_{e,min} \leq 360 \text{ N/mm}^2$
Alungirea procentuală după rupere minimă	$s \leq 16$	$A_{min} \leq 26 \%$
Energia de rupere minimă, la +20 °C, pe epruvete prelevate longitudinal din produse	$10 \leq s \leq 16$	$KV_{min} \leq 27 \text{ J}$
Concentrația masică de carbon maximă	–	$\%C_{m,max} \geq 0,10 \%$
Concentrația masică de fosfor maximă	–	$\%P_{m,max} \geq 0,045 \%$
Concentrația masică de sulf maximă	–	$\%S_{m,max} \geq 0,045 \%$

4.1. Criterii de clasificare. Mărci.

Clasele principale de calitate sunt caracterizate în standardul SR EN 10020 astfel:

B. Oțelurile nealiat speciale sunt oțeluri cu caracteristici superioare celor corespunzătoare oțelurilor de uz general, asigurate în special prin controlul riguros al compoziției chimice, purității, proceselor tehnologice de elaborare și prin aplicarea tratamentelor termice de călire și revenire sau de durificare superficială.

O marcă de oțel este inclusă în categoria oțelurilor nealiat speciale dacă îndeplinește una sau mai multe dintre următoarele condiții:

- are prescrisă energia de rupere KV în starea C + r (obținută prin călire martensitică și revenire);
- are prescrisă adâncimea de călire sau duritatea superficială în una din stările C, C + r sau Cs (obținută prin călire superficială);
- are conținut scăzut de incluziuni nemetalice;
- are conținuturile de impuriități $\%Pm, \%Sm \leq 0,025 \%$;
- are prescrisă o energie de rupere (determinată pe epruvete prelevate longitudinal din semifabricate sau produse) $KV > 27 \text{ J}$ la -50°C ;
- este destinată durificării prin precipitare, are $\%Cm \geq 0,25 \%$, conține unul sau mai multe elemente de microaliere (Nb, V etc.) în concentrații care mențin oțelul în categoria oțelurilor nealiat, are structura ferito-perlitică, iar durificarea prin precipitare se realizează prin răcire controlată de la temperatura de prelucrare prin deformare la cald.

C. Oțelurile nealiat de calitate sunt oțeluri la care prescripțiile privind calitatea sunt mai severe decât la oțelurile nealiat de uz general, fără să li se impună condiții privind comportarea la TT sau gradul de puritate; în această categorie sunt incluse oțelurile nealiat care nu se încadrează în clasele A sau B.

4.1. Criterii de clasificare. Mărci.

D. Oțelurile aliate de calitate sunt oțeluri destinate utilizării în aplicații similare celor corespunzătoare oțelurilor nealiate de calitate, care nu sunt destinate aplicării de TT și care, pentru a realiza caracteristicile prescrise, necesită adaosuri de elemente de aliere în concentrații ce depășesc nivelurile limită date în tabelul 1; în categoria oțelurilor aliate de calitate se încadrează:

a) *oțelurile de construcție cu granulație fină sudabile, oțelurile pentru recipiente sub presiune și oțelurile pentru țevi, care îndeplinesc (simultan) condițiile:*

- au concentrații ale elementelor de aliere mai mici decât valorile limită prezentate în tabelul 8.3;
- au limita de curgere minimă (determinată pe produse cu $s \leq 10$ mm) $Rp0,2 < 380$ N/mm²;
- au energia de rupere (determinată pe epruvete prelevate longitudinal din produse) $KV \leq 27$ J la -50 oC;

b) *oțelurile pentru electrotehnică, care conțin ca elemente de aliere numai siliciul sau siliciul și aluminiul, introduse în scopul satisfacerii unor prescripții referitoare la caracteristicile magnetice:*

c) *oțelurile pentru produse la care se fac prelucrări severe (cu grade mari de deformare) prin deformare plastică la rece și care conțin elemente ce asigură finisarea granulației;*

d) *oțelurile bifazice (dual-phase steel), care au (datorită TT aplicate) o structură alcătuită dintr-o matrice feritică și 10...35 % formațiuni martensitice fine, uniform dispersate în matrice;*

e) *oțelurile la care singurul element de aliere prescris este cuprul.*

Tabelul 3. Limitele compoziției chimice a oțelurilor aliate de calitate cu granulație fină, sudabile

Elementul	Valoarea limită, % $EA_{m,lim.} \%$	Elementul	Valoarea limită, % $EA_{m,lim.} \%$
Crom*	0,50	Niobiu**	0,08
Cupru*	0,50	Nichel*	0,50
Lantanide (fiecare)	0,06	Titan**	0,12
Mangan	1,80	Vanadiu**	0,12
Molibden*	0,10	Zirconiu**	0,12

Dacă elementele marcate * și ** sunt prescrise în combinație, valoarea limită a sumei concentrațiilor lor se consideră $0,7 \sum EA_{m,lim}$; pentru alte elemente se folosește tabelul 8.1.

E. Oțelurile aliate speciale sunt oțeluri la care se impun condiții stricte privind compoziția chimică, condițiile de elaborare și metodele de control al calității pentru a li se asigura caracteristici ridicate, prescrise cu abateri mici; în această categorie se încadrează oțelurile speciale de construcție, oțelurile pentru piesele destinate construcției de mașini, oțelurile pentru rulmenți, oțelurile inoxidabile, oțelurile refractare, oțelurile pentru scule și oțelurile cu proprietăți fizice speciale.

În funcție de condițiile specifice de utilizare, pentru același tip de aplicație tehnică pot fi utilizate oțeluri din mai multe clase (oțeluri nealiate și/sau aliate).

4.1. Criterii de clasificare. Mărci.

Simbolizarea oțelurilor comerciale

Simbolizarea alfanumerică a oțelurilor este reglementată de standardul SR EN 10027-1, completat cu SR CR 10260, iar prescripțiile privind simbolizarea numerică sunt cuprinse în standardul SR EN 10027-2.

Conform SR EN 10027-1 **simbolizarea alfanumerică** cuprinde trei grupe de simboluri (care se scriu fără spații între ele): **simboluri principale**, care constau din grupe de litere și cifre, **simboluri suplimentare pentru oțel**, formate din caractere alfanumerice scrise după simbolurile principale și **simboluri suplimentare pentru produse**, formate din caractere alfanumerice, separate de simbolurile oțelului prin semnul + și care codifică condițiile speciale impuse produselor, tipul de acoperire a produselor sau o anumită stare de tratament a acestora.

În funcție de semnificațiile simbolurilor principale, oțelurile se împart în două categorii: **oțeluri simbolizate în funcție de utilizare și caracteristici mecanice sau fizice** și **oțeluri simbolizate după compoziția chimică**.

Structura și conținutul simbolurilor în funcție de utilizare și caracteristici pentru cele mai folosite categorii de oțeluri sunt prezentate în tabelul 4; structura și conținutul simbolurilor după compoziția chimică pentru cele mai utilizate categorii de oțeluri la care se folosește această modalitate de simbolizare sunt redată, de asemenea, în tabelul 4.

Simbolizarea numerică a mărcilor de oțel este complementară simbolizării alfanumerice și se utilizează numai pentru oțelurile care fac obiectul unor operații comerciale, acest tip de simbolizare fiind mai potrivit prelucrării automate a datelor; simbolul constă dintr-un număr fix de cifre și se alocă de către autoritatea națională sau europeană de standardizare, în urma unei cereri formulate de producătorul de oțeluri.

4.1. Criterii de clasificare. Mărci.

Tabelul 8.4. Principalele date privind simbolizarea oțelurilor comerciale

A. Oțeluri simbolizate în funcție de caracteristici

Categorii oțelurilor	Elementele simbolizării				Exemplu																																							
	Simboluri principale		Simboluri suplimentare pentru oțel		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> a - litere n - cifre an - litere și cifre </div>																																							
	otel turnat	G a n n n	an	+an +an	Conf. SR CR 10260																																							
Oțeluri pentru construcții	S	$nnn \equiv R_e$ sau $R_{p0.2}$ min., în N/mm^2 , pentru cele mai mici grosimi	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th colspan="3">KV, J</th> <th rowspan="2">T, °C</th> </tr> <tr> <td>27</td> <td>40</td> <td>60</td> </tr> <tr> <th colspan="4">Simbolizare</th> </tr> <tr> <td>JR</td> <td>KR</td> <td>LR</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>J0</td> <td>K0</td> <td>L0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>J2</td> <td>K2</td> <td>L2</td> <td>-20</td> </tr> <tr> <td>J3</td> <td>K3</td> <td>L3</td> <td>-30</td> </tr> <tr> <td>J4</td> <td>K4</td> <td>L4</td> <td>-40</td> </tr> <tr> <td>J5</td> <td>K5</td> <td>L5</td> <td>-50</td> </tr> <tr> <td>J6</td> <td>K6</td> <td>L6</td> <td>-60</td> </tr> </table>	KV, J			T, °C	27	40	60	Simbolizare				JR	KR	LR	20	J0	K0	L0	0	J2	K2	L2	-20	J3	K3	L3	-30	J4	K4	L4	-40	J5	K5	L5	-50	J6	K6	L6	-60	C = formare la rece E = emailare F = forjare L = temperat. scăzută N = normalizat O = platforme marine Q = călit și revenit S = construcții navale T = țevi W = rezistent la coroziune atmosferică G = alte caracteristici (grad de dezoxidare etc..)	S235J2G3 - oțel cu $R_e \approx 235 N/mm^2$, la care se garantează $KV = 27 J$ la $-20^\circ C$, calmat complet (G3); - simbolizare veche: OL 370.4k
KV, J			T, °C																																									
27	40	60																																										
Simbolizare																																												
JR	KR	LR	20																																									
J0	K0	L0	0																																									
J2	K2	L2	-20																																									
J3	K3	L3	-30																																									
J4	K4	L4	-40																																									
J5	K5	L5	-50																																									
J6	K6	L6	-60																																									
Oțeluri pentru recipiente sub presiune	P	$nnn \equiv R_e$ sau $R_{p0.2}$ min., în N/mm^2 , pentru cele mai mici grosimi	B = recipiente de gaz M = laminat termomec. N = normalizat Q = călit și revenit S = pentru recip. simple T = pentru țevi G = alte caracteristici	H = temperat. ridicată L = temperat. scăzută R = temperat. ambiantă X = temperatură ridicată și temperatură scăzută	P265GH - oțel pentru recipiente sub presiune cu $R_e = 265 N/mm^2$ și caracteristici specificate la temperaturi ridicate - simbolizare veche: K 410																																							
Oțeluri pentru țevi destinate conductelor	L	$nnn \equiv R_e$ sau $R_{p0.2}$ min., în N/mm^2 , pentru cele mai mici grosimi	M = laminat termomec. N = normalizat Q = călit și revenit G = alte caracteristici		L360Q - oțel pentru țevi cu $R_{p0.2} \geq 360 N/mm^2$, în stare călit și revenit																																							

4.1. Criterii de clasificare. Mărci.

Tabelul 8.4. Principalele date privind simbolizarea oțelurilor comerciale – continuare

Oțeluri pentru piese destinate construcției de mașini	E	$n n n \equiv R_e$ sau $R_{p0.2}$ min., în N/mm^2 , pentru cele mai mici grosimi	G \equiv alte caracteristici (grad de dezoxidare etc.)	C \equiv destinat tragerii la rece	E335 - oțel cu $R_e \geq 335$ N/mm^2 - simbolizare veche OL 60
Oțeluri pentru șine de cale ferată	R	$n n n \equiv R_m$ min., în N/mm^2	Mn \equiv conținut ridicat de mangan G \equiv alte caracteristici	Q \equiv călit și revenit	R0900Mn - oțel cu $R_m \geq 900$ N/mm^2 , cu conținut de mangan precizat
Oțeluri pentru produse plate destinate ambutisării	D	Cnn \equiv laminat la rece Dnn \equiv laminat la cald pentru formare directă la rece (cifrele desemnează calități diferite)	EK \equiv pentru emailare la rece convențională ED \equiv pentru emailare directă an \equiv simbolul chimic al elementului precizat urmat eventual de o cifră care reprezintă de 10 x media intervalului precizat al acestui element		DC04EK - oțel laminat la rece pentru emailare convențională

B. Oțeluri simbolizate în funcție de compoziția chimică

B1. Oțeluri nealiatate cu $\%Mn_m < 1\%$

Categoria oțelurilor	<p style="text-align: center;">Elementele simbolizării</p> <p style="text-align: center;"> otel turnat Simboluri principale Simboluri suplimentare pentru oțel Simboluri suplimentare pentru produs </p> <p style="text-align: center;"> G a n n n an +an +an </p> <p style="text-align: right; margin-right: 50px;"> a - litere n - cifre an - litere și cifre </p> <p style="text-align: right; margin-right: 50px;">Conf. SR CR 10260</p>			Exemplu	
Oțeluri nealiatate cu $\%Mn_m < 1\%$ (cu excepția celor pentru automate)	C	$n n n \equiv 100 \cdot \%C_m$	<p>E \equiv cu un conținut maxim de sulf precizat;</p> <p>D \equiv pentru trefilarea sârmei;</p> <p>C \equiv pentru formarea la rece;</p> <p>S \equiv pentru arcuri;</p> <p>U \equiv pentru scule;</p> <p>W \equiv pentru sârme electrozi;</p> <p>G \equiv alte caracteristici</p>	<p>an \equiv EA[10·%EA_m]</p>	<p>C35E4</p> <p>- oțel carbon cu %C_m = 0,35 % și conținut precizat de sulf;</p> <p>- simbolizare veche: OLC 35 X</p>

4.1. Criterii de clasificare. Mărci.

Tabelul 8.4. Principalele date privind simbolizarea oțelurilor comerciale – continuare

B2. Oțeluri nealiat cu $\%Mn_m \geq 1\%$ și oțeluri aliate

Categoria oțelurilor	Elementele simbolizării				Exemplu										
	Simboluri principale		Simboluri suplimentare pentru oțel pentru produs												
	oțel turnat	$\boxed{G} \quad \boxed{a} \quad \boxed{n} \quad \boxed{n} \quad \boxed{n} \quad \boxed{a} \dots \boxed{n} \text{---} \boxed{n} \dots \boxed{a} \text{---} \dots \boxed{+a} \text{---} \boxed{+a} \dots$		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> a - litere n - cifre an - litere și cifre </div>											
	Conf. SR CR 10260														
<p style="text-align: center;">←</p> <p>Oțeluri nealiat cu $\%Mn_m \geq 1\%$, oțeluri nealiat pentru automate și oțeluri aliate cu $\%EA_{mj} < 5\%$, $j = 1 \dots n$</p>	-	$n \text{---} n \text{---} n \equiv 100 \%C_m$	$a \equiv EA_1 \dots EA_j \dots EA_n$ concentrația	$n \text{---} n \dots \equiv$ $k_1 \cdot \%EA_{m1} \text{---} \dots \text{---} k_j \cdot \%EA_{mj} \text{---} \dots$ $\text{---} k_n \cdot \%EA_{mn}$ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Element</th> <th style="text-align: center;">Factorul k_j</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Cr, Co, Mn, Ni, Si, W</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr,</td> <td style="text-align: center;">10</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ce, N, P, S;</td> <td style="text-align: center;">100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">1000</td> </tr> </tbody> </table>	Element	Factorul k_j	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	<p>13CrMo4-5</p> <p>- oțel cu $\%C_m \equiv 0,13\%$, $\%Cr_m \equiv 1,0\%$, $\%Mo_m \equiv 0,5\%$</p> <p>- simbolizare veche: 14MoCr10</p>
Element	Factorul k_j														
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														
<p>Oțeluri aliate cu $\%EA_{mj} \geq 5\%$, $j = 1 \dots n$ (cu excepția oțelurilor rapide)</p>	X	$m \text{---} n \equiv 100 \%C_m$	$a \equiv EA_1 \dots EA_j \dots EA_n$ concentrația	$n \text{---} n \dots \equiv$ $k_1 \cdot \%EA_{m1} \text{---} \dots \text{---} k_j \cdot \%EA_{mj} \text{---} \dots$ $\text{---} k_n \cdot \%EA_{mn}$	<p>X6CrNiTi18-10</p> <p>- oțel cu $\%C_m = 0,06\%$, $\%Cr_m = 18\%$, $\%Ni_m = 10\%$, stabilizat cu Ti;</p> <p>- simbolizare veche: 10TiNiCr180</p>										
<p>Oțeluri rapide</p>	HS	$n \text{---} n \text{---} n \text{---} n \equiv \%W_m \text{---} \%Mo_m \text{---} \%V_m \text{---} \%Co_m$			<p>HS2-9-1-8</p> <p>- oțel rapid cu $\%W_m = 2\%$, $\%Mo_m = 9\%$, $\%V_m = 1\%$, $\%Co_m = 8\%$</p>										

4.1. Criterii de clasificare. Mărci.

Simbolizarea oțelurilor în funcție de utilizare

- SR EN 10027-1:2006 - Sisteme de simbolizare pentru oțeluri. Partea 1: **Simbolizarea alfanumerică**, simboluri principale

Litera	Utilizare	Proprietatea mecanică
S	Oțel pentru construcții	Rezistența minimă la curgere
P	Oțel pentru vase sub presiune	Rezistența minimă la curgere
L	Oțel pentru țevi	Rezistența minimă la curgere
E	Oțel pentru construcții mecanice	Rezistența minimă la curgere
B	Oțel beton	Rezistența la curgere caracteristică
Y	Oțel pentru structuri pretensionate	Rezistența minimă la curgere
R	Oțel pentru calea ferată	Rezistența minimă la curgere
H	Oțel de înaltă rezistență pentru laminare la rece	Rezistența minimă la curgere
D	Produse plate pentru deformare plastică la rece	C, D sau X + două cifre care caracterizează oțelul
T	Oțel pentru table galvanizate	Rezistența la curgere nominală
M	Oțel electric	Număr=100x pierderea specifică Număr=100x grosimea nominală în mm Literă pentru tipul oțelului (A,B,E,N,S sau P)

Ex:

S420 = oțel pentru construcții (S) cu rezistența minimă la curgere de 420MPa (420)

4.1. Criterii de clasificare. Mărci.

Simbolizarea oțelurilor în funcție de utilizare

- SR EN 10027-2:1996 - Sisteme de simbolizare pentru oțeluri. Partea 2: **Sistemul numeric**
- Numere alocate de European Registering Office (VDEh în Dusseldorf)

Oțeluri Carbon

Număr = 1.00XX (& 1.90XX)-oțeluri de bază

Număr = 1.01XX (& 1.91XX)-oțeluri de calitate (pentru structuri generale cu $R_m < 500 \text{ MPa}$)

Număr = 1.02XX (& 1.92XX)-oțeluri de construcții (fără tratament termic cu $R_m < 500 \text{ MPa}$)

Număr = 1.03XX (& 1.93XX)-oțeluri cu conținut mediu $\%C < 0,12$ sau $R_m < 400 \text{ MPa}$

Număr = 1.04XX (& 1.94XX)-oțeluri cu conținut mediu $0,12 \leq \% C < 0,25$ sau $R_m \geq 500 \text{ MPa}$

Număr = 1.05XX (& 1.95XX)-oțeluri cu conținut $0,25 \geq \% C < 0,55$ sau $500 \text{ MPa} \leq R_m < 700 \text{ MPa}$

Număr = 1.06XX (& 1.96XX)-oțeluri cu conținut $\%C > 0,55$ sau $R_m \geq 700 \text{ MPa}$

Număr = 1.07XX (& 1.97XX)-oțeluri cu conținut mare de P sau S.

Simbolizarea oțelurilor

Oțeluri Carbon Speciale

Număr = 1.**10**XX (& 1.90XX)-oțeluri speciale (**oțeluri cu proprietăți fizice speciale**)

Număr = 1.**11**XX-oțeluri speciale (**oțeluri pentru vase sub presiune și pentru construcții mecanice cu %C < 0,5**)

Număr = 1.**12**XX(& 1.90XX)-oțeluri speciale (**oțeluri pentru vase sub presiune și pentru construcții mecanice cu % C ≥ 0,5**)

Număr = 1.**13**XX-oțeluri speciale (**oțeluri pentru vase sub presiune și pentru construcții mecanice cu cerințe speciale**)

Număr = 1.**14**XX-oțeluri speciale

Număr = 1.**15**XX la 1.18XX-oțeluri de scule

Număr = 1.**19**XX-oțeluri speciale

- **Simbolizarea funcție de compoziția chimică:** C urmat de două cifre = 100x conținutul de carbon %

Ex: C45 oțel carbon de îmbunătățire cu C = 0,42...0,5%.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

Oțelurile pentru construcții și structuri sudate sunt oțeluri carbon și slab aliate, destinate realizării prin procedee tehnologice de mare productivitate (deformare plastică, tăiere, sudare etc.) a structurilor metalice satisfăcând, după caz, condiții de rezistență sau condiții de rezistență și etanșitate. Principalele caracteristici de utilizare ale acestor oțeluri sunt:

1. Caracteristicile mecanice de rezistență - limita de curgere și rezistența la rupere - în funcție de care se definesc mărcile de oțel și se stabilesc tensiunile admisibile de calcul ale construcțiilor și structurilor sudate.
2. Caracteristicile de sudabilitate, considerate atât în ceea ce privește aspectul tehnologic al reperului în execuție, cât și cel al siguranței față de ruperea fragilă prin gruparea produselor în clase de calitate.

În funcție de specificul condițiilor de utilizare și în corelație cu acestea, în funcție de caracteristicile garantate pe produsul finit, oțelurile pentru construcții și structuri sudate se grupează în următoarele categorii:

- oțeluri cu destinație generală;
- oțeluri pentru aparate și recipiente sub presiune;
- oțeluri pentru construcții navale și platforme marine.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

A 1. Oțeluri destinație generală.

Mărcile de oțel pentru construcții și structuri sudate și principalele lor domenii de utilizare sunt prezentate în tabelul 1. Corespunzător mijloacelor metalurgice pentru influențarea structurii oțelului și obținerea caracteristicilor de utilizare pe produsul finit, se disting:

1) Oțeluri de uz general, care sunt oțeluri carbon și slab aliate livrate în stare laminată într-o gamă, largă de produse, avantajoase în utilizări fără condiții tehnice speciale. Limita de curgere a acestor oțeluri este de 240 ... 360 N/mm² iar tenacitatea este garantată la temperaturi până la -20°C.

2) Oțeluri cu rezistență mărită la coroziune atmosferică, care se încadrează tot în grupa oțelurilor de masă, dar conțin în compoziția chimică elemente de aliere care măresc rezistența metalului la acțiunea corosivă a agenților atmosferici. Aceste oțeluri sunt destinate construcțiilor cu indicatori ridicați suprafață/tonă de construcție, care, de obicei, sunt greu de întreținut.

3) Oțeluri cu granulație fină, realizate în condiții tehnologice controlate pentru obținerea unei structuri ferito-perlitice fine, caracterizată prin valori ridicate ale limitei de curgere (până la 460 N/mm²) și garanții de tenacitate până la -50°C. Produsele plate și profilate din aceste oțeluri, livrate în stare laminată controlat sau normalizată, sunt destinate execuției de structuri de rezistență suplă, cu capacitate portantă mare raportată la greutatea proprie a construcției.

4) Oțeluri pentru indoire la rece, care se încadrează în aceeași categorie tehnologică ca și oțelurile cu granulație fină dar, cu o bază de aliere diferită, au o deformabilitate la rece superioară și garanții de tenacitate până la -20°C. Împreună cu produsele formate la rece din oțeluri de uz general, produsele din aceste oțeluri oferă posibilități largi de diversificare a soluțiilor constructive pentru reducerea greutății proprii a construcțiilor sudate.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

A 1. Oțeluri destinație generală.

5) Oțeluri cu limită de curgere ridicată, livrate în stare limbunătățită, care sunt oțeluri aliate tratate termic pentru obținerea unor structuri metalurgice preponderent bainitice, favorabile execuției cu precauții tehnologice minime a unor construcții sudate de performanță deosebită. În această categorie se încadrează și două grupe de oțeluri netipizate până în prezent, și anume: oțelurile bainitice cu 0,03%C și 2...4% Mn și oțelurile cu structură bifazică sau trifazică formate din ferită, martensită și/sau austenită, capabile de performanțe superioare în ceea ce privește sudabilitatea și deformabilitatea rece.

6) Oțeluri pentru armarea betonului, care sânt oțeluri carbon sau carbon-mangan livrate sub formă de sârme și bare netede sau profilate, ca și sub formă de plase sudate pentru armarea construcțiilor din beton.

7) Oțeluri pentru precomprimarea betonului, care sunt oțeluri livrate sub formă de bare în stare tratată termic cu limită de curgere până la 1800 N/mm² pentru construcții din beton greu solicitate.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

A 2. Oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune

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. 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 TkV27 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: $T_{kv40} = T_{kv27} + 0,67 \cdot (40 - 27)^\circ\text{C}$.

Oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune la temperatură ambiantă și la temperaturi înalte

Acestea sunt standardizate la nivel național prin standardele STAS 2883/3-91 și SR EN 10028-2:1996, care reprezintă traducerea versiunii franceze a Standardului European EN 10028-2:1992.

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 exigentelor 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.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

A 3. Oțeluri pentru construcții navale și platforme marine

Această categorie de oțeluri cuprinde oțeluri realizate în conformitate cu prescripțiile tehnice ale Registrului Naval Român. Se poate constata că sunt oțeluri cu cele din grupa oțelurilor de uz general și a oțelurilor cu granulație fină. Prezintă însă particularitatea care constă din necesitatea de a modifica compoziția chimică în funcție de grosimea produsului în vederea asigurării unor valori unice ale limitei de curgere pentru toate grosimile de produse realizate dintr-o marcă de oțel.

Această particularitate este impusă de regula specifică proiectării în domeniul naval și anume asigurarea la fiecare clasă de oțel a unor valori unice ale tensiunii de calcul indiferent de grosimea de produs.

De aici provine necesitatea compensării prin soluții tehnologice adecvate, a efectelor metalurgice rezultate mai ales din modificarea vitezelor de răcire după laminare sau tratament termic, în funcție de grosimea de produs.

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %											
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V	W	Alte elem.
1.	A	max. 0,23	0,55	0,35	0,05	0,05	—	—	—	—	—	—	Al ≤ 0,02
2.	D	max. 0,21	0,6-1,4	0,1-0,35	0,05	0,05	—	—	—	—	—	—	Al ≤ 0,02
3.	E	max. 0,18	0,7-1,5	0,1-0,35	0,05	0,05	—	0,1-0,3	—	—	—	—	Al = 0,06 Cu ≤ 0,35
4.	A32	max. 0,18	0,9-1,6	0,1-0,5	0,04	0,04	0,2	0,4	0,08	—	—	—	Al = 0,06 Cu ≤ 0,35
5.	D32	max. 0,18	0,9-1,6	0,1-0,5	0,04	0,04	0,2	0,4	0,08	—	—	—	Al = 0,06 Cu ≤ 0,35
6.	E32	max. 0,18	0,9-1,6	0,1-0,5	0,04	0,04	0,2	0,4	0,08	—	—	—	Al = 0,06 Cu ≤ 0,25
7.	A36	max. 0,18	0,9-1,6	0,1-0,5	0,04	0,04	0,2	0,4	0,08	—	—	—	Al = 0,06 Cu ≤ 0,35 V = 0,05-0,10 Nb=0,02-0,05 Ni = 0,2-0,4 Mo ≤ 0,08 Cr ≤ 0,20
8.	D36	max. 0,18	0,9-1,6	0,1-0,5	0,04	0,04	0,2	0,4	0,08	—	—	—	Al = 0,06 Cu ≤ 0,35 V = 0,05-0,10 Nb= 0,02-0,05 Ni = 0,2-0,4 Mo ≤ 0,08 Cr ≤ 0,20
9.	E36	max. 0,18	0,9-1,6	0,1-0,5	0,04	0,04	0,2	0,4-0,7	≤ 0,08	—	—	—	Al = 0,06 Cu ≤ 0,35 V = 0,05-0,10 Nb= 0,02-0,05 Ni= 0,2-0,4 Mo ≤ 0,08 Cr ≤ 0,20
10.										≤ 0,1	—	—	Al = 0,06 Cu ≤ 0,35 V = 0,05-0,10 Nb= 0,02-0,05 Ni = 0,2-0,4 Mo ≤ 0,08 Cr ≤ 0,20

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

B. Oțeluri pentru construcții mecanice

Prin construcții mecanice (*în cazul acestei curs*), se înțeleg mașinile **pentru** producerea și transformarea energiei (motoare, pompe, turbine etc.); organele de transmitere a puterii (angrenaje, axe, arbori, rulmenți), piesele de fixare (șuruburi, pene etc.) ale acestora. Astfel, oțelurile pentru construcții mecanice sunt acele mărci de oțel și produsele metalurgice destinate în principal realizării acestei categorii mari de construcții tehnice. Uzual, aceste mărci de oțel sunt prezentate grupate în următoarele categorii:

- oțeluri de uz general, utilizate de regulă în stare netratată termic;
- oțeluri carbon de calitate și aliate pentru piese tratate termic;
- oțeluri pentru prelucrări pe mașini-unelte automate;
- oțeluri pentru organe de asamblare;
 - oțeluri pentru rulmenți;
 - oțeluri pentru arcuri;
 - oțeluri pentru deformare plastică la rece.

B.1. Oțeluri de uz general

La realizarea construcțiilor mecanice, oțelurile de uz general sunt folosite în mod curent deoarece, sub formă de produse finite, prezintă proprietăți tehnologice și de utilizare satisfăcătoare pentru marea majoritate a cazurilor în plus sînt cele mai economice. Principalele mărcile de oțel de uz general folosite pentru construcții mecanice, definite prin valoarea minimă a rezistenței la tracțiune, exprimată în daN/mm², definite în STAS 500-80 sunt: OL 30, OL 32, OL 34, OL 37, OL 42, OL50, OL60, OL70.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

B.2. Oțeluri carbon de calitate și aliate pentru piese tratate termic

Principalul mijloc de punere în valoare a capacității de rezistență a oțelurilor este tratamentul termic, aplicat adecvat compoziției chimice a acestora și tipului de piesă considerat. Comportarea corespunzătoare la tratament termic și mai ales reproductibilitatea caracteristicilor obținute în condițiile respectării aceluiași parametri termici (durată, temperatură etc.) se pot realiza numai în cazul unor oțeluri de calitate, cu conținuturi în elemente reziduale și incluziuni cât mai reduse, elaborate conform unor tehnologii specifice acestui scop. În general oțelurile carbon se folosesc la realizarea de piese supuse unor solicitări moderate, iar prin aliere crește capacitatea oțelului de a prelua solicitări mari. Principalele mărci de oțel destinate pentru piese tratate termic sunt: OLC 8, OLC10, OLC15, OLC20, OLC25, ..., OLC60 (STAS 880-88), 35Mn16, 40Mn10 (STAS 11513-88), 17MnCr10, 26MnSi14, 15Cr9, 18CrNi20, 34MoCr11, etc (STAS 791-88, STAS 7450-89).

B.3. Oțeluri pentru organe de asamblare

Organele de asamblare sunt piese caracterizate, din punctul de vedere al configurației geometrice, prin existența unui concentrator puternic de tensiuni care este filetul. Ca urmare, oțelurile folosite trebuie să prezinte o sensibilitate minimă la efectul de concentrare în condițiile unei rezistențe mecanice corespunzătoare. Organele de asamblare standardizate care lucrează la temperatura ambiantă sunt confecționate din oțelurile care îndeplinesc prescripțiile indicate în tabelul alăturat.

Caracteristica	Unitatea de măsură	Grupa de caracteristici mecanice						
		4.6	4.8	5.6	5.8	8.8	10.9	12.9
Rezistența de rupere minimă	N/mm ²	400	420	500	520	800	1040	1220
Limita de curgere minimă	N/mm ²	240	340	300	420	640	940	1100
Alungirea la rupere A ₅ minimă	%	22	14	20	10	12	9	8
Reziliența KCU 5 minimă	J/cm ²	—	—	50	—	60	40	30
Categoriile de oțel recomandate	—	A	AB	AB	AB	BCDE	DE	E
Starea materialului în produsul finit	—	Fără tratament termic			Cu tratament termic			

Notații. A — oțel carbon de uz general; B — oțel pentru prelucrări pe mașini-unelte automate; C — oțel carbon de calitate; D — oțel cu Mn (1 — 1,4%) și B(0,001—0,005%); E — oțel aliat

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

B.4. Oțeluri pentru rulmenți

Materialul destinat confecționării rulmenților trebuie să posede următoarele proprietăți de bază:

- limită de elasticitate ridicată - materialul să nu se deformeze sub influența sarcinilor statice și dinamice;
- rezistență la oboseală ridicată, care să permită o funcționare normală, în cursul orelor de exploatare;
- o rezistență la rupere, la șocuri și la uzură ridicată, care să permită rulmentului să reziste, fără a se fisura sau distruge, la sarcinile statice și dinamice importante, la care este supus în timpul lucrului.

Pentru atingerea acestor proprietăți, oțelul de rulmenți trebuie să aibă o duritate finală de 62...66 HRC pe toată secțiunea piesei.

Oțelurile pentru rulmenți utilizate curent au %Cm = 0,95...1,10 %, au conținuturile de impurități drastic limitate (%Sm ≤ 0,020 % și %Pm ≤ 0,027 %) și sunt slab aliate cu crom (%Crm = 1,20...1,65 %); pentru creșterea călibrității (impusă de realizarea componentelor rulmenților de mari dimensiuni) se poate apela la alierea suplimentară cu mangan (%Mnm = 0,90...1,35 %) și molibden (%Mom = 0,45...0,80 %), iar pentru îmbunătățirea purității se poate utiliza tratarea în vid a oțelurilor la elaborare.

Oțelurile din această categorie au calitatea reglementată de STAS 1456/1 și STAS 11250, simbolizarea lor cuprinzând grupul de litere RUL, urmat de un număr convențional (fără semnificație precizată) și, eventual, de litera V, dacă oțelurile sunt tratate în vid la elaborare; principalele mărci de oțeluri pentru rulmenți sunt RUL1, RUL1V, RUL2, RUL2V și RUL3V, a căror compoziție chimică (încadrată în prescripțiile prezentate anterior) este diferențiată pentru asigurarea următoarelor caracteristici de călibritate: J 6 – 61/62 la mărcile RUL1 și RUL1V, J 13,5 – 61/62 la mărcile RUL2 și RUL2V și J19 – 61/62 sau J 31 – 61/62 la marca RUL3V. Compoziția chimică a oțelurilor RUL1 și RUL2 se prezintă în tabelul de mai jos.

Tabelul 1

Standard	Simbol	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo
ISO 683-17	100Cr6	0.93-1.05	0.15-0.35	0.25-0.45	0.025	0.015	1.35-1.60	max.0.10
	100CrMnSi6-4	0.93-1.05	0.45-0.75	1.00-1.20	0.025	0.015	1.40-1.65	max.0.10

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: **A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate;** **B. oțeluri pentru construcții mecanice;** **C. oțeluri inoxidabile și refractare.**

C. OȚELURI INOXIDABILE ȘI REFRACTARE

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). Conform standardului SR EN 10088:1997, oțelurile care conțin cel puțin 10,5% Cr și max. 1,2% C sunt considerate oțeluri inoxidabile dacă 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 10088-1:1997, 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

- prin turnare: T15CM70; T15Cr280 (feritice); T6NiCr180; T6MoNiCr180; T10NiCr180; T10MoNiCr180; T15NiCr180; T15MoNiCr180; T6CuMoNiCr200 (austenitice) – STAS 10718-88.

Oțeluri inoxidabile

În tabelul de mai jos este prezentată corespondența dintre mărcile de oțel inoxidabil din standardul național cu cele din SR EN 10088-1:1995.

Corespondența dintre mărcile de oțel inoxidabile utilizate pe plan național

STAS 3583-87	SR EN 10088-1:1997
Oțeluri feritice	
7AICM30	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	—

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: **A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate;** **B. oțeluri pentru construcții mecanice;** **C. oțeluri inoxidabile și refractare.**

C.1. Oțeluri inoxidabile

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
- 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 coroziune. 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.

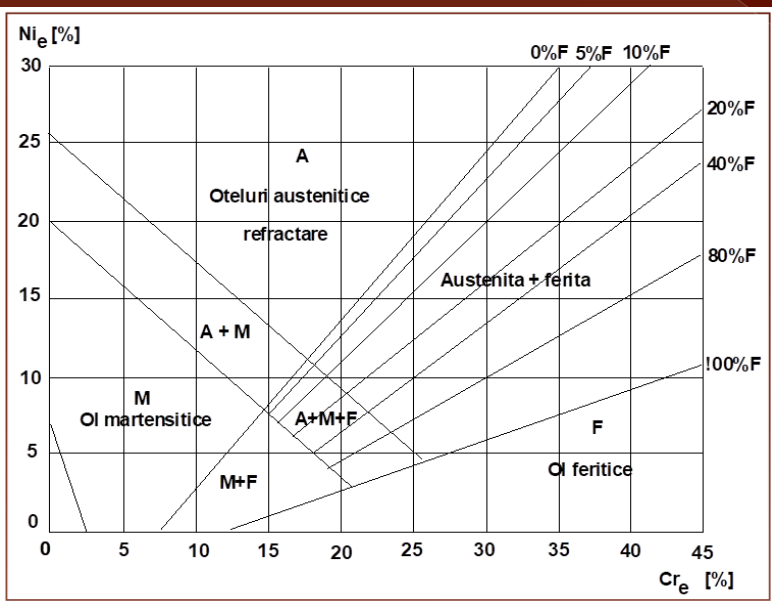
4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: **A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate;**
B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

C.1. Oțeluri inoxidabile

Dependenta între compoziția chimică a oțelurilor inoxidabile și structura lor obținută la răcirea în aer este dată de diagrama Schaeffler, în care influența elementelor alfa-gene este luată în considerare prin echivalentul în Cr (ECr), iar influența elementelor gamma-gene prin echivalentul în Ni (ENi)

$$ECr = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb$$

$$ENi = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn + 30\%N$$



*Structura oțelurilor inoxidabile
 (Diagrama Schaeffler)*

$\frac{E_{Cr}}{E_{Ni}}$	STRUCTURA							
	F	M	A	F+M	M+F	A+F	A+M	A+M+F
00..16			///					
01..2				///				
01..8		///						
16..4								///
2..12					///			
4..13	///							
4..18						///		
4..25							///	

Structura oțelurilor inoxidabile prezentată în diagrama Schaeffler depinde de raportul ECr/ENi.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

C.1. Oțeluri inoxidabile

Compoziția chimică a marilor de oțeluri inoxidabile conform STAS 3583-87

Nr. crt.	Marca de oțel	Compoziția chimică, %												Marcare	Obs.
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	V	W	Alte elem.		
OȚELURI 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)xr	—
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.	12NNCr180	≤ 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	—
OȚELURI 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)xr	—
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)xrz	—
18.	22NiCr170	0,14-0,23	≤ 1,0	≤ 1,0	0,03	0,035	15,5-17,5	1,5-2,5	—	—	—	—	—	(v)xb	—
OȚELURI INOXIDABILE, STAS 3583-87, OȚELURI 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)xr	—
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.	1 MoCr260	≤0,08	≤ 0,4	≤0,4	—	0,02	0,03	25,0-26,0	—	0,75	—	—	N≤ 0,015	(g)xa	—

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: **A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate;** **B. oțeluri pentru construcții mecanice;** **C. oțeluri inoxidabile și refractare.**

C.1. Oțeluri inoxidabile

Otelurile inoxidabile feritice sunt monofazice și nu suferă transformări structurale la încălzire și răcire, au rezistență la coroziune superioară celor martensitice, dar inferioară celor austenitice. Sudabilitatea lor și prelucrabilitatea prin presare la rece este mărită prin adaosuri de aluminiu, nichel, crom, molibden, titan, niobiu și prin micșorarea conținutului de carbon.

Otelurile 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.

Otelurile 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).

Utilizările oțelurilor inoxidabile

Marca oțelului	Indicații de utilizare
0	1
A. OȚELURI FERITICE	
7 AlCr 130	Elemente de mașini și instalații care lucrează la 350°C...450°C în industria chimică, petrochimică, turbine hidraulice
8 Cr 170	Piese care lucrează în medii cu agresivitate medie (leșii slabe, acizi organici oxidanți): tacâmuri, vase și articole de menaj, cuve mașini de spalat, chiuvete, decorațiuni interioare la automobile, recipiente în industria laptelui, celulozei, hârtiei, zahărului, amidonului, drojdiei de bere etc.
8 TiCr 170	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.
2 TiMoCr 180	Piese deformate plastic la rece care lucrează în medii cu agresivitate moderată: piulițe, șuruburi, țevi, recipiente pentru apă, achimbătoare de căldură, vase și aparate pentru industria alimentară. Oțel economic înlocuitor al oțelurilor crom-nichel
1 MoCr 260	Elemente pentru utilaje și instalații în industria chimică ce lucrează în medii reducătoare, acide și în prezența ionilor de clor
T15 Cr 170	Piese rezistente în acid fosforic 60...100% până la 80°C, acid acetic la 20°C, acid formic 85...100% până la 30°C
T15 Cr 280	Piese rezistente la coroziune în acid azotic de maximum 65% până la fierbere, soluții sulfuroase, acizi organici

C. OȚELURI 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
5NiCr180	Elemente și instalații tehnologice care lucrează în medii corosive. Construcții criogenice. Tehnica portuară. Instalații sanitare, conducte de apă curentă, ceasuri, podoabe, articole de artă etc.
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
10TiMoNiCr175	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. Tehnica portuară și explorări 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

B. OȚELURI MARTENSITICE

10 Cr 130	Elemente de mașini și utilaje care lucrează cu apă și abur: palete pentru turbine cu abur și hidraulice, ventile, armături și piese pentru pompe, scuturi pentru turbine, articole de menaj etc.
20 Cr 130	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, ventile, instrumente medicale, aparate pentru gimnastică și sport, articole de uz casnic etc.
30 Cr 130 40 Cr 130	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, palete de turbine, piese de pompe, armături, utilaje miniere, instrumente medicale etc.
35 MoCr 165	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	Produce cu capacitate mare de tăiere: lame de cuțit, foarfece, instrumente chirurgicale, scule de măsurare (șublere) și control (calibre)
90VMoCr180	Produce 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 ventile, 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.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: **A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate;** **B. oțeluri pentru construcții mecanice;** C. oțeluri inoxidabile și refractare.

C.1. Oțeluri inoxidabile

Oțelurile inoxidabile tip duplex (ferito – austenitice)

- Au continut scazut de carbon (< 0,05%) si extrem de inalt de crom (21...26%), nichel (3...8%) si mai pot contine molibden (0,1...4%) si mangan (1,5...3%).
- Rezista în mediile cele mai corozive.
- Sunt materiale scumpe, dar care sunt de neînlocuit atunci când se cere rezistenta foarte buna la corozione combinata cu rezistenta mecanica, rezistenta la oboseala si rezistenta la corozione prin pitting.

Oțelurile super duplex apar în anii 1980 și sunt oțeluri înalt aliate, cu performanțe foarte bune și o rezistență la corozione extrem de bună.

Structura acestor oțeluri conține aproximativ 50% ferită și 50% austenită de aceea oțelurile inoxidabile duplex mai sunt cunoscute și ca oțeluri inoxidabile ferito-austenitice sau austenito-feritice. Ele combină bunele proprietăți ale oțelurilor feritice și ale celor austenitice.

În termeni simpli se poate spune că ferita asigură rezistența mecanică și rezistența la corozione, în timp ce austenita asigură ductilitatea, iar cele două împreună duc la obținerea unui oțel cu granulație fină, microstructural bifazic, cu rezistență la corozione. Datorită acestei structuri ele sunt rezistente la corozionul prin oboseală care afectează oțelurile austenitice ce funcționează în medii umede de temperatură înaltă.

De aceea, tancurile în care se depozitează lichide fierbinți se construiesc din astfel de oțeluri. Este de remarcat că oțelurile duplex suferă o reducere a rezistenței mecanice la temperaturi sub -50°C și după expunerea la peste 300°C, așa că este indicat să fie utilizate doar în acest interval de temperaturi.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

C.1. Oțeluri inoxidabile

Oțelurile inoxidabile tip duplex (wt%). (A219 is a superduplex alloy)

Designation	Cr	Ni	C	Mn	Si	P	S	Other	UTS / MPa	Elongation / %
Type 329	28.0	6.0	0.10	2.0	1.0	0.04	0.03	1.5 Mo	724	25
Type 326	26.0	6.5	0.05	1.0	0.6	0.01	0.01	0.25 Ti	689	35
2RE60	18.5	4.5	0.02	1.5	1.6	0.01	0.01	2.5 Mo	717	48
IC378	21.8	5.5	0.03	1.38	0.40	0.03	0.01	3.0 Mo 0.18 Cu 0.07 V 0.14 N		
IC381	22.1	5.8	0.02	1.92	0.48	0.03	0.01	3.2 Mo 0.07 Cu 0.13 V 0.14 N		
A219	25.6	9.4	0.03	0.70	0.60	0.02	0.01	4.1 Mo 0.27 N		

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

C.2. Oțeluri refractare

Oțelurile refractare sunt bogat aliate în crom, la care se adaugă ca elemente principale aluminiu și siliciu. Conventional, se consideră oțeluri refractare acele oțeluri care prezintă bună rezistență asociată cu bune proprietăți mecanice la temperaturi de exploatare ce depășesc 773 ... 873 K.

Creșterea temperaturii de lucru provoacă modificări în comportarea oțelului atât din punct de vedere chimic, cât și mecanic. Temperaturile ridicate favorizează agresiunea mediului de lucru asupra metalului, respectiv apar fenomene de coroziune la temperatură înaltă și se cere ca oțelurile refractare să prezinte rezistență chimică la temperatura de lucru.

În mod convențional se consideră că un oțel este încă refractar la o temperatură T_x , dacă are o greutate de metal oxidat de 1 g/m²h și la $T_x + 50$ are o greutate de metal oxidat de 2 g/m²h, la durata de expunere de 120 ore cu patru răciri intermediare.

Rezistența la oxidare a oțelului refractar este o consecință a formării unui strat de oxid aderent și impermeabil. Formarea acestui strat de oxid este condiționată de tensiunile de descompunere a oxidului. Dacă descompunerea oxidului este superioară presiunii parțiale a oxigenului în aer sau în mediul de lucru, atunci metalul este nobil. Dacă descompunerea este inferioară acestei presiuni parțiale pot apărea două situații :

- oxidul este volatil, suprafața metalului nu este acoperită și în consecință se continuă distrugerea prin oxidare
- oxidul este volatil, suprafața metalului se acoperă de un strat de oxid. Dacă volumul de oxid format este mai mic decât al metalului din care provine, nu se formează un strat de oxid care să acopere întreaga suprafață și continuă oxidarea. Dacă volumul de oxid format este mai mare decât al metalului din care provine, stratul de oxid va fi compact și protejează metalul împotriva oxidării.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: **A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate;** **B. oțeluri pentru construcții mecanice;** C. oțeluri inoxidabile și refractare.

C.2. Oțeluri refractare

Clasificarea oțelurilor refractare se face în funcție de structură în : martensitice, feritice și austenitice.

OȚELURI REFRACTARE MARTENSITICE

Oțelurile refractare martensitice se caracterizează prin conținutul în Cr de 5 . . . 22 %, la care se adaugă aluminiu și molibden (Cr—Al—Mo) sau molibden - siliciu sau siliciu și nichel (Cr—Si—Ni).

Oțelurile aliate cu 5...6% Cr și având ca elemente de aliere siliciu, aluminiu, molibden, titan prezintă o bună rezistență la oxidare pînă la temperaturi de lucru de 923 K, fiind folosite cu precădere în rafinările de petrol și în industria de sinteză a carburanților. Alierea cu aluminiu (0,6%) le mărește rezistența la oxidare în aer pînă la temperaturi de 1 073 K.

O mare parte din producția acestor oțeluri este folosită sub formă de țevi în industria petrolieră, în industria chimică de sinteză și la fabricarea supraîncălzitoarelor.

Oțelurile refractare martensitice cu 7... 10 % Cr, avînd ca elemente de aliere siliciu și adesea molibdenul sînt folosite cu precădere la fabricarea supapelor motoarelor cu ardere internă. Supapele de evacuare de la motoarele cu ardere internă lucrează la temperaturi de peste 1 023 K și trebuie să prezinte o bună rezistență la coroziune, datorită gazelor evacuate și același timp trebuie să aibă o rezistență ridicată la eroziunea particulelor din gazele de ardere.

Oțelurile refractare martensitice cu 13% Cr, aliate sau nu cu aluminiu, prezintă o bună rezistență la coroziune la temperaturi de peste 1 073 K și se folosesc pentru fabricarea supapelor motoarelor cu ardere internă și a paletelor de turbine cu vapori.

Oțelurile refractare martensitice cu 20 ... 22% Cr, la care se adaugă siliciu și nichel se folosesc la fabricarea supapelor motoarelor cu ardere internă puternic solicitate.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

C.2. Oțeluri refractare

OȚELURI REFRACTARE FERITICE

Aceste oțeluri se caracterizează prin conținut ridicat de crom (17...30%), la care se adaugă siliciu, aluminiu.

Oțelurile feritice cu 17% Cr prezintă o bună rezistență la oxidare în aer până la temperaturi de 1 123 ... 1 173 K, care poate fi ameliorată prin alierea cu Si.

Oțelurile feritice cu 27 ... 30% Cr prezintă o bună rezistență la oxidare în aer la temperaturi până la 1 373K și suficientă până la temperaturi de 1423 ... 1473 K.

Oțeluri refractare cu 8...13% Cr cu adăosuri de 1,2 ... 5% Al prezintă o structură feritică și rezistența lor la oxidare este bună în intervalul temperaturilor de 1 073... 1573K.

Oțelurile feritice prezintă dezavantajul că au o mică rezistență la rupere la cald — chiar sub sarcini mici.

Cu toate aceste dezavantaje, oțelurile refractare feritice, în special cele pe bază de crom-aluminiu, au o largă utilizare în fabricarea elementelor de încălzire datorită bunei refractarități în atmosfere oxidante, atmosfere formate din oxid de carbon — anhidridă carbonică, gaze sulfuroase, hidrogen sulfurat, amoniac uscat.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

C.2. Oțeluri refractare

OȚELURI REFRACTARE AUSTENITICE

Oțelurile refractare austenitice se caracterizează prin conținuturi ridicate în crom-nichel, recomandându-se calitățile 20-10 ; 25-12 ; 25-20 (conținut de crom și nichel).

Oțelurile refractare austenitice cu conținutul de 20 % Cr și 10 % Ni prezintă bună rezistență la coroziune în atmosferă umedă și o refractaritate bună până la temperatura de 1 173 K în atmosferă oxidantă și până la 973 K în atmosferă reducătoare sulfurantă.

Se pot prelucra ușor (deformare plastică, sudare) și au o rezistență mecanică mai bună decât oțelurile feritice cu conținut de 17% Cr.

Oțelurile refractare austenitice de tipul 25-12 sunt refractare până la temperaturi de 1423K în atmosferă sulfuroasă și până la 1173 K în atmosferă reducătoare.

Oțelurile refractare austenitice de tipul 25-20 au de obicei 1...2% Si și sunt refractare până la temperatura 1 423 K în atmosferă oxidantă și și până la 1323 K în atmosferă ușor sulfuroasă, iar pe măsura creșterii cantității de produse sulfuroase refractaritatea se păstrează până la temperaturi de 1173 K. Această categorie de oțeluri este cea mai folosită din grupa oțelurilor refractare austenitice.

Oțelurile refractare austenitice se folosesc pentru fabricarea cutiilor de cementare, creuzetelor pentru băi de săruri, camere de ardere pentru turboreactoare, turbine cu gaze, recuperatoare de căldură și supraîncălzitoare.

4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: A. oțeluri pentru construcții și structuri sudate; B. oțeluri pentru construcții mecanice; C. oțeluri inoxidabile și refractare.

C.2. Oțeluri refractare

OȚELURI REFRACTARE AUSTENITO-FERITICE

Aceste oțeluri se caracterizează printr-un anumit raport între ECr/ENi așa cum s-a analizat în capitolele anterioare. Oțelurile austenito-feritice au caracteristici refractare situate între cele prezentate la oțelurile austenitice și feritice.

Frecvent se folosesc calitățile 25 - 3 ; 27 - 5 ; 28 - 9 cu conținut de carbon de 0,3...0,4%. Oțelurile refractare austenito-feritice au tendința de fragilizare datorită separărilor de fază sigma și prezintă o bună refractaritate în aer pînă la 1373 K ... 1 423 K. Se folosesc la fabricarea creuzetelor pentru băi de săruri și a supapelor de evacuare de la motoarele cu ardere internă. Se re-omandă ca în compoziția chimică a oțelurilor austenito-feritice folosite pentru fabricarea supapelor să se adauge pînă la 3% Mo (oțel 27-5-3).

Tehnologiile practicate în prezent în producerea oțelului inoxidabil (dar și a celui refractar) pot fi grupate astfel:

- procedee la care procesele de oxido-reducere se desfășoară la presiunea atmosferică, în cuptor electric cu 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).

4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;

Oțelurile din această clasă se utilizează pentru confecționarea:

- sculelor (cuțite pentru strunjire, rabotare și mortezare, burghie, alezoare, freze, tarozi, filiere etc.) destinate prelucrării prin aşchiere a semifabricatelor și pieselor din diverse materiale (oțeluri, fonte, lemn, piatră, materiale plastice etc.),
- sculelor de prelucrare prin deformare plastică la rece sau la cald a diferitelor materiale (dălți, cuțite pentru foarfeci, poansoare, matrițe pentru prelucrarea oțelurilor sau maselor plastice, nicovale pentru forjat, dornuri, punctatoare, scule de tragere la rece a materialelor metalice etc.),
- unor unelte și instrumente de lucru (șurubelnițe, chei fixe, ferăstraie pentru lemn, ace de trasare, vârfuri de centrare pentru mașini – unelte, instrumente chirurgicale etc.),
- unor piese rezistente la uzare (de la mașinile textile, mașinile agricole etc.)
- elementelor active (care trebuie să prezinte durabilitate ridicată) ale instrumentelor de măsurare și verificare a dimensiunilor pieselor (rigle, șublere, micrometre, calibre etc.).

În ordinea crescătoare a durității și rezistenței la uzură, principalele tipuri de materiale utilizate la executarea sculelor aşchietoare sunt:

- **oțelurile carbon de scule;**
- **oțelurile aliate de scule;**
- **oțelurile rapide;**
- **carburile metalice (sinterizate);**
- **oxizii sinterizați;**
- **materialele superdure.**

4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;

În corelație cu destinația lor, oțelurile din această clasă trebuie să corespundă mai multor condiții generale, care pot fi formulate astfel:

- oțelurile trebuie să prezinte duritate ridicată (mai mare decât duritatea materialelor semifabricatelor sau pieselor care se prelucurează cu sculele confecționate din ele) și tenacitate suficientă (pentru ca tăișurile și corpul sculelor să poată prelua solicitările mecanice la care sunt supuse în timpul utilizării lor pentru prelucrarea semifabricatelor sau pieselor, fără apariția unor fenomene nedorite de fisurare sau rupere fragilă - știrbiri ale muchiilor așchietoare în timpul lucrului); duritatea ridicată se asigură prin aplicarea unui TT final de călire martensitică a sculelor, ceea ce impune ca, ținând seama că duritatea martensitei crește odată cu concentrația de carbon a oțelului supus călirii, oțelurile pentru scule să fie (de obicei) hipereutectoide;
- oțelurile trebuie să-și mențină duritatea ridicată și în urma încălzirii lor datorită frecărilor ce apar între scule și semifabricatele sau piesele supuse prelucrării; deoarece încălzirile sculelor călite martensitic au efectele unor reveniri, se impune ca oțelurile să prezinte o bună stabilitate la revenire și/sau să fie aliate cu elemente care să le asigure durificarea secundară;
- oțelurile trebuie să aibă o bună călibilitate, astfel ca zona de la suprafața sculelor durificată prin călire să fie suficient de extinsă (adâncă) și să permit ascuțirea repetată a acestora, fără ca duritatea tăișurilor să se micșoreze inadmisibil;
- oțelurile trebuie să prezinte sensibilitate redusă la deformare și/sau fisurare prin călire și să aibă tendință mică de decarburare superficială în timpul prelucrărilor și TT la care sunt supuse în procesul tehnologic de realizare a sculelor (deoarece micșorarea concentrației carbonului în stratul superficial diminuează călibilitatea și capacitatea de călire);
- oțelurile trebuie să prezinte rezistență la uzură, la rece și la cald ;
- oțelurile trebuie să prezinte economicitate.

4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;

1. Oțelurile carbon pentru scule

Oțelurile din această categorie au concentrația de carbon ridicată ($\%C_m = 0,65...1,25 \%$) și conținuturile de impurități limitate la nivelurile corespunzătoare oțelurilor de calitate. Fiind în marea majoritate oțeluri hipereutectoide, structura lor de echilibru la ta este alcătuită din perlită și cementită secundară (dispusă sub formă de rețea la marginea formațiunilor perlitice. Semifabricatele din astfel de oțeluri se realizează prin deformare plastică la cald și se livrează în starea structurală (cu perlită globulară) conferită de aplicarea unui TT de recoacere de globulizare a cementitei (numită și recoacere de înmuiere).

Domeniu de utilizare :executarea sculelor care lucrează până la viteze de 20 m/min, în general acționate manual (filiere, tarozi, pile etc), precum și a sculelor care sunt solicitate cu șoc (dălți, poansoane etc.).

Oțelurile din această categorie au calitatea reglementată prin STAS 1700; principalele mărci de oțeluri sunt: OSC7; OSC8, OSC9, OSC10, OSC11 și OSC12, (semnificația simbolurilor fiind de exemplu: OSC10 corespunde unui oțel carbon pentru scule având concentrația masică medie de carbon $\%C_m = 1,0 \%$). Deoarece creșterea concentrației masice de carbon și aplicarea de TT sunt singurele căi de acțiune pentru asigurarea caracteristicilor de utilizare ale acestor oțeluri, încadrarea lor în condițiile generale anterior formulate se prezintă astfel:

- oțelurile prezintă sensibilitate ridicată la decarburarea superficială și la fisurarea prin călire;
- sculele realizate din astfel de oțeluri au duritatea (după TT final) 55...60 HRC, care se menține numai dacă acestea nu se încălzesc (în timpul utilizării) la temperaturi mai mari de 150...200 °C;
- călibilitatea acestor oțeluri corespunde unui indice J 5 – 55/60.

4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;

2. Oțelurile aliate pentru scule

Oțelurile aliate pentru scule au un conținut de carbon de 0,8-2,2%, precum și o serie de elemente de aliere ca: wolfram, crom, vanadiu, nichel, molibden, mangan etc. Prezența acestor elemente îmbunătățește calitatea oțelurilor prin ridicarea rezistenței la uzură, la compresiune, a rezistenței termice și a călibrității. Structura acestor oțeluri prezintă o granulație fină, iar carburile libere ale elementelor de aliere contribuie la mărirea durtății și a rezistenței la uzură.

Cu sculele executate din aceste materiale se pot utiliza viteze de așchiere de 30-35 m/min, fără a se depăși în zona de așchiere temperaturi de 350-400°C.

Sunt mai greu așchiabile decât oțelurile nealiate, în schimb se comportă mai bine la tratamentul termic (nu se decarburează, nu se deformează și nu au tendința de fisurare). Din acest motiv sunt adecvate executării sculelor profilate de precizie, cărora li se cere și o mare rezistență la uzură. Astfel, se execută din oțeluri aliate broșe, filiere, tarozi, alezoare, dar și scule pentru prelucrări prin deformare.

Prezența elementelor de aliere în aceste oțeluri prezintă un dezavantaj, acela al ridicării temperaturii de călire care, în funcție de compoziția materialului, este cuprinsă între 950°C și 1150°C, temperatura de revenire fiind între 100°C și 300°C. Acest lucru mărește consumul de energie la tratamentul termic și, alături de costul elementelor de aliere, duce la scumpirea sculelor executate din oțeluri aliate față de cele din oțeluri carbon.

4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;

2.1. Oțelurile aliate pentru scule așchietoare, scule (rezistente și foarte rezistente la uzare) de prelucrare prin deformare plastică la rece și instrumente de măsurare sau verificare au concentrațiile de carbon ridicate ($\%C_m = 0,8...2,00 \%$), conținuturile de impurități limitate la nivelul $\%P_m, \%S_m \leq 0,03 \%$ și sunt slab, mediu sau înalt aliate cu diverse elemente, cum ar fi cromul ($\%C_{r_m} = 1,0...12,0 \%$), wolframul ($\%W_m = 0,8...2,2 \%$), vanadiul ($\%V_m = 0,1...1,1 \%$), molibdenul ($\%M_o_m = 0,6...1,3 \%$) și manganul ($\%M_n_m = 0,8...2,2 \%$). Calitatea acestor oțeluri este reglementată de STAS 3611, care recomandă o simbolizare similară celei utilizate de STAS 791 pentru oțelurile aliate destinate pieselor pentru construcția de mașini, principalele mărci fiind: 90VMn20; 90VCrMn20; 100VMoCr52; 105MnCrW11; 105CrW20 și 117VCr6, ce corespund unor oțeluri aliate (hipereutectoide) din clasa structurală perlitică (cu structura de echilibru la temperatura alcătuită din perlită și carburi secundare) și 155MoVCr115; 165VWMoCr115 și 200Cr115, ce corespund unor oțeluri aliate din clasa structurală ledeburitică (cu structura de echilibru la temperatura alcătuită din perlită și carburi primare și secundare).

2.2. Oțelurile aliate pentru scule rezistente la șoc, unelte de mână și scule de prelucrare prin deformare plastică la cald au concentrațiile: $\%C = 0,25...0,60 \%$, impurități limitate: $\%P_m, \%S_m \leq 0,03 \%$ și sunt slab sau mediu aliate cu elemente ca: $W=1,2...2,0\%$, $Cr=0,4...2,8\%$, $Mo=0,5...2,0 \%$; $V=0,15...1,0\%$, $Ni=1,4...1,8\%$, $Si=0,4...1,2\%$ și $Mn=0,8...1,2\%$.

Ca și oțelurile de tipul precedent, calitatea și simbolizarea acestor oțeluri sunt reglementate de STAS 3611, care cuprinde ca principale mărci: 30VCrW85; 31VCr8; 31VMoCr29; 36VSiWMnCr53; 55MoCrNi10 și 55VMoCrNi17; oțelurile de acest tip aparțin clasei structurale a oțelurilor aliate (hipoeutectoide) perlitice (cu structura de echilibru la temperatura alcătuită din perlită și ferită). Utilizarea unor concentrații relativ mici de carbon (ca și alierea cu unele elemente, cum ar fi nichelul și manganul) este dictată la oțelurile de acest tip de necesitatea obținerii unor scule cu tenacitate ridicată (rezistente la șocuri mecanice sau termice repetate) și care să nu se decarbureze ușor în cazul utilizării lor (la temperaturi ridicate) pentru prelucrarea prin deformare plastică la cald a materialelor metalice.

4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;

2.3. Oțelurile rapide sunt destinate în principal confecționării sculelor așchietoare care permit prelucrarea cu viteze mari de așchiere a materialelor metalice, deoarece structurile obținute prin TT final aplicat acestor scule își mențin duritatea ridicată (60...65 HRC) până la temperaturi de 600...650°C.

Oțelurile de acest tip au calitatea reglementată de STAS 7382-80 și se simbolizează folosind grupul de litere Rp, urmat de un număr convențional (fără semnificație privind compoziția sau caracteristicile oțelurilor), principalele mărci fiind Rp1, Rp2, Rp3, Rp4, Rp5, Rp9, Rp10 și Rp11. Au un conținut ridicat de elemente de aliere și anume: wolfram 9-20%, crom 3,5- 5%, vanadium 1-5%, cobalt 2,5-12%, molibden 1-10%, carbonul fiind prezent în proporție de 0,6-1,5%.

Elementele de aliere contribuie la creșterea stabilității termice a oțelurilor rapide, a durității și durabilității sculelor executate din ele, îmbunătățesc comportarea la tratamentul termic și ridică rezistența la solicitări cu șoc.

Pe parcurs, s-au dezvoltat mai multe variante de oțeluri rapide utilizate în tehnică:

- oțelurile economice, cu concentrații mai ridicate de carbon, concentrații minime de wolfram și aliate suplimentar cu molibden (care suplinește lipsa wolframului), marca reprezentativă fiind Rp9, cu următoarea compoziție: %Cm = 0,95...1,05 %; %Wm = 2,0...2,5 %; %Crm = 3,5...4,5 %, %Vm = 2,0...2,5 % și %Mom = 2,5...3,5 %;
- oțelurile aliate suplimentar cu molibden (pentru a înlocui parțial wolframul, element de aliere scump), marca reprezentativă fiind Rp11, cu compoziția: %Cm = 0,95...1,05 %; %Wm = 1,5...2,0 %; %Crm = 3,5...4,5 %, %Vm = 1,8...2,2 % și %Mom = 8...9 %;
- oțelurile aliate suplimentar cu cobalt (element care mărește temperaturile caracteristice Ms și Mf ale oțelurilor și permite simplificarea TT final al sculelor), marca reprezentativă fiind Rp1, cu compoziția: %Cm = 0,9...1,0 %; %Wm = 9...10 %; %Crm = 3,5...4,5 %, %Vm = 2,0...2,5 % și %Com = 5...6 %.

BAZELE ELABORĂRII ALIAJELOR FERROASE

PARTEA 4.2.

CUPRINS

- 1. Introducere. Istoricul procesării unei încărcături metalice și nemetalice feroase în vederea obținerii fontei și oțelului**
- 2. Schema logică a unui flux de elaborare a unui aliaj feros.**
- 3. Fonte.**
 - 3.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.**
 - 3.1.1. Fonte cenușii cu grafit lamelar nemodificate.**
 - 3.1.2. Fonte modificate cu proprietăți superioare.**
 - 3.1.3. Fonte aliate.**
 - 3.2. Elaborarea fontelor.**
 - 3.2.1. Tehnologia de elaborare a fontelor în cubilou.**
 - 3.2.2. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.**
 - 3.2.3. Tehnologia de elaborare a fontelor în cuptoare electrice cu arc.**
- 4. Oțeluri.**
 - 4.1. Definiție. Criterii de clasificare. Mărci.**
 - 4.1.1. Mărci de oțel pentru construcții: oțeluri pentru construcții și structuri sudate; oțeluri pentru construcții mecanice; oțeluri inoxidabile și refractare;**
 - 4.1.2. Mărci de oțel pentru scule: pentru scule de prelucrare la rece; pentru scule de prelucrare la cald; oțeluri rapide de scule;**
 - 4.2. Elaborarea oțelurilor**
 - 4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc.**
 - 4.2.2. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.**
 - 4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizor.**

4.2. Elaborarea oțelurilor

Metodele de producere a oțelului au evoluat semnificativ odata cu inceperea productiei industriale la sfarsitul secolului 19. Cu toate acestea, metodele moderne au la baza procedeul Bessemer. Potrivit Asociatiei Mondiale a Oțelului in 2011 producerea oțelului brut a atins un nou record de 1.527 miliarde tone metrice. Dintre acestea aproximativ doua treimi au fost produse utilizand procedeul BOS (basic oxygen steelmaking – cuptorul pe baza de oxigen) si o treime realizata cu ajutorul EAF (electric arc furnace – cuptorul cu arc electric). Un alt agregat de elaborare utilizat preponderent la producerea pieselor de oțel (și nu a oțelului brut) este cuptorul cu inducție.

EAF (Electric Arc Furnace) – Spre deosebire de alte procedee, cel care foloseste cuptorul cu arc electric, genereaza temperaturi ridicate cu ajutorul curentului electric. Primul astfel de cuptor a fost proiectat de catre Paul Heroult. Aceasta este o tehnologie care foloseste 100 % resturi de otel. Procedeul are ca avantaj faptul ca procesul poate fi oprit si pornit fara mari costuri asociate. Alt avantaj este acela ca poate folosi doar materiale reciclate. Din aceste motive procedeul EAF a crescut constant in ultimii 50 de ani, ajungand acum fie folosit la aproximativ 33 % din productia de otel la nivel mondial.

BOF (Basic Oxygen Furnace) – Elaborarea unei metode de separare a oxigenului de azot la scara industriala in 1960, au permis progrese majore in dezvoltarea cuptorului pe baza de oxigen. Cea mai mare parte a productiei la scara larga se realizeaza prin procedeul de topire cu oxigen basic.

4.2. Elaborarea oțelurilor

4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice 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.

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).

În capitolul 3.3 au fost descrise elementele specifice elaborării fontelor în cuptoarele cu încălzire cu arc electric, acestea fiind comune și pentru elaborarea oțelurilor, două etape fiind însă de mare importanță pentru obținerea unor oțeluri de calitate: afinarea și dezoxidarea.

4.2. Elaborarea oțelurilor

4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc. Afinarea.

Afinarea (fierberea) reprezintă procesul de oxidare a carbonului cu formare de CO care părăsește baia metalică sub formă de bule, acest aspect fiind cel care sugerează denumirea de fierbere.

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 sulfului, în special spre sfârșitul etapei.

Pentru elaborarea oțelurilor nealiate, slab, mediu și aliate, conducerea proceselor metalurgice de la afinare reprezintă una din principalele modalități de a influența calitatea acestora, principalul proces metalurgic de la afinare fiind decarburarea.

Oxigenul necesar pentru realizarea afinării se poate introduce în baia metalică prin două procedee:

- prin adaosuri de minereu de fier sau țunder;
- prin insuflare directă de oxigen tehnic.

Condițiile severe de puritate prescrise majorității oțelurilor impun stăpânirea ansamblului factorilor termodinamici, cinetici și tehnologici care conduc la stăpânirea și conducerea afinării. Din acest punct de vedere rețin atenția în primul rând viteza de decarburare și durata decarburării. Acești parametri sunt implicați direct în ecuația de bilanț a carbonului, pentru determinarea conținutului de carbon în încărcătură:

$$\langle C \rangle = [C]_t + a_{ct}$$

4.2. Elaborarea oțelurilor

4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc. Afinarea.

$$\langle C \rangle = [C]_t + a_{ct}$$

Având în vedere că: $[C]_t = [C]_0 + [\Delta C]_{c\ af}$,

unde: $[\Delta C]_{c\ af} = v_{c1}d_1 + v_{c2}d_2$,

rezultă ecuația globală: $\langle C \rangle = [C]_0 + [\Delta C]_{c\ af} + a_{ct}$

unde $[C]_0$ se calculează cu relația: $[C]_0 = [C]_{fm} - [C]_{fa}$

În aceste relații:

$\langle C \rangle$ - conținutul de carbon al încărcăturii, în %;

$[C]_t$ - conținutul de carbon la topire, în %;

a_{ct} - arderea carbonului la topire, în % din $\langle C \rangle$;

$[C]_0$ - conținutul de carbon la oprirea decarburării, în %;

$[\Delta C]_{c\ af}$ - cantitatea de carbon îndepărtată la afinare, în %;

v_{c1} , d_1 - viteza de decarburare în perioada fierberii ”intense”, în % C/h, respectiv durata acestei perioade, în h;

v_{c2} , d_2 - viteza de decarburare în perioada fierberii ”liniștite”, în % C/h, respectiv durata acestei perioade, în h;

$[C]_{fm}$ - conținutul final mediu de carbon prescris, în %;

$[C]_{fa}$ - conținutul de carbon adus de feroaliaje, în %.

4.2. Elaborarea oțelurilor

4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc. Afinarea.

Prin fierbere „intensă” și respectiv „liniștită” ca viteză și durată, se pot înțelege de regulă două subperioade ale fierberii la tehnologia cu **folosirea minereurilor/tunderului**, luându-se orientativ valorile:

- în subperioada de fierbere „intensă” cu minereu o viteză de decarburare v_{c1} în limitele a 0,70-0,35% (valorile la limita superioară caracterizând perioada de după amorsarea decarburării) ;
- în subperioada de fierbere „liniștită” o viteză de decarburare v_{c2} , în limitele a 0,30-0,12% C/h.

La elaborarea oțelurilor, mai ales a celor de calitate și a celor care se elaborează din încărcături aliate, s-a generalizat tehnologia de afinare cu **folosirea oxigenului gazos**. La această tehnologie, practic, nu se poate vorbi de două subperioade de fierbere („intensă” și „liniștită”) ci de o fierbere cu viteze diferite de decarburare, care pot descrie mai mult sau mai puțin un mers asemănător modelului cu patru etape distincte, corespunzătoare succesiunii:

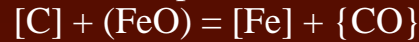
- perioadă de început de oxidare a carbonului, perioada așa numitei „căderi liniare”;
- perioada așa numitei „căderi abrupte” ;
- perioada „vitezei tehnice” de decarburare în care se află de regulă înregistrată și viteza maximă de decarburare;
- perioada de sfârșit a oxidării carbonului.

Se observă practic o succesiune de viteze de decarburare $v_{c1} \dots v_{cn}$ corespunzătoare unor durate $d_1 \dots d_n$ ale perioadelor aferente din procesul decarburării. La elaborarea oțelurilor de construcție cu folosirea tehnologiei cu suflarea oxigenului gazos la afinare, viteza de decarburare poate varia în limitele 2,2% C/h - 0,15% C/h în funcție de marca de oțel.

4.2. Elaborarea oțelurilor

4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc. Afinarea.

La afinare au loc o serie de reacții chimice de oxidare și reducere atât în baia metalică cât și la interfața baiei metalice – zgură (fig. a). Dintre aceste reacții, dat fiind faptul că elementul principal care se oxidează este carbonul, putem selecta următoarele două reacții:



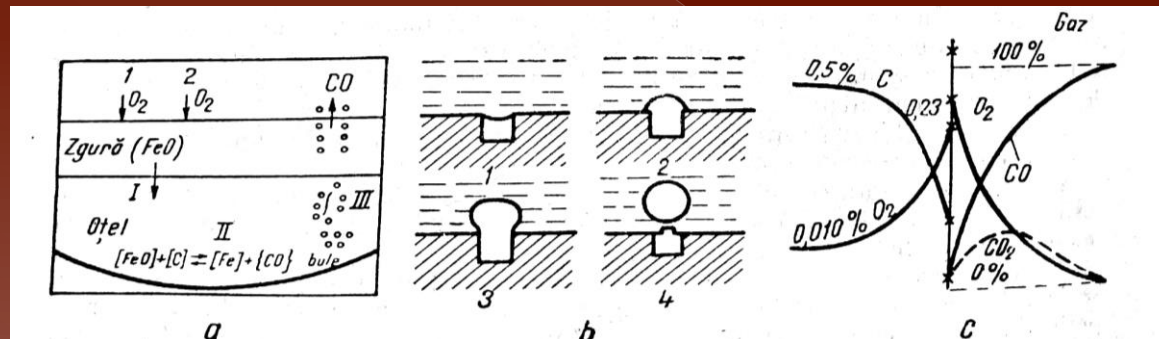
Bulele de CO rezultate părăsesc sistemul și se pot forma în orice punct al băii metalice, germinarea lor fiind favorizată de existența suprafețelor, la contactul cu asperitățile vetrei, cu suspensiile din baie, cu zgura, cu particulele din adaosuri, prin aceasta scăzând energia de formare a lor.

Dintre acestea, rolul hotărîtor joacă vatra cuptorului, care are foarte mulți pori cu diametrul mai mic (pînă la 2 mm), umpluți cu gaze, încă înainte procesului de oxidare a carbonului. În acești pori iau naștere și cresc bulele de CO, de unde se desprind și se ridică la suprafață (fig. b). Aceste bule produc fierberea băii, în timp ce bulele care se formează la contactul baie-zgură nu au condiții de creștere și produc doar spumarea zgurei.

Dintre aceste procese, în condițiile obișnuite de elaborare, procesul de difuziune a oxidului feros din zgură are loc cu viteza cea mai mică și determină însă și viteza de decarburare. Numai în două cazuri acest proces are o importanță secundară:

- 1) în cazul formării FeO direct la suprafața metal / gaz la insuflarea oxigenului gazos (fig. c)
- 2) în cazul folosirii bulgărilor mari de minereu, care ajung ușor în metal sau la suprafața metal / zgură.

În ambele cazuri, conținutul de oxigen în metal la limita cu FeO atinge valoarea de saturație (0,23 % O₂ la 1 600°C) (fig. c).



Schema oxidării carbonului din baia de oțel și a mecanismului formării bulelor de CO:

a - oxidarea fierului prin intermediul zgurei; 1 - oxigen din atmosfera cuptorului; 2 - oxigen din minereu; I - etapa de difuziune a oxigenului în baia metalică; II - etapa reacției de oxidare a elementelor; III - etapa formării și eliminării bulelor de CO; b — mecanismul formării, creșterii și desprinderii bulelor de CO de pe vatră: 1-asperitățile vetrei; 2-formarea bulei; 3- creșterea bulei; 4-desprinderea bulei de CO; c - variația O₂, CO, CO₂ și C în cazul introducerii oxigenului sau a minereului în baie, la limita de contact metal-oxigen.

4.2. Elaborarea oțelurilor

4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc. Afinarea.

Viteza de decarburare poate fi intensificată prin:

- mărirea temperaturii oțelului și zgurei;
- creșterea bazicității zgurei (CaO) ca urmare a măririi proporției de FeO liber, deci a puterii de oxidare a zgurei;
- creșterea conținutului de carbon, și de oxid ferros.

Decarburarea (cantitatea de carbon oxidată și viteza lui de oxidare) devine mai intensă odată cu:

- mărirea fluidității zgurei, ca urmare a îmbunătățirii condițiilor de difuziune a oxigenului;
- mărirea suprafeței de contact dintre vatră și oțelul lichid (deci scăderea înălțimii băii);
- mărirea duratei de oxidare.

În perioada de fierbere intensă decarburarea este avansată. Fierberea este singurul mijloc de amestecare puternică a băii care urmărește o transmitere mai mare a căldurii, deci supraîncălzirea oțelului lichid, uniformizarea compoziției și temperaturii în tot volumul băii de oțel, îndepărtarea parțială a gazelor și a incluziunilor nemetalice, precum și îndepărtarea unor elemente (P, Cr, S). Cu cât conținutul de gaze și incluziuni este mai mare în baie, cu atât fierberea are un rol mai pozitiv.

Amestecarea băii datorită curenților de convecție, cauzată de gradientul de temperatură pe înălțimea băii, amestecarea cauzată de curenții electromagnetici în apropierea arcului electric (la cuptoarele cu arc) și cea cauzată de degajarea gazelor nu poate juca un rol important la elaborarea oțelului, în comparație cu fierberea.

Stabilirea limitei valorii maxime și a valorii minime pentru viteza de decarburare și în general a evoluției vitezei de decarburare la tehnologia cu folosirea oxigenului gazos la afinare (ca de altfel și la tehnologia cu folosirea minereului sau a tehnologiei combinate cu folosirea minereului și oxigenului gazos) se face ținând cont și de:

- 1) corelarea vitezei de decarburare cu viteza creșterii temperaturii băii metalice;
- 2) corelarea vitezei / duratei de decarburare cu vitezele de desfășurare a unor procese direct influențate de procesul decarburării – de exemplu, comportarea gazelor (hidrogen și azot)
- 3) Corelarea vitezei de decarburare cu vitezele de reacție ce caracterizează mecanismul și cinetica altor reacții de oxidare care se desfășoară în timpul afinării, în special ale Mn și Cr.

4.2. Elaborarea oțelurilor

4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc. Dezoxidarea

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.

La elaborarea în cuptoarele cu încălzire prin arc electric, dezoxidarea se face în interiorul agregatului, fiind parcurse următoarele etape:

- predezoxidare
- dezoxidarea prin difuzie: - cu zgura albă;
- cu zgura carbidică;
- dezoxidarea prin precipitare
- dezoxidarea cu aluminiu

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”.

4.2. Elaborarea oțelurilor

4.2.1. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu arc. Dezoxidarea

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. În elaborarea oțelurilor nealiat 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.

4.2.2. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu încălzire prin 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

4.2.2. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu încălzire prin 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:

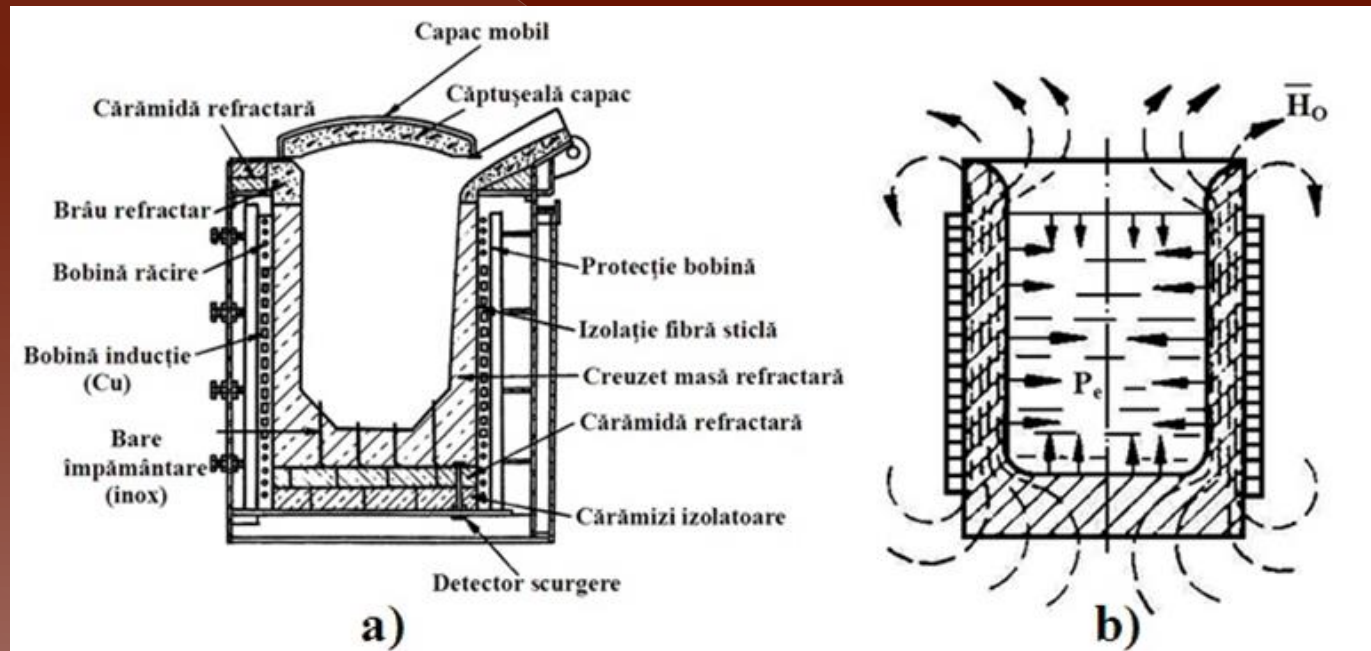
- încălzirea încărcăturii în mod uniform și cu viteză mare;
- omogenizarea fizică și chimică a oțelului lichid;
- inerție mică la reglarea puterii;
- asimilare mai rapidă a elementelor de aliere greu fuzibile;
- condiții de exploatare mai puțin costisitoare;
- nivel de poluare mai scăzut.

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.

Cuptor electric cu inducție cu creuzet:

- a) – schemă construcție;
- b) – distribuția forțelor electromagnetice;



4.2.2. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu încălzire prin 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.

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.

4.2.2. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție.

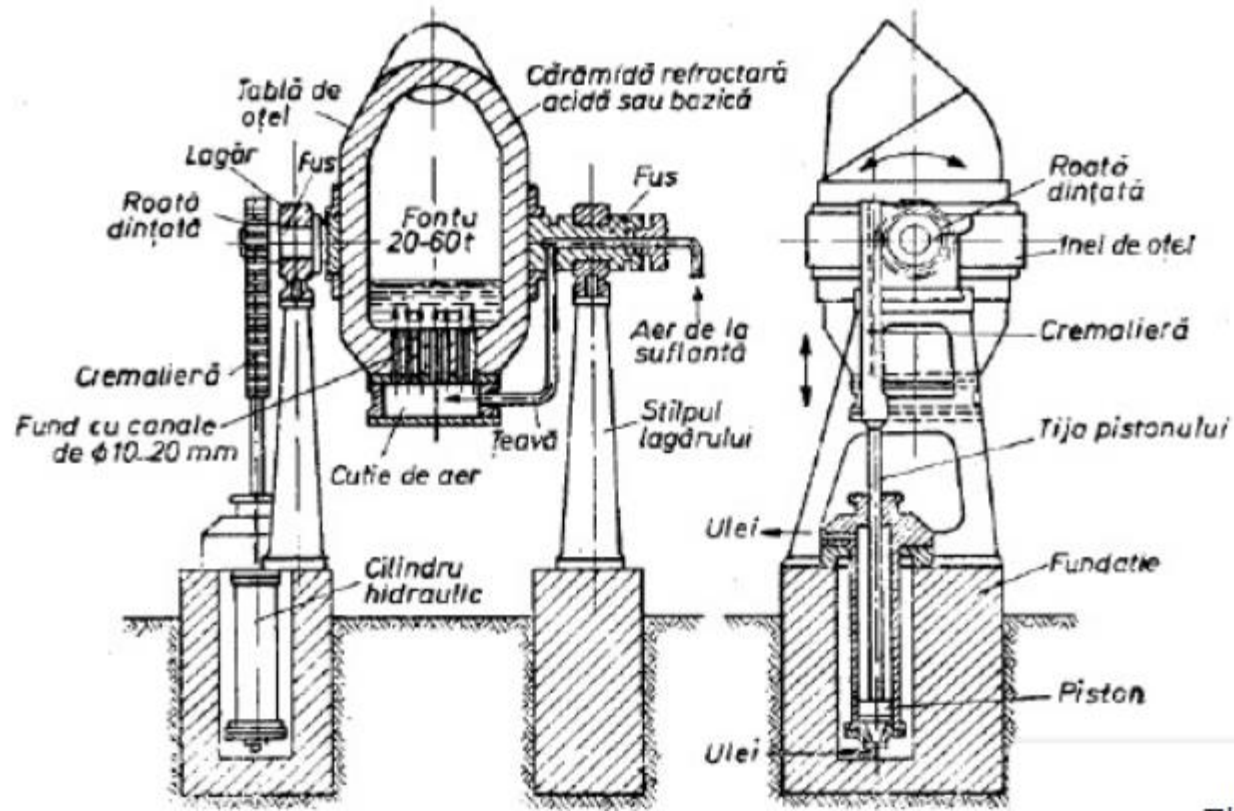
Elaborarea în cuptorul cu inducție este indicată la obținerea oțelurilor inoxidabile extramoi a oțelurilor pentru magneți turnați Ni-Cr-Al (cu cea 18% Al) sau Cr-Cu, la care se poate valorifica efectul dezoxidanților puternici (Ca, Mg, Al în concentrații reziduale de 0,01% în parte). Pentru elaborarea 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 10-3-10-4mmHg.

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.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizor.

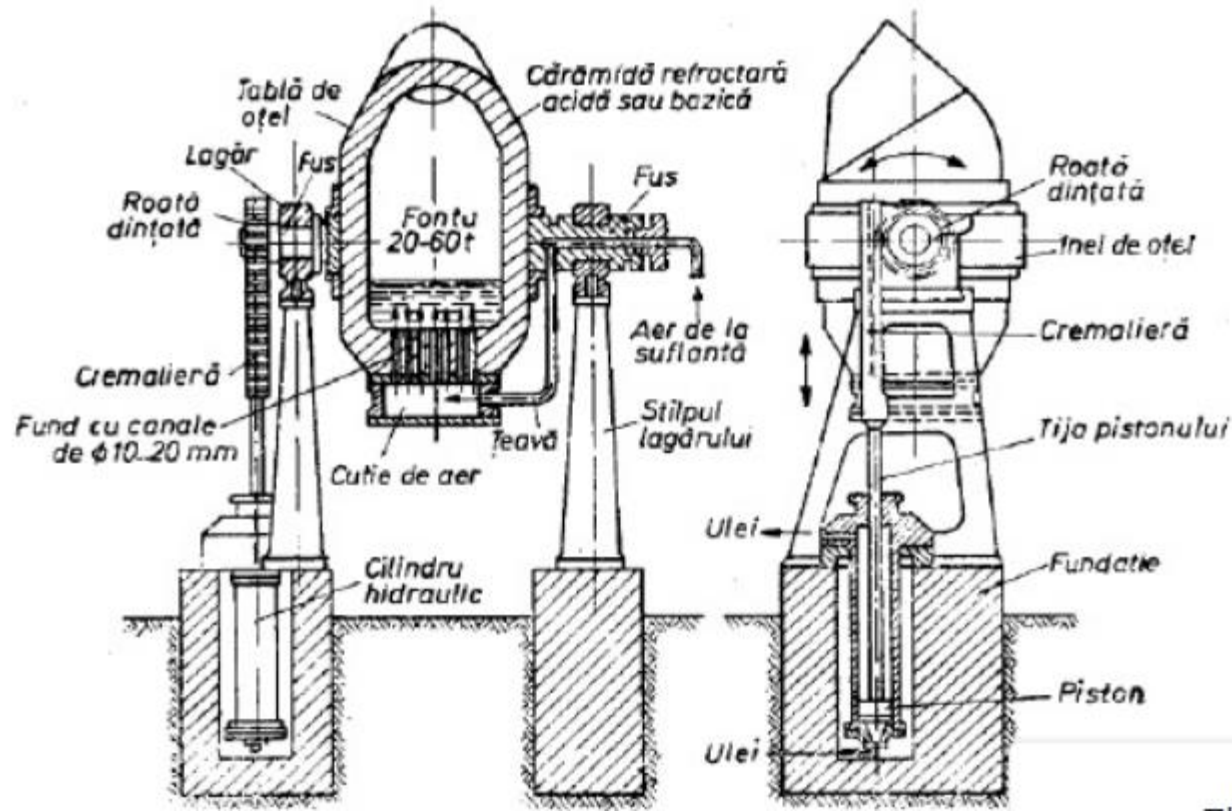
Convertizorul este un agregat în care are loc elaborarea oțelului prin afinarea fontei lichide cu aer. Aerul suflat prin masa topită de fontă de afinare oxidează carbonul și elementele însoțitoare, iar prin reacțiile exoterme de oxidare a impurităților se dezvoltă căldura necesară pentru ridicarea temperaturii băii metalice de la 1200 ...1300°C la 1600 ...1650°C (temperatura oțelului lichid) și căldura necesară pentru realizarea tuturor proceselor necesare în cursul elaborării oțelului, nefiind nevoie astfel de folosirea vreunui combustibil separat. De asemenea agită puternic baia metalică, prin care afinarea are loc rapid, obținându-se o șarjă de oțel foarte uniformă. Procedul de elaborare în convertizor a fost inventat în anul 1855 de Bessemer (metoda acidă), iar în 1879 Thomas a introdus căptușeala bazică, care permite și afinarea fontelor fosforoase.



4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizor.

Convertizorul are formă de pară, fiind construit din tablă de oțel căptușit cu material refractar acid la convertizorul Bessemer, sau bazic la convertizorul Thomas. Pe manta este un inel puternic de oțel cu două fusuri, prin care întregul convertizor se sprijină pelagărele celor doi stâlpi. Pe unul din fusuri este o roată dințată în angrenare cu o cremalieră acționată de sistemul hidraulic cilindru-piston. Astfel convertizorul poate fi rotit și basculat pentru a fi umplut cu fontă lichidă, adus în poziția de lucru sau înclinat pentru evacuarea zgurei și oțelului.

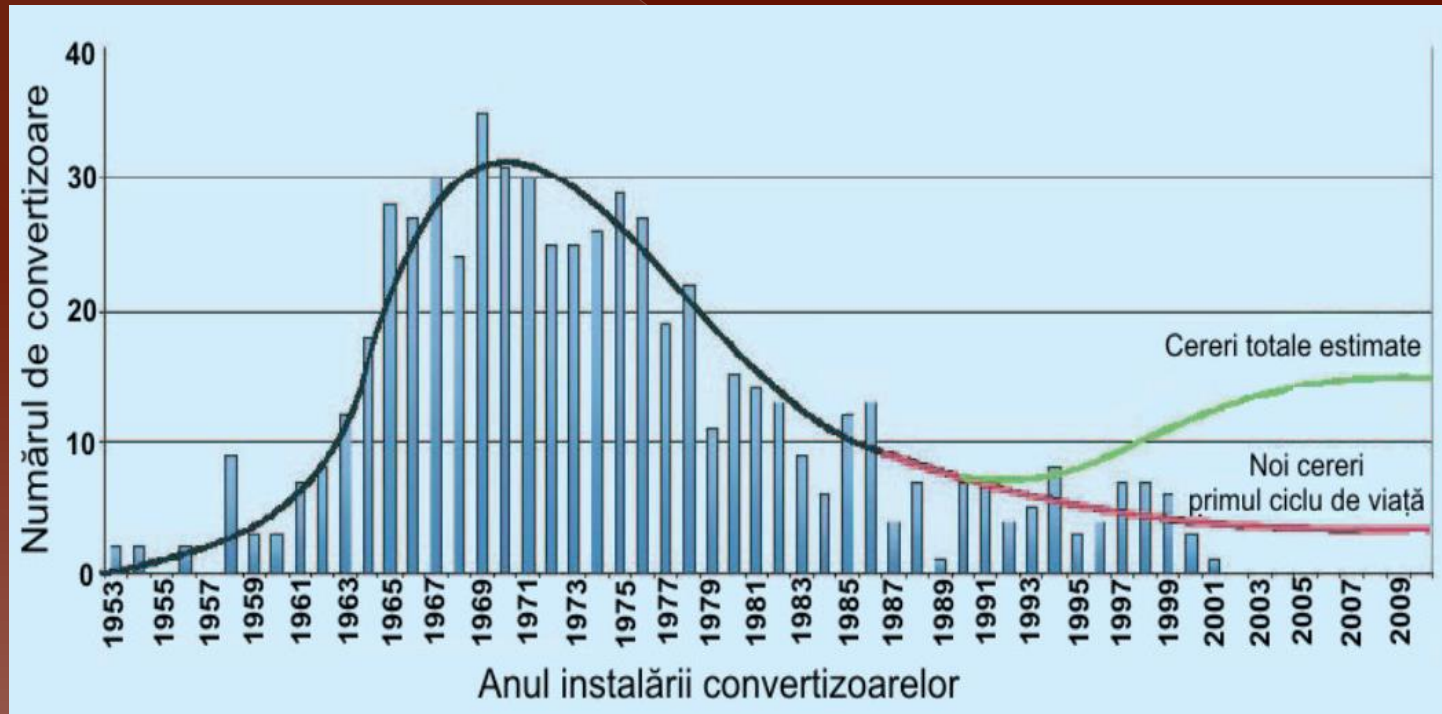
Celălalt fus este tubular pentru a permite aducerea aerului de la suflantă la cutia de aer, de unde va fi suflat prin baia metalică. În acest scop, în partea inferioară, convertizorul este străbătut de un număr foarte mare de canale de diametru mic (10... 20 mm). Presiunea aerului este de 1,5 ... 3 daN/cm². Capacitatea convertizoarelor clasice este de 20 ... 60 t.



4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizor.

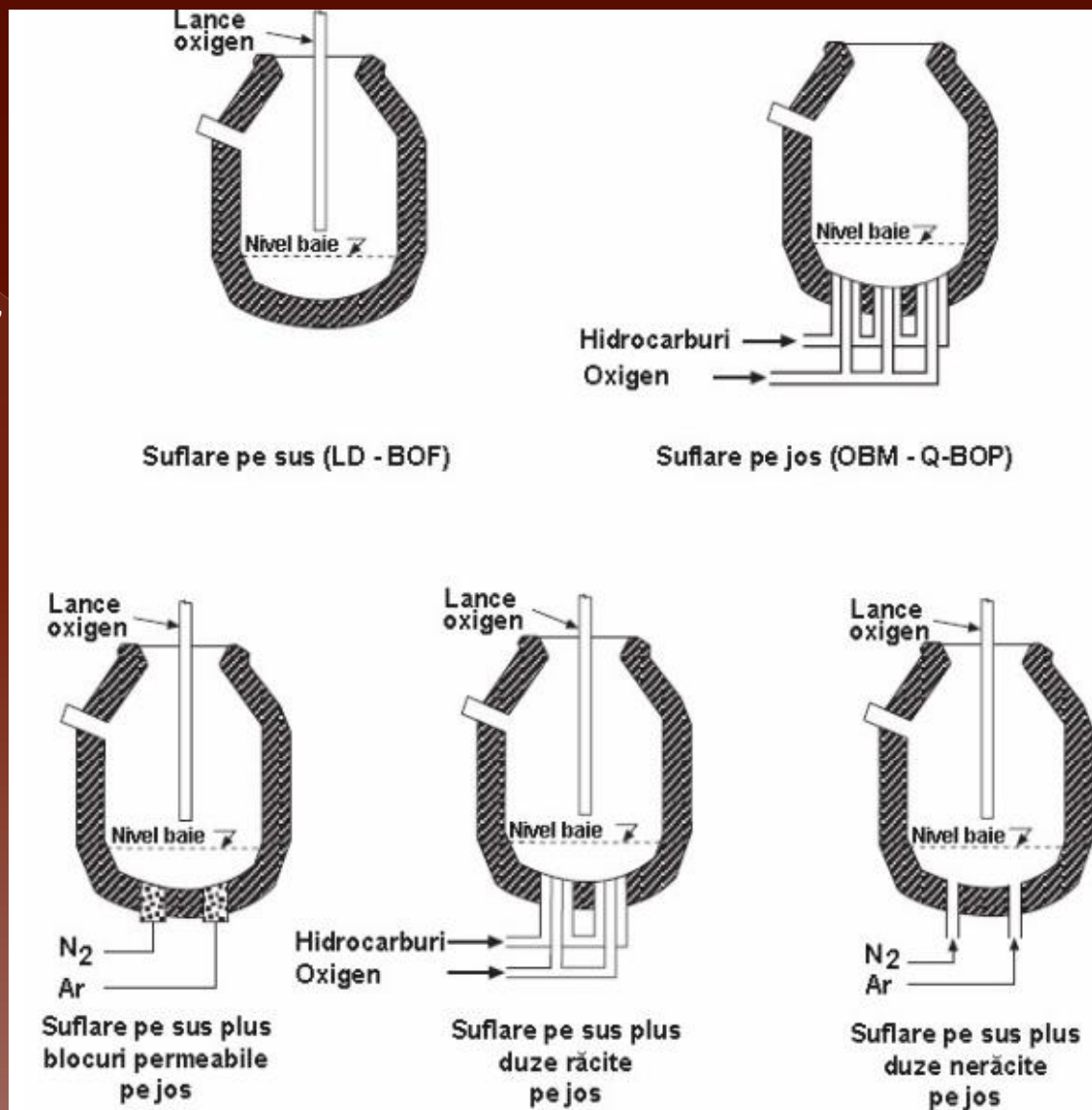
Prima încercare comercială de producere a oțelului prin acest procedeu s-a produs în decembrie 1952 la Voest-Alpine în Linz (convertizor de 2 t), urmatpăîn primăvara lui 1953 la Voest-Alpine în Donawitz (convertizoare de 5 și 10 t), ambele Austria. Aceasta reprezintă conjunctura prin care noua tehnologie de producere a oțelului a căpătat denumirea de procedeu LD. Rapiditatea implementării convertizoarelor LD în comparație cu cuptoarele cu vatră deschisă se datorează reducerii costurilor investiționale cu circa 40 % și a celor operaționale cu circa 50 %.

În figura de mai jos este prezentată evoluția numărului de convertizoare LD în comparație cu cererea anuală estimată a acestora pentru o durată de viață de circa 25 ani.



4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizor.

După anul 1968, evoluția convertizoarelor cu suflare de oxigen a fost marcată de introducerea duzelor protejate cu hidrocarburi, care s-au aplicat pe scară largă în operațiile tehnologice de suflare a oxigenului pe la partea inferioară în convertizoare. Aceste noi duze sunt capabile să opereze cu succes în timpul procesului metalurgic datorită reacției de cracare a hidrocarburi sub acțiunea regimului de temperaturi ridicate la insuflarea oxigenului în topitura metalică, efect termic negativ, care produce răcirea duzei inelare. Implementarea unor astfel de duze a condus la extinderea soluțiilor constructive ale convertizoarelor cu suflare de oxigen. Bazat pe acestea, în figura alăturată este prezentată o clasificare generală a convertizoarelor cu suflare de oxigen.



4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Clasificarea procedeelor de elaborare a oțelului în convertizor în funcție de modul de suflare a oxigenului		
Suflare pe sus		
Tip convertizor	Proveniență	Observații
LD	Voest-Alpine, Austria	Procedeu cu suflare de oxigen prin lance răcită cu apă și utilizare de var în bucăți
BOF	Pretutindeni	Basic Oxygen Furnace . Termen comun pentru procedeul LD
BOP	USX și alții	Basic Oxygen Process . Același ca LD sau BOF
LD-AC	ARBED / CRM Luxemburg / Franța	Similar LD. Adaos de var sub formă de pulbere și/sau bucăți pentru defosforare avansată
LD-CL	NKK, Japonia	LD cu lance rotativă
LD-PJ	Italsider	LD cu jeturi pulsatorii
ALCI	ARBED, Luxemburg	LD cu amestec Ar/N ₂ suflat prin lance. Post-combustie și injecție de cărbune pentru mărirea cantității de fier vechi în încărcătură
LD-GTL	Linde / National Steel USA	LD cu Ar sau N ₂ prin lance pentru a limita supra-oxidarea și Utilizare de var bucăți
AOB	Inland, Union Carbide	Similar cu LD-GTL
Z-BOP	ZapSb Rusia	LD sau BOF cu diferite metode adiționale de injecție a combustibililor în vederea creșterii cantității de fier vechi. Se pot utiliza chiar și 100 % deșeuri metalice solide.
Suflare combinată, amestecare cu gaze inerte		
LBE	ARBED, Luxemburg IRSID, Franța	Lance Bubbling Equilibrium . LD cu blocuri poroase la fund pentru injecția gazului inert și utilizare de var în bucăți
LD-KG	Kawasaki, Japonia	LD cu mici duze pe la fund pentru injecția Ar și/sau N ₂
LD-KGC	Kawasaki, Japonia	LD cu mici duze pe la fund pentru injecția Ar, N ₂ , CO. Utilizează CO reciclat ca gaz de agitare și var bucăți
LD-OTB	Kobe, Japonia	Similar LD-KG

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

LD-AB	Nippon Steel, Japonia	LD cu duze simple pentru injecția gazului inert Și utilizare de var bucăți
NK-CB	NKK, Japonia	LD cu duze simple sau blocuri poroase pentru introducerea Ar/CO ₂ /N ₂ . Var bucăți
Suflare combinată cu oxigen și/sau gaze inerte pe jos		
OBM-S	Maxhutte, Germania Klockner, Germania	Cel mai utilizat tip de OBM cu duze cu jet de oxigen îmbrăcat cu gaz natural și utilizare var pulbere pe la fund
K-BOP	Kawasaki, Japonia	Suflare pe sus și jos. Duzele sunt protejate cu gaz natural. Var pulbere prin duze
TBM	Thyssen, Germania	Agitare pe sus și pe jos cu duze și amestec N ₂ /Ar
LET	Solmer, Franța	Lance Equilibrium Tuyeres. Suflare pe sus și cu 15 – 35 % pe jos. Protecție duze cu păcură
LD-OB	Nippon Steel, Japonia	Duze OBM protejate cu gaz natural. Suflare pe sus și utilizare de var bucăți
STB	Sumitomo, Japonia	Cel mai utilizat sistem de suflare prin lance și cu duze speciale. Țeava interioară O ₂ /CO ₂ , țeava exterioară CO ₂ /N ₂ /Ar. Var bulgări
STB-P		Similar STB, exceptând varul pulbere insuflat prin lance pentru controlul defosforării
Suflare pe jos		
OBM	Maxhutte, Germania	100 % suflare pe la fund. Protecția duzelor cu gaz natural. Injecție de var pulbere prin duze
Q-BOP	USX, USA	OBM 100 % cu suflare pe jos. Protecția duzelor cu gaz natural. Injecție de var pulbere prin duze
KMS	Klockner, Germania	Similar OBM. Teste cu păcură pentru protecția duzelor, trecere pe gaz natural. Posibilitate de injecție a pulberii de cocs pentru creșterea ponderii de fier vechi în încărcătură
KS	Klockner, Germania	Similar KMS, modificat pentru topirea a 100 % fier vechi

Obs. Procedeele scrise cu litere Bold sunt cele mai utilizate.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD

Convertizorul cu suflare de oxigen LD este un agregat pentru producerea oțelului, a cărui încărcătură metalică este constituită din fontă lichidă și fier vechi, în proporții aproximative de 100 ... 70 % și respectiv, 0 ...30 %. Una dintre cele mai importante caracteristici ale procedeului LD este dată de faptul că necesarul de căldură al procesului tehnologic de elaborare a oțelului se obține ca urmare a desfășurării reacțiilor exoterme de oxidare a elementelor încărcăturii metalice: Si, Mn, P, Cr, C etc., cu ajutorul oxigenului gazos de 99,5 ... 99,8 % puritate, insuflat printr-o lance pe la partea superioară a convertizorului. Efectul termic al procesului nu este nelimitat, ci este determinat de caracteristicile termodinamice ale fiecărei reacții de oxidare în parte și de cantitatea de elemente oxidate, pentru o încărcătură normală, asigurându-se creșterea temperaturii băii de la 1200 ... 1250 °C la 1600 ... 1650 °C. Gazele rezultate în urma procesului sunt captate cu ajutorul unei hote și trimise la instalația de epurare.

Procedeul LD a luat o foarte mare extindere datorită următoarelor considerente:

- productivitate foarte mare (până la 400 t/h la convertizoarele foarte mari);
- utilizarea fontelor de afinare obișnuite;
- utilizarea unor proporții variabile de fier vechi pentru răcirea băii, în funcție de conținutul de siliciu al fontei utilizate;
- cheltuieli de investiții, relativ mici.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD

Convertizoarele cu suflare de oxigen de tip LD, cele mai răspândite în lume la ora actuală și cu cea mai mare cerere de piață, se construiesc, în prezent, cu gura de încărcare simetrică, așa cum este prezentat în fig. 3.3.

Această particularitate constructivă îi conferă convertizorului LD următoarele avantaje:

- zidirea simetrică a căptușelii refractare și în consecință, obținerea unor durabilități ridicate ale acesteia;
- încărcarea și evacuarea convertizorului pe ambele părți, ceea ce oferă posibilitatea separării fluxurilor de materiale.

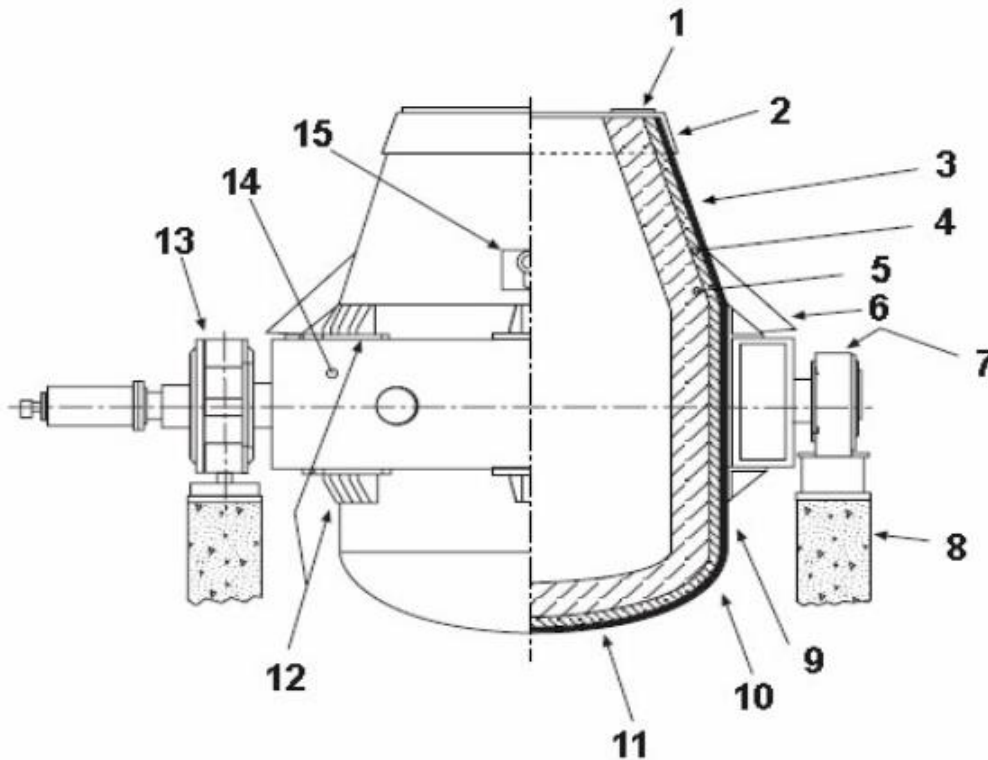


Fig. 3.3. Schema constructivă a convertizorului LD:

- 1 – inel superior; 2 – bandaj; 3 – manta metalică; 4 – căptușeală refractară permanentă;
5 – căptușeală refractară de uzură; 6 – ecran de protecție; 7 – lagăr; 8 – suport de sprijin;
9 – partea cilindrică; 10 – curbura inferioară; 11 – fundul convertizorului; 12 – suport în consolă;
13 – lagăr de fixare; 14 – inel de susținere cu fusuri de basculare; 15 – orificiu de evacuare.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD

În practica curentă, nu există o rețetă unică de dimensionare a convertizoarelor cu suflare de oxigen, ci, în stabilirea design-ului acestora se au în vedere atât aspectele geometrice legate de forma și capacitatea lor, cât și necesitățile tehnologice și de exploatare:

- Profilul interior al convertizorului cu oxigen se obține ținându-se seama, în mod obligatoriu, de proprietățile aerodinamice ale jetului de oxigen suflat prin lance (viteza jetului, debitul, volumul de oxigen insuflat, diametrul jetului la impactul cu baia metalică, presiunea, în corelație cu distanța de la capul lancei până la nivelul băii metalice statice.
- adâncimea băii metalice (în condiții de lucru) trebuie să fie suficient de mare pentru a se evita distrugerea fundului convertizorului sub impactul jetului de oxigen, iar înălțimea convertizorului și volumul specific trebuie calculate astfel, încât să se evite împrôșcările din convertizor cauzate, în primul rând, de energia cinetică a jetului secundar reflectat, la care se adaugă acțiunea expansivă a gazelor (mai ales, CO) rezultate în urma reacțiilor chimice derulate în timpul afinării.

* Alegerea relației optime între adâncimea băii metalice și diametrul interior al convertizorului se face în funcție de mai mulți factori:

- profilul interior al căptușelii convertizorului;
- analiza chimică a fontei folosite (de exemplu, pentru conținuturi mai mari de P și Si care implică obținerea unei cantități mai mari de zgură, este necesară o suprafață mai mare de contact între zgură și baia metalică);
- calitatea fierului vechi folosit și ponderea sa în încărcătura metalică (de exemplu, la utilizarea unui fier vechi mai ușor sau a unei cantități mai mari de fier vechi în încărcătură, diametrul convertizorului crește pentru a se evita cantități mari de încărcătură solidă pe unitate de suprafață).

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Spațiul liber de elaborare poziționat deasupra băii metalice depinde de încărcătura folosită și de sistemul adaptat pentru evacuarea gazelor (sistem cu ardere completă a gazelor sau sisteme care asigură captarea fără combustibil a gazelor). Acesta trebuie dimensionat ținând seama de faptul că în timpul procesului de afinare, volumul băii metalice crește considerabil sub acțiunea bulelor de CO degajate în urma reacției de decarburare.

Diametrul gurii de încărcare trebuie să fie cât mai mic posibil (limitat de posibilitățile necesare pentru încărcarea convertizorului) pentru creșterea durabilității și reducerea saturării oțelului cu azotul atmosferic.

La stabilirea înălțimii convertizorului se ține seama de tendința actuală de minimizare a pierderilor termice, adoptându-se diametre interioare cât mai mari și înălțimi cât mai mici, raționamente care implică, de asemenea, scăderea investiției oțelărilor cu convertizoare prin micșorarea înălțimii halei de elaborare. Creșterea nejustificată a înălțimii convertizorului conduce atât la creșterea pierderilor termice, cât și la cheltuieli suplimentare de investiție prin mărirea suplimentară a înălțimii halei convertizoarelor.

Utilizarea corelațiilor statistice pentru dimensionarea convertizoarelor cu suflare de oxigen are drept scop, pe baza datelor disponibile selectate pentru o multitudine de convertizoare cu suflarea oxigenului pe la partea superioară din Europa, America și Japonia, stabilirea conexiunilor existente între valorile parametrilor dimensionali și funcționali (operativi). În toate cazurile, existența conexiunilor este evidentă și implicată, iar utilizarea corelațiilor se face cu scopul de a pune în evidență legi analitice empirice valide, reprezentate prin ecuații matematice și diagrame de lucru. Pe fiecare din aceste diagrame pot fi fixate valorile parametrilor dimensionali și operativi ai convertizorului proiectat și comparați cu valorile oferite de ecuațiile analitice sau cu domeniul de 95 % încredere al acestora.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD

Convertizorul este o construcție robustă, constând dintr-o parte tronconică, prevăzută cu orificiul de evacuare a zgurii, o parte cilindrică și fundul convertizorului. Întreaga construcție este susținută de un inel central cu fusuri de basculare în lagăre, care se sprijină pe suportși și care este solidizată cu elemente de ranforsare.

Mantaua convertizorului se execută din tablă groasă de oțel bun sudabil și caracteristici mecanice ridicate. Grosimea mantalei convertizorului diferă în funcție de capacitatea convertizorului și de solicitările la care aceasta este supusă.

Asamblarea părții metalice tronconice și a fundului convertizorului se poate executa atât prin sudare, cât și prin îmbinare cu buloane. În marea majoritate a cazurilor asamblarea se execută prin sudare, care oferă o mai mare siguranță în exploatare. Există și posibilitatea construcției cu fund detașabil, dar în acest caz, durabilitatea căptușelii refractare este mai mică.

Orificiul de evacuare a oțelului este plasat, cel mai adesea, în sectorul tronconic al convertizorului, axa orizontală a acestuia fiind situată în planul de îmbinare cu partea cilindrică (fig. 3.24). Sistemul nu este generalizat, pentru alte convertizoare orificiul de evacuare fiind plasat, fie într-o zonă mai ridicată a tronconului, fie în partea superioară a părții cilindrice.

Datorită faptului că această zonă este cea mai solicitată din punct de vedere termic, mai ales în timpul procesului de afinare când se manifestă puternic transferul radiant și convectiv, sistemul de răcire cu apă este conceput pentru realizarea unei temperaturi de operare cât mai scăzute, în funcție de modalitatea adoptată de constructor, fie cu canale verticale, fie cu canale orizontale, configurația acestora fiind prezentată în fig. 3.24.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD

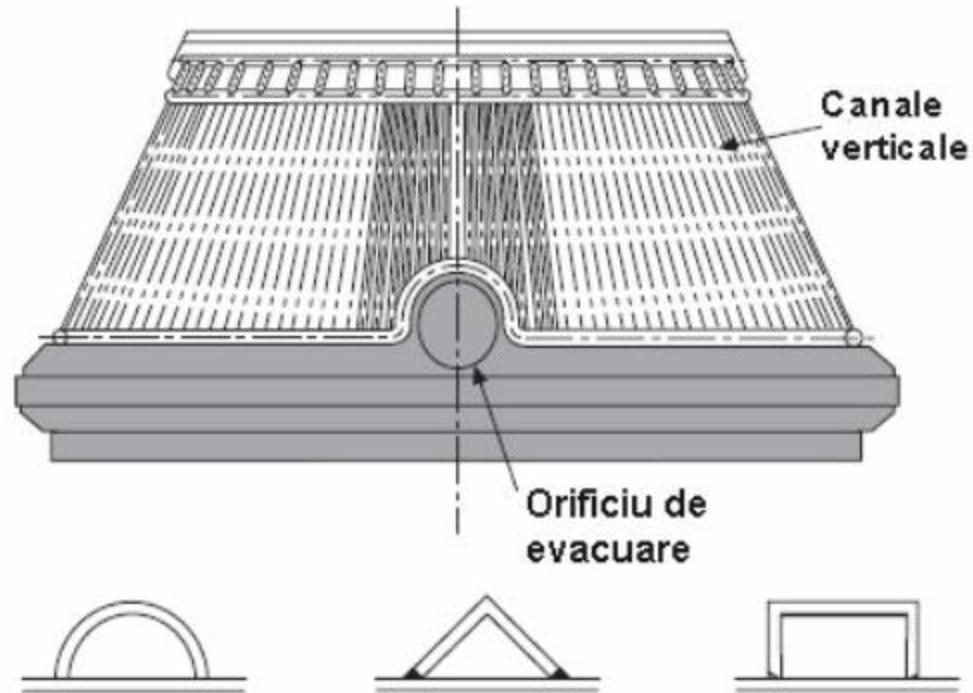


Fig. 3.24. Metodă de răcire a părții tronconice a convertizorului cu canale verticale și configurația acestor canale.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeu LD. Căptușeala refractară

Căptușeala convertizorului se execută diferit pe principalele părți ale convertizorului: partea tronconică; partea cilindrică; fundul convertizorului; gura de încărcare, zone pe care, grosimea căptușelii este diferită, în funcție de capacitatea acestora (tabelul 3.2) [27].

Selectarea calității materialelor refractare este dependentă de prioritățile operaționale și de cost în procesul de elaborare a oțelului.

Principial, căptușeala refractară a convertizoarelor este formată din straturi distincte. Între mantaua convertizorului și stratul de căptușeală refractară de durată se utilizează un strat de azbest cu grosimea de 6 ... 10 mm. Primul strat de lângă mantaua metalică (stratul de durată) este zidit din cărămizi de dolomit înalt sinterizat sau de magnezit.

Grosimea zidăriei refractare a convertizorului

Grosimea căptușelii	Capacitatea convertizorului, tone										
	120	140	150	160	170	180	210	220	250	270	330
Grosimea căptușelii la partea conică, mm	660	508	533	533	813	610	584	890	725	813	610
Grosimea căptușelii la partea cilindrică, mm	990	991	838	838	940	711	940	900	838	914	813
Grosimea căptușelii la fundul convertizorului, mm	1067	914	991	991	977	991	991	750	1067	1067	991

Cel de-al doilea strat (stratul de uzură, de lucru) este zidit din cărămizi de dolomit gudronat sau blocuri dolomitice stabilizate. Între cele două straturi se ștampează un strat de dolomit gudronat, cu rolul de a prelua dilatățile termice și de a ușura demolarea căptușelii la încheierea campaniei de lucru. În zonele orificiului de evacuare și a gurii de încărcare, supuse mai mult uzurii în timpul funcționării convertizoarelor, se folosesc și la căptușeala de uzură cărămizi de dolomit înalt sinterizat.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Căptușeala refractară

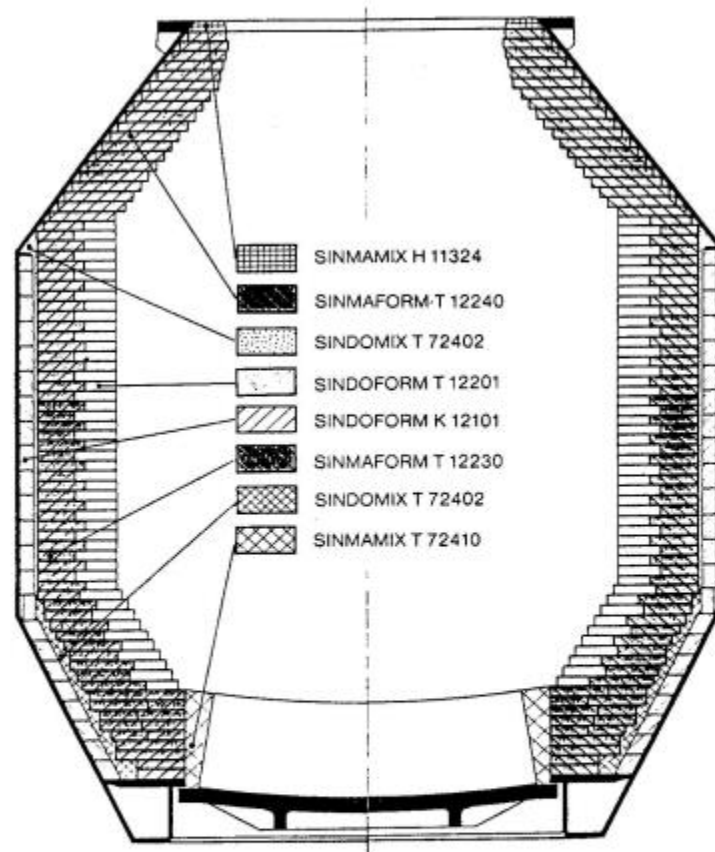


Fig. 3.25. Schema unei căptușeli refractare tipizate:

SINDOFORM - cărămizi dolomitice sinterizate și cărămizi dolomitice gudronate; SINMAFORM - cărămizi magnezitice sinterizate și cărămizi magnezitice gudronate; SINDOMIX - dolomit granular sinterizat sau gudronat pentru stratul intermediar; SINMAMIX - magnezit granular sinterizat sau gudronat pentru stratul intermediar.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Regimul de suflare

Procedeul LD de producere a oțelului și tehnologiile derivate din acesta utilizează lănci răcite cu apă pentru insuflarea unui jet puternic de oxigen în baia metalică. Principial, lancea pentru insuflarea oxigenului în baia metalică este constituită din trei țevi concentrice prin care circulă oxigenul (țeava centrală) și apa de răcire (de intrare - țeava intermediară și de evacuare - țeava exterioară). Schema constructivă a unei astfel de lănci este prezentată în fig. 3.26.

Componenta principală a ansamblului o reprezintă capul de lance (fig. 3.27), confecționat din cupru, cu capacitate puternică de preluare a căldurii rezultate din proces și a cărei durabilitate este dependentă de construcție și de evoluția procesului metalurgic (uzual, circa 1000 de șarje).

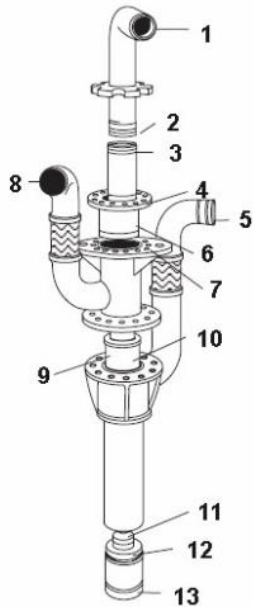


Fig. 3.26. Schema constructivă a lăncii pentru suflarea oxigenului:

1 – țeavă pentru introducerea oxigenului; 2 – presgarnitură inelară pentru țeava de oxigen; 3 - presgarnitură inelară pentru țeava de apă; 4 – orificiu de siguranță; 5 – țeavă de evacuare a apei de răcire; 6 – bucsă cu flanșă pentru ghidare; 7 – placă de legătură; 8 – țeavă de alimentare cu apă de răcire; 9 – bolțuri de siguranță; 10 – țeavă intermediară; 11 – țeavă de oxigen; 12 – ansamblu de îmbinare a capului de lance; 13 – cap de lance din cupru.



Fig. 3.27. Cap de lance cu șase duze pentru suflarea oxigenului, confecționat din cupru.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Regimul de suflare

Capul lăncii este proiectat astfel încât să se obțină vitezele de curgere a jetului necesare realizării efectelor dorite în procesul metalurgic (suprafață și adâncime de penetrare) și totodată, prin cuprul cu mare conductibilitate termică, să se obțină răcirea sa. În fig. 3.28 este prezentată o secțiune prin vârful unei lănci în care pot fi observate duzele de oxigen și canalele de apă. Ele sunt astfel proiectate încât viteza maximă a apei să fie atinsă chiar în vârful lăncii, zonă expusă celor mai mari temperaturi.

Procesul metalurgic din convertizorul LD și implicit, alimentarea băii metalice cu oxigen depind într-o măsură însemnată de regimul de suflare a oxigenului, condiționat de principalii parametri, care sunt presiunea și înălțimea de insuflare, aceasta din urmă raportată la suprafața statică a băii metalice. Pe parcursul procesului de elaborare, ambii parametri variază corespunzător necesităților tehnologice specifice fiecărei etape.

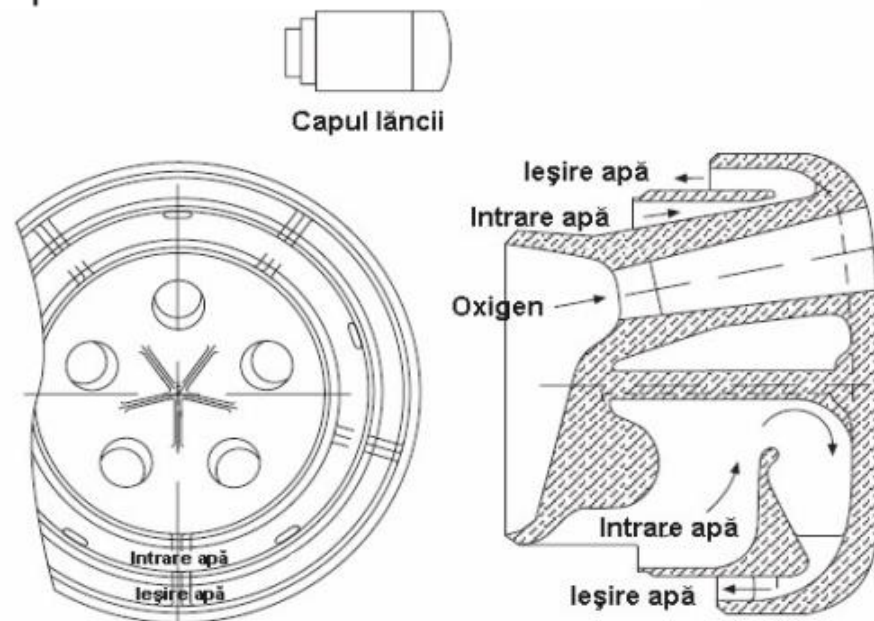


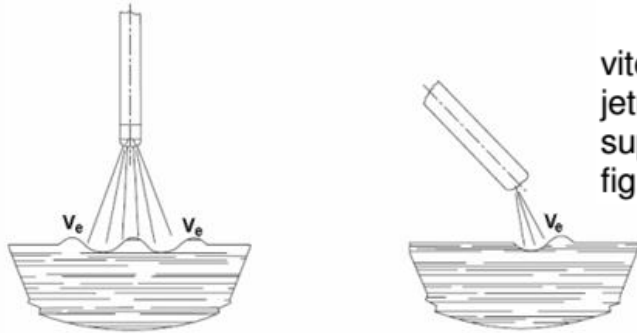
Fig. 3.28. Secțiune printr-un cap de lance cu cinci duze pentru suflarea oxigenului.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Regimul de suflare

Presiunea jetului de oxigen și unghiul de impact al acesuia cu topitura metalică sunt optimizate printr-un design corespunzător al duzelor, cu scopul de a obține efectul metalurgic maxim prin desfășurarea reacțiilor chimice de oxidare și de omogenizare ale topiturii metalice din convertizor (fig. 3.29).

Duzele sunt proiectate pentru un anumit debit (m^3_N / min), care oferă o viteză de curgere a oxigenului exprimată prin numărul Mach, cu un anumit profil al jetului și care dezvoltă forța necesară penetrării stratului de zgură. Jeturile supersonice sunt produse cu ajutorul duzelor converget / divergente, prezentate în fig. 3.30.



Efectul design-ului duzelor asupra unghiului de impact și a fenomenului de împingere.

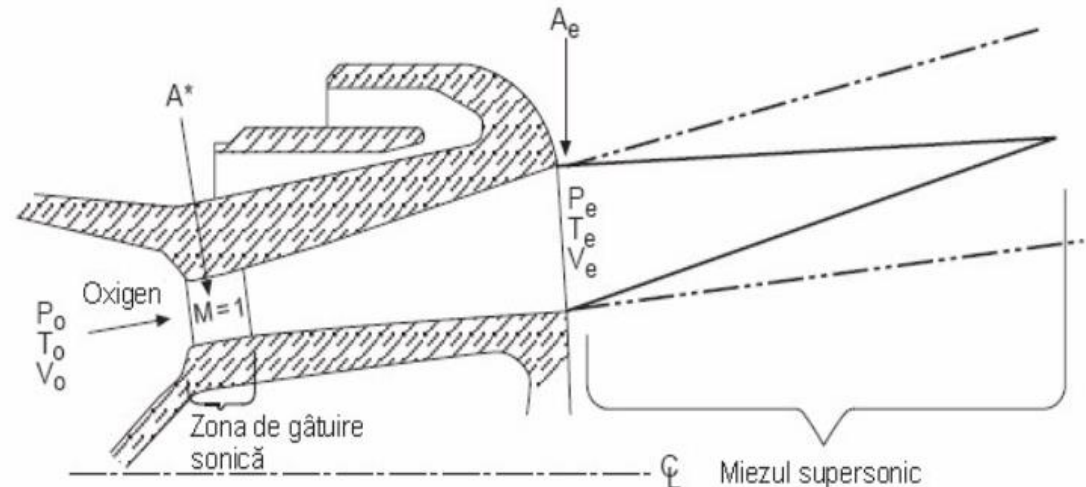


Fig. 3.30. Mecanismul formării jetului supersonic:

P_0, T_0, V_0 – presiunea, temperatura și respectiv, viteza oxigenului la intrarea în duza cu aria A^* ;
 P_e, T_e, V_e – presiunea, temperatura și respectiv, viteza oxigenului la ieșirea din duza cu aria A_e .

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeeul LD. Regimul de suflare

Acțiunea jetului de oxigen asupra băii metalice lichide din convertizor, este determinată de viteza gazului în centrul jetului, la diferite distanțe de capul lăncii. În conformitate cu teoria jetului liber, după ce un gaz iese cu viteza V_e dintr-un ajutoraj circular cu diametrul d , se formează un jet conic, tot mai larg pe măsură ce crește distanța h de la ajutoraj (fig. 3.31).

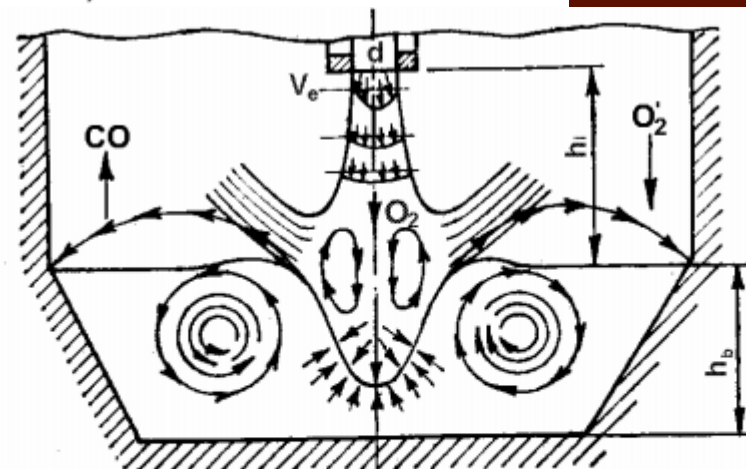


Fig. 3.31. Evoluția jetului de oxigen și fenomenele produse la impactul cu baia metalică:

V_e – viteza la ieșirea din ajutoraj; d – diametrul ajutorajului; h_i – înălțimea de însuflare
 h_b – înălțimea băii metalice.

Viteza V_c în centrul jetului se păstrează egală cu viteza de ieșire V_e pe o distanță egală cu de 4 - 5 ori diametrul ajutorajului, după care se micșorează progresiv în funcție de distanța h și de diametrul ajutorajului d , conform relației:

$$V_c = V_e \cdot \frac{d}{t \cdot h_0},$$

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Regimul de suflare

Adâncimea de pătrundere a jetului de oxigen în baia metalică liniștită este cu atât mai mare cu cât distanța de la ajutorul lăncii este mai mică și cu cât presiunea oxigenului (care influențează viteza de ieșire V_e) este mai mare. Dar, V_e crește odată cu debitul de oxigen insuflat, respectiv cu presiunea de insuflare a oxigenului p_i . În consecință, pentru a mări adâncimea de pătrundere a jetului de oxigen în baia metalică liniștită este necesar să se sufle la presiuni mari și de la înălțimi mai mici față de nivelul băii. În cazul în care este necesar ca oxigenul să nu pătrundă în baia metalică, ci doar să o oxideze superficial, se suflă de la înălțimi mari și cu presiune. Acești doi factori, înălțimea de insuflare și presiunea oxigenului sunt, prin urmare, mijloace puternice de influențare a desfășurării proceselor fizico-chimice din convertizor, la care se apelează de multe ori pe parcursul elaborării șarjei.

Corelarea parametrilor p_i și h_i determină forma suprafeței de impact. Astfel, suflând cu presiune mare (10 ... 18 atm), adică debit mare ($q_i \cong 10 \text{ m}^3_{\text{N}} / \text{min}\cdot\text{t}$) și cu h_i mic ($\approx 0,6 \text{ m}$), valoarea adâncimii amprentei a este mare și îngustă, jetul este întors violent, dând naștere la mișcări turbionare și împrôșcări de topitură în afara convertizorului.

La creșterea înălțimii de insuflare h_i ($\approx 1,5 - 1,6 \text{ m}$) și micșorarea presiunii p_i (7 ... 10 atm), adică ($q_i = 2 - 4 \text{ m}^3_{\text{N}} / \text{min}\cdot\text{t}$), valoarea adâncimii amprentei este mică, diametrul ei este mare. Dar agitația, în acest caz este slabă și baia metalică se oxidează puternic, adică $\Sigma (\text{Fe})$ crește.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Regimul de suflare

Procesele fizico – chimice care se desfășoară în convertizor, determinate de repartiția oxigenului între (zgură) și [baia metalică] sunt condiționate deci, de parametrii suflării oxigenului: înălțimea de insuflare și presiunea de insuflare. Astfel, în primele minute ale suflării oxigenului, procesul dinamic se desfășoară de la înălțime mare, cu debit mic, favorizând reacțiile de oxidare superficială a băii, direct cu oxigen gazos. Se oxidează în primul rând fierul, care formează o fază zgură din oxizii săi (FeO , Fe_2O_3) și alți oxizi ca SiO_2 , MnO etc.

Zgura este răspândită de către jetul de oxigen către peretele convertizorului, favorizând procesele de oxidare directă a elementelor topituri. În aceste condiții, se formează intens (FeO) și, în primele 2 – 4 min. de la începerea suflării oxigenului Σ (FeO) atinge o valoare maximă. Zgura fierbinte, cu conținut ridicat de (FeO) începe să dizolve puternic varul, compoziția ei chimică se deplasează de la conținuturi ridicate de SiO_2 la conținuturi crescătoare de CaO (conform sistemului ternar $\text{FeO} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$).

Cu cât zgura dizolvă mai mult var și mai rapid, cu atât debitul de oxigen poate să crească, spumarea zgurii să fie mai intensă și deci, procesele de afinare și mai ales, defosforarea să fie favorizată (consum de var mai scăzut).

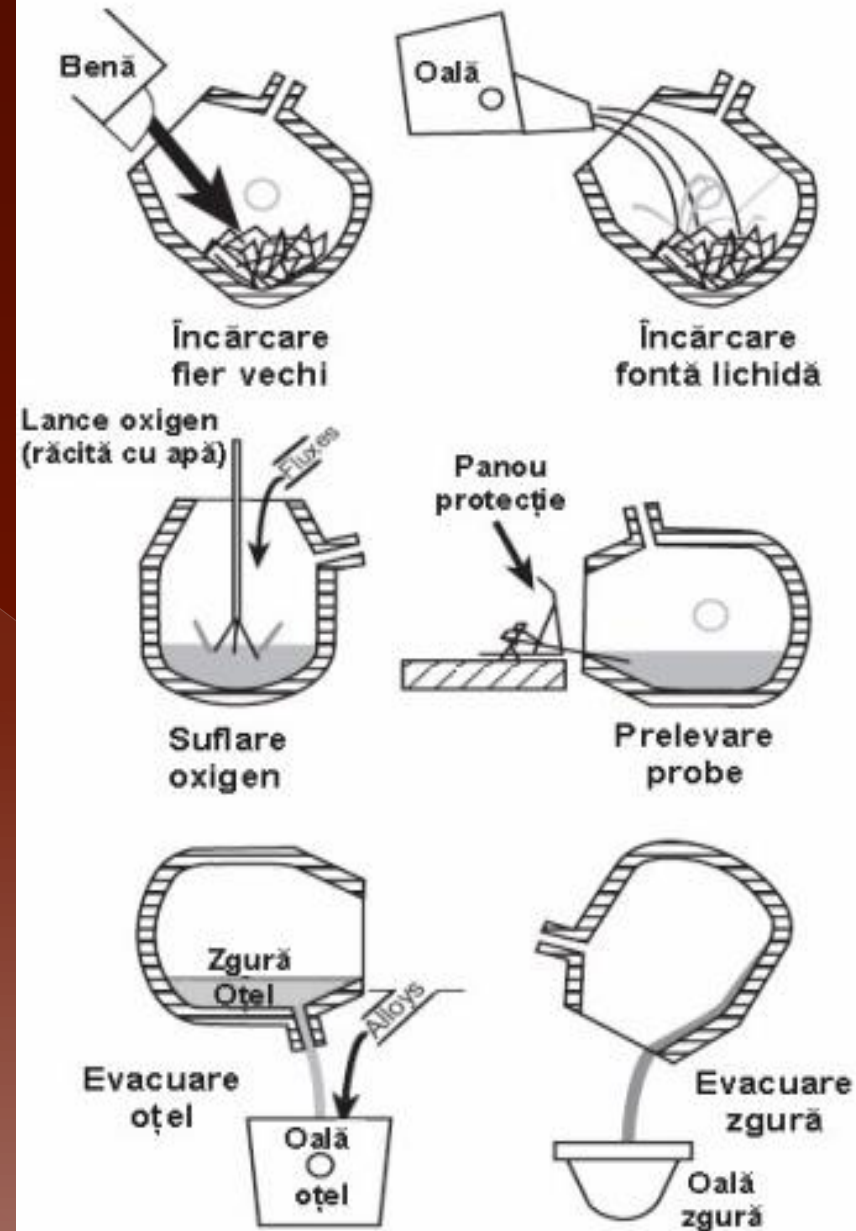
După această perioadă, înălțimea de insuflare crește, ca și debitul de oxigen, ceea ce implică mărirea agitației băii și favorizarea reacțiilor de oxidare indirectă cu (FeO) format, până la reducerea conținutului de carbon din topitură ca urmare a reacției de afinare.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Procesul metalurgic

Procesul de elaborare a oțelului în convertizorul LD, prezentat simplificat în figura alăturată cuprinde mai multe etape:

- încărcarea fierului vechi,
- încărcarea fontei lichide,
- suflarea oxigenului,
- prelevarea probelor
- efectuarea corecțiilor compoziționale și termice,
- evacuarea oțelului și evacuarea zgurii.



4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Procesul metalurgic

Durate orientative ale operațiilor tehnologice la elaborarea în convertizorul LD

Operația tehnologică	Timpul, min.	Observații
Încărcarea fierului vechi și a fontei lichide	5 - 10	Fierul vechi la temperatura ambiantă, iar fonta lichidă la 1340 °C
Suflarea oxigenului	14 - 23	Oxidarea elementelor din baia metalică: Si, Mn, C, Fe, P și adaosul de fluxuri pentru formarea zgurii
Prelevare probe și corecții de compoziție chimică și temperatură	4 - 15	Oțel la 1650 °C, ajustat chimic și termic
Evacuare oțel	4 - 8	Evacuare oțel din convertizor în oală clasică
Evacuare zgură	3 - 9	Evacuarea celei mai mari părți a zgurii din convertizor, dar și păstrarea unei alte părți pentru crearea stratului protector prin împrôșcare cu lancea

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Procesul metalurgic

Procesul de elaborare a oțelului în convertizoare reprezintă rezultanta interacțiunii fizico-chimice dintre următoarele faze care vin în contact și care interacționează între ele: jetul de oxigen (fază gazoasă perfect omogenă), baia metalică și zgura (faze lichide, conținând diferite incluziuni eterogene) și căptușeala refractară (material solid, constituit din mai multe faze).

Dintre acestea, suflarea oxigenului reprezintă etapa care controlează calitativ producerea oțelului, prin procesele de afinare. Desfășurarea acestui proces are următoarele consecințe:

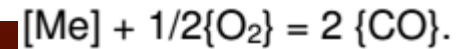
- oxidarea elementelor încărcăturii: C, Si, Mn, P, Cr etc., de la valorile inițiale până la cele cerute de marca de oțel elaborată;
- obținerea căldurii necesare procesului ca urmare a desfășurării reacțiilor de oxidare, care sunt, în exclusivitate, exoterme. Evident, cantitatea de căldură obținută este limitată, dar aceasta permite introducerea în încărcătură a unei cantități de deșeuri feroase solide, de până la 30 %;
- realizarea unei zguri fluide, la început oxidante, care permite dizolvarea unor cantități apreciabile de var, apoi bazice (pentru defosforare) și reducătoare (pentru dezoxidare - aliere și desulfurare).

Afinarea băii metalice se produce cu ajutorul oxigenului gazos suflat prin lance, de cel puțin 99,5 % puritate (ideal, 99,7 – 99,8 %). La contractul cu baia metalică, cea mai mare parte din oxigen reacționează cu aceasta și numai o mică parte (de obicei, sub 10 %) se reflectă și reacționează cu gazele rezultate din proces, transformând parțial monoxidul în dioxid de carbon.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

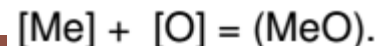
Procedeul LD. Procesul metalurgic

În primele minute de la începerea suflării oxigenului baia metalică nu este acoperită de zgură și oxidarea acesteia se desfășoară în stratul superficial, datorită modului în care este condus procesul: înălțime mare de suflare și debit mic, deci amprentă cu adâncime mică. În această perioadă oxigenul poate reacționa în momentul contactului cu baia metalică nu numai cu atomii de fier ci și cu atomii elementelor însoțitoare (carbon, mangan, siliciu, fosfor), provocând oxidarea lor directă după reacția generală:

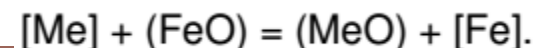


Probabilitatea reacțiilor de oxidare directă a elementelor însoțitoare din baia metalică este mică, deoarece pe suprafața de contact se găsesc numai puțini atomi de aceste tipuri în comparație cu atomii de fier. Se oxidează deci, în primul rând fierul, rezultând o zgură de oxizi cu FeO, SiO₂, MnO, care este împinsă de jeturi înspre peretele convertizorului, ceea ce favorizează continuarea oxidării fierului. În aceste condiții se formează intens FeO și în primele 2 ... 4 minute cantitatea de oxizi de fier rezultată prin oxidare de către jetul gazos Σ (Fe) atinge o valoare maximă, permițând dizolvarea progresivă a varului. De asemenea, temperatura băii crește continuu și sub acțiunea transferului convectiv de energie, topirea fierului vechi solid este accentuată.

Cea mai mare parte dintre elementele însoțitoare nu se oxidează direct cu oxigenul gazos, ci indirect cu atomii de oxigen care mai întâi s-au dizolvat în baia metalică, au format complecși cu atomii de fier și s-au deplasat datorită difuziei turbulente în straturile de interior ale băii metalice până la fronturile reacțiilor de oxidare ale acestora. Deplasarea oxigenului dizolvat în interiorul băii metalice este accelerată într-o foarte mare măsură de fenomenele de amestecare intensă a oțelului, zgurii și fazei gazoase, ceea ce determină viteze mari ale reacțiilor de oxidare ale elementelor însoțitoare după ecuația generală:



Un rol important în procesul de oxidare a elementelor însoțitoare îl joacă contactul foarte bun dintre zgura bogată în oxizi de fier și baia metalică (emulsie), care permite desfășurarea reacției:



4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Oxidarea elementelor însoțitoare

Oxidarea elementelor însoțitoare la elaborarea oțelului în convertizor se produce respectându-se ordinea afinității chimice față de oxigen, cu unele particularități specifice procedeului. Evoluția compoziției chimice a băii metalice în timpul suflării oxigenului este prezentată în fig. 3.36.

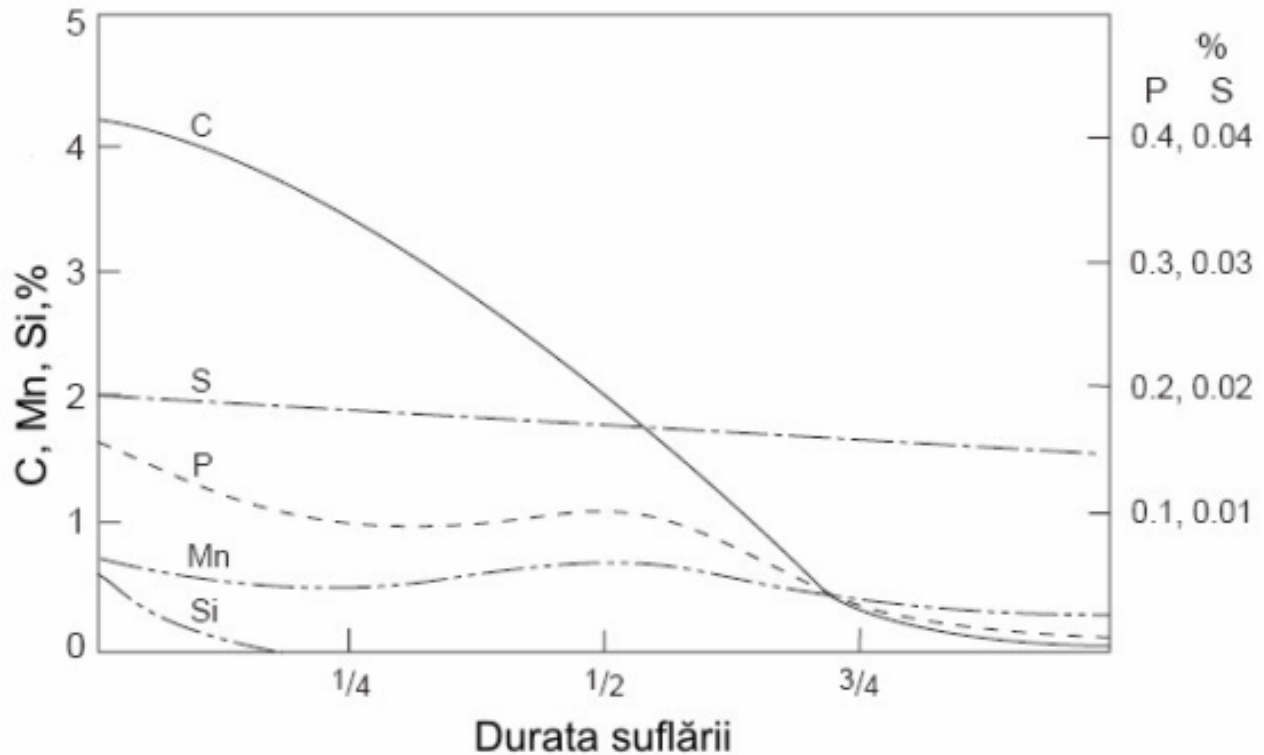


Fig. 3.36. Evoluția compoziției chimice a băii metalice în convertizorul LD.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Oxidarea elementelor însoțitoare

Siliciul prezintă o importanță deosebită în procesul de elaborare prin următoarele:

- influențează puternic regimul termic și deci, cantitatea de fier vechi care se poate introduce în convertizor;
- determină valoarea cantității de zgură prin raportul de bazicitate $B \approx (\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ și implicit conducerea proceselor metalurgice.

Siliciul, care are cea mai mare afinitate față de oxigen, se oxidează în primele 2 ... 5 minute ale șarjei, la început cu viteză mare, după care viteza sa de oxidare scade din ce în ce mult, odată cu conținutul remanent de siliciu, devenind neglijabil (<0,005 %), încă din minutul 6 de la începutul suflării oxigenului. SiO_2 format trece în zgură, unde este legat cu CaO, neputând avea loc o regenerare din zgură.

Manganul, al doilea element însoțitor în ceea ce privește afinitatea față de oxigen se oxidează intens, tot din primele minute ale șarjei. Oxidarea sa continuă până spre jumătatea duratei de suflare (min. 9 ... 10), după care temperatura ridicată (peste 1530 °C) a băii metalice permite inversarea fenomenului, adică regenerarea. Din acest moment, conținutul de mangan se menține ușor crescător până în momentul opririi definitive a suflării oxigenului.

Fosforul începe să se oxideze încă de la începutul suflării oxigenului, cu (FeO) din zgura feroasă și cu [O] din baia metalică. Chiar în condițiile nefavorabile de la debutul șarjei (zgură acidă, conținut ridicat de carbon, temperatură continuu crescătoare) fosforul se oxidează sub influența zgurii bogate în oxizi de fier. Odată cu scăderea conținutului de (FeO) ca urmare a reacției cu carbonul, conținutul de fosfor crește ușor prin reducerea oxizilor cu carbonul, după care, pe măsură conținutul de carbon se micșorează și zgura asimilează mai mult var, procesul de defosforare devine dependent, în principal, de bazicitatea zgurii și de agitarea puternică a băii, gradul de defosforare atingând valori de 80 ... 90 %.

Elaborarea oțelurilor în convertizorul cu oxigen. Procedeu LD.

Oxidarea elementelor însoțitoare

Carbonul se oxidează cu viteze foarte mari în comparație cu alte agregate de elaborare a oțelului. Cu toate acestea, în primele minute de la începerea suflării oxigenului decarburarea este scăzută și are loc numai la suprafața băii, aceasta fiind agitată numai de acțiunea jetului de oxigen. Temperatura băii crește până la 1500 °C, iar viteza de decarburare atinge în primele 5 – 6 min. valori de 0,05 – 0,1 %C/min. Această comportare se datorează în mare măsură oxidării siliciului și manganului din baia metalică (stagiul I al decarburării).

După terminarea oxidării siliciului și încetinirea oxidării manganului, viteza de decarburare crește până la valoarea maximă posibilă, oxigenul fiind consumat practic, numai în reacția cu carbonul.

Astfel, crește temperatura băii, concomitent cu micșorarea viscozității, iar energia de amestecare a băii este asigurată de jeturile de oxigen și mai ale de destinderea izotermă a bulelor de CO, al căror volum este de 4 ... 7 ori mai mare decât al acesteia.

În paralel, are loc dizolvarea puternică a varului, formându-se o zgură fluidă, bazică și oxidantă, care sub acțiunea bulelor de CO spumează, putând conduce și la debordări ale topiturii. În această perioadă viteza de decarburare atinge valori de 0,30 ... 0,35 %C/min. (stagiul al II-lea al decarburării).

În ultimele minute ale suflării oxigenului, pe măsură ce conținutul de carbon al băii se micșorează (0,08 ... 0,12 %) are loc și scăderea vitezei de decarburare. Agitarea băii se produce sub acțiunea jeturilor și mai puțin a bulelor de CO, iar reacția de oxidare a fierului se intensifică pe măsură ce scade conținutul de carbon, gradul de supraoxidare crescând, mai ales atunci când se decarburează sub 0,05 % (stagiul al III-lea al decarburării) [63].

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD.

Dezoxidarea

Dezoxidarea oțelului de convertizor se face aproape exclusiv în oala de turnare, prin precipitare, după evacuarea parțială a zgurii, cu mangan, siliciu și aluminiu, respectând regulile clasice de adăugare. De obicei însă, se preferă dezoxidarea prin precipitare cu dezoxidanți complecși, cum ar fi: MnSi, MnAl, MnSiAl etc. În oala de turnare se corectează și conținutul de carbon cu carburanți și se aliază oțelul în funcție de necesități.

Comportarea gazelor

Deși convertizorul LD se caracterizează prin viteze de decarburare mari și presiuni parțiale $p_{\{H_2O\}}$ și $p_{\{N_2\}}$ foarte mici, conținuturile de hidrogen și de azot nu scad, ci cresc continuu pe seama antrenării din atmosferă și mai ales pe măsura dizolvării varului și introducerii adaosurilor. Conținutul de hidrogen crește și în momentul evacuării, în final oțelul conținând 0,0003 ... 0,004 %, iar conținutul de azot este dependent de puritatea oxigenului, în condiții normale, cantitatea de azot din oțel fiind de 0,004 %.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Formarea și regimul zgurii

Formarea și regimul zgurii în convertizoarele cu oxigen prezintă o puternică influență asupra desfășurării procesului de elaborare, cu implicații directe asupra calității oțelului, mai ales ca urmare a duratei totale mici a sarjelor. Fluxurile pentru formarea zgurii se introduc în convertizor după fierul vechi și fonta lichidă și împreună cu oxizii rezultați din procesul de oxidare formează zgura. Viteza de dizolvare a acestor fluxuri este puternic afectată de reacțiile metal – zgură, care se desfășoară în timpul suflării oxigenului. O primă sarcină impusă de acest considerent este aceea a formării timpurii a unei zguri bazice, fluide și active, care principial, se poate rezolva prin toate mijloacele care asigură dizolvarea rapidă în zgură a varului adăugat înaintea începerii suflării oxigenului.

Dizolvarea varului se face cu atât mai repede, cu cât este mai mare temperatura zgurii, motiv pentru care este necesară creșterea temperaturii stratului superficial al băii metalice, deasupra căruia se adună oxizii elementelor însoțitoare și bucățile de fondanți nedizolvate încă (var, fluorină, bauxită, minereu etc.). Grăbirea amorsării reacției de oxidare a băii metalice, reacție ce reprezintă singura sursă de căldura din convertizorul LD se face prin oxidarea superficială a acesteia.

Formarea zgurii se accentuează după atingerea temperaturii de 1460 ...1470 °C, temperatura care coincide cu cea determinată pentru amorsarea procesului de oxidare a fontei cu ajutorul oxigenului gazos. Peste această temperatură, intensificarea formării zgurii active se datorește nu numai creșterii temperaturii, ci și formării unei cantități mari de oxizi de fier, rezultați din procesul de oxidare. Oxizii de fier împreună cu oxizii de mangan, micșorează temperatura de topire a zgurii, care devine tot mai fluidă pe măsură ce crește conținutul de oxizi. Zgura fluidă formată pătrunde ușor în porii bucăților de var, reacționează cu oxidul de calciu și formează combinații chimice cu temperatură de topire joasă (ferți și manganați de calciu), care se dizolvă repede în zgură, determinând creșterea însemnată a bazicității zgurii.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Formarea și regimul zgurii

Al doilea factor de influențare a regimului zgurii este gradul de amestecare a băii metalice cu zgura. Cantitatea de oxizi de fier care rămâne în zgură și deci, ajută la dizolvarea varului, reprezintă numai diferența dintre cantitatea de oxizii de fier formată și cantitatea consumată în reacțiile cu elementele însoțitoare. În convertizoarele LD, cu poziție verticală fixă, gradul de amestecare a băii metalice cu zgura poate fi influențat numai prin poziția lăncii și prin presiunea oxigenului.

Cel de-al treilea factor care poate grăbi formarea zgurii active este folosirea unor fondanți pentru fluidificarea zgurei, cel mai bun fiind, unanim considerat, fluorina - CaF_2 , prin micșorarea substanțială a temperaturii de topire a amestecurilor $\text{CaO} - \text{CaF}_2$ și prin mărirea activității oxizilor de fier din zgură.

O metodă simplă de asigurare timpurie a unei zguri active constă în păstrarea în convertizor a zgurii finale de la șarja precedentă, care devine fluidă și activă din primul moment al sarjei. Totuși, metoda prezintă următoarele dezavantaje:

- este necesară întreruperea suflării oxigenului (de obicei, între minutele 12 ... 15) pentru evacuarea așa - numitei zguri primare;
- zgura finală de la șarjele anterioare cu conținut mic de carbon este prea activă și determină reacții violente cu baia metalică, reacții însoțite de împrăștiări puternice din convertizor. Limitarea fenomenului se face prin adaosuri masive de var înainte de evacuarea șarjei precedente, cu scopul micșorării activității zgurii prin răcire.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Formarea și regimul zgurii

Un alt factor prin care se poate acționa pentru eficientizarea regimului zgurii este regimul de suflare a oxigenului, prin reglarea parametrilor presiune de insuflare - la valori mici și înălțime de insuflare - la valori mari, în vederea oxidării superficiale a topiturii. Prin aceasta se oxidează avansat baia metalică în stratul superficial, cu formarea unei cantități mari de oxizi de fier, care permit dizolvarea unor cantități din ce în ce mai mari de var și de dolomit, care se introduc în convertizor în această perioadă. Apoi, lancea este coborâtă și zgura începe să spumeze la o treime din durata suflării, odată cu scăderea conținutului de FeO și formării intense de CO. Pe măsură ce suflarea progresează crește conținutul de CaO dizolvat în zgură și greutatea zgurii active, de asemenea, motiv pentru care și conținutul de SiO₂ scade continuu. În final, după trei sferturi din durata suflării conținutul de FeO din zgură crește, ca urmare a scăderii vitezei de decarburare.

Evoluția cantității de oxizi din zgură în funcție de evoluția regimului de suflare a oxigenului este prezentată în fig. 3.37.

În final, în convertizor rezultă o zgură a cărei compoziție aproximativă este:
42 ... 45 % CaO; 2 ... 8 % MgO; 10 ... 30 % FeO; 3 ... 8 % MnO; 10 ... 25 % SiO₂;
1 ... 5 % P₂O₅; 1 ... 2 % Al₂O₃; 0,1 .. 0,3 % S.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeul LD. Formarea și regimul zgurii

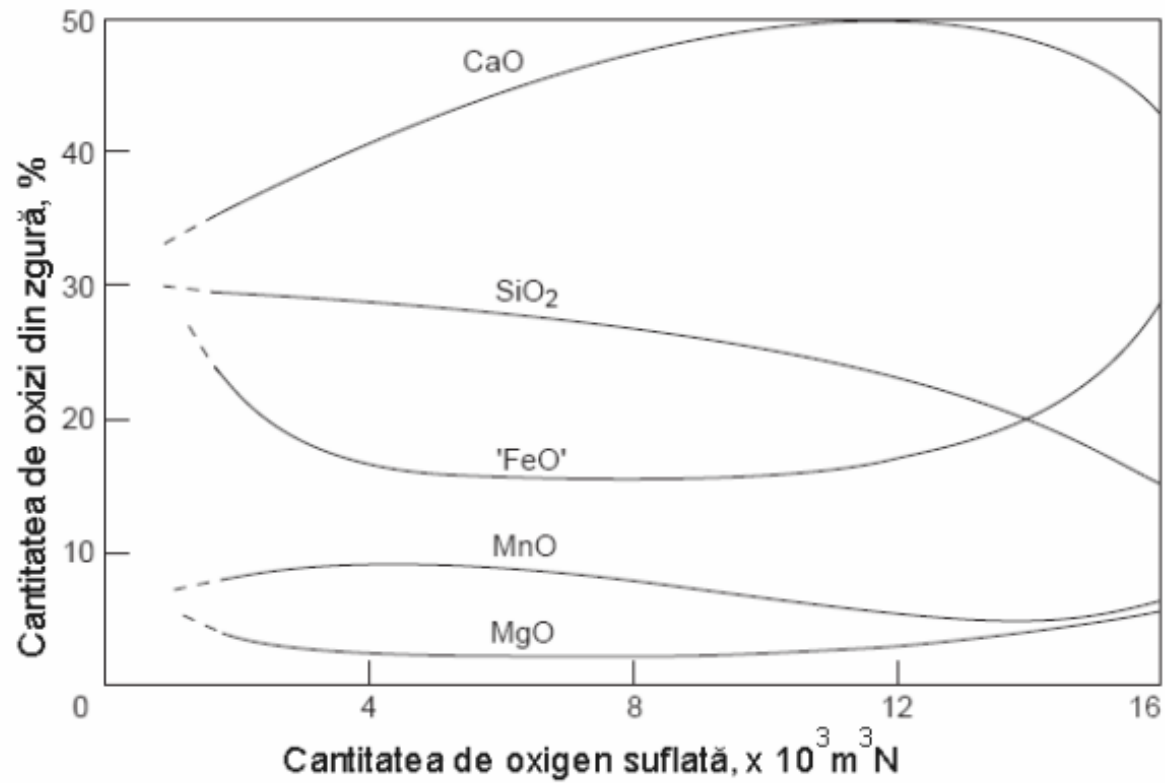


Fig. 3.37. Variația compoziției zgurii cu cantitatea de oxigen insuflată.

4.2.3. Tehnologia de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen.

Procedeeul LD. Bilanț termic și de masă

La elaborarea oțelului în convertizoarele LD nu se consumă nici un fel de combustibil sau de energie electrică, ceea ce reprezintă un important avantaj al acestor procedee. Întreaga cantitate de căldură necesară producerii oțelului în convertizoare este acoperită de efectele termice ale reacțiilor exoterme de oxidare a elementelor însoțitoare conținute în baia metalică.

După cum se prezintă în fig. 3.41, intrările în convertizor sunt reprezentate de fonta lichidă, fierul vechi, fluxurile (var ars și var dolomitic) și oxigen, iar ieșirile de oțel, zgură, fumuri și gaze (CO , CO_2). Reacțiile de oxidare a elementelor însoțitoare produc mai multă energie decât cea necesară ridicării temperaturii băii de la 1350°C (temperatura fontei lichide) la 1650°C (temperatura de evacuare a oțelului). Surplusul de căldură se utilizează pentru topirea unor cantități suplimentare de fier vechi sau minereuri de fier prereduse sau este pierdut prin conductibilitate, convecție și radiație în mediul înconjurător.

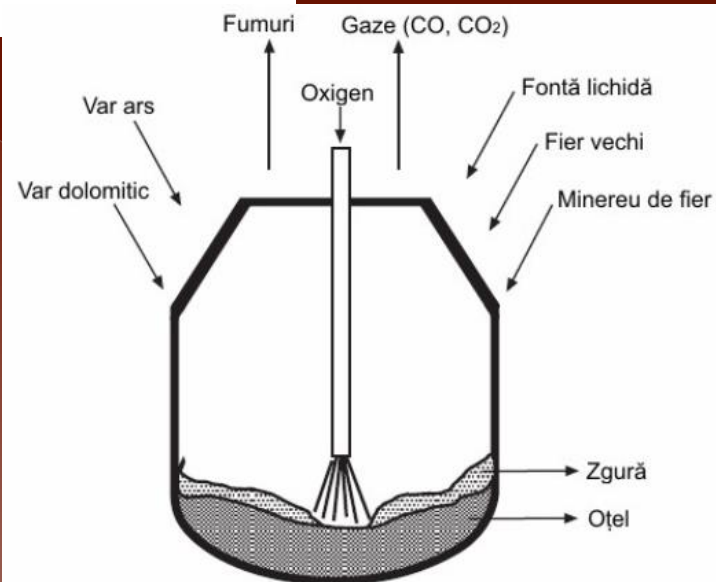


Fig. 3.41. Intrările și ieșirile de materiale la elaborarea în convertizor.