

**Utilaje și echipamente moderne
în metalurgia extractivă
și prelucrarea la cald
a materialelor metalice**

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

**Utilaje și echipamente moderne în metalurgia extractivă
și prelucrarea la cald a materialelor metalice / Pavel**

Toboc, Mihai Chisamera, Stelian Stan, ... - București :
Editura Academiei Oamenilor de Știință din România,
2011

Bibliogr.

Index

ISBN 978-606-8371-57-3

I. Toboc, Pavel

II. Chisamera, Miha

III. Stan, Stelian

669

Editura Academiei Oamenilor de Știință din România

Adresa: Splaiul Independenței, nr. 54, sectorul 5, cod 050094 București, România

Redactor: ing. Mihail CĂRUȚAȘU

Documentarist: ing. Ioan BALINT

Coperta: ing. sist. Adrian Nicolae STAN

**Copyright © Editura Academiei Oamenilor de Știință din România,
București, 2011**

Pavel Toboc

Stelian Stan

Ion Cinca

Mihai Chisamera

Nicolae Constantin

Octavian Trante

**Utilaje și echipamente moderne
în metalurgia extractivă
și prelucrarea la cald
a materialelor metalice**



Editura Academiei Oamenilor de Știință din România

București

2011

Cuprins

1. Agregate termice specifice elaborării aliajelor turnate. Sisteme de prelucrare în stare lichidă.	7
2. Perfecționări constructive și funcționale în cazul utilajelor specifice sectoarelor de laminare, trefilare și tragere	27
3. Mașini și utilaje performante de confecționare a modelelor, formare , miezuire etc. în fabricația de piese turnate	45
4. Utilaje performante pentru reciclarea deșeurilor metalice și nemetalice în metalurgia fieroasă și neferoasă	52
5. Utilaje și echipamente moderne în metalurgia extractivă și prelucrarea la cald a materialelor metalice	63
6. Echipamente termotehnologice moderne de elaborare și tratare a oțelurilor	68
7. Instalații și tehnologii alternative de elaborare a materialelor metalice pornind de la minereuri și cărbune	79
Bibliografie	95

CAPITOLUL 1

Agregate termice specifice elaborării aliajelor turnate. Sisteme de prelucrare în stare lichidă.

1.1. Aggregate termice de elaborare

Cuptoarele electrice cu arc se utilizează în special la elaborarea oțelurilor dar se întâlnesc și în turnătoriile de fontă, în cazul în care este necesară prelucrarea topiturii prin intermediul zgurii. În fig. 1.1 este prezentată schema CEA cu curent alternativ (a) și cu curent continuu.(b).

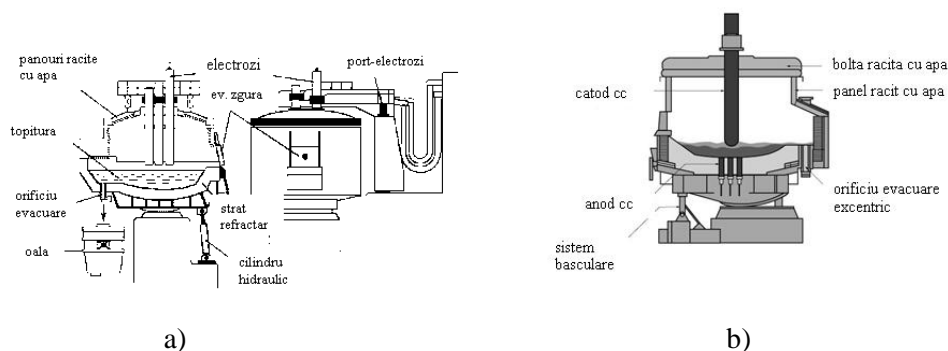


Fig. 1.1 Schema generală a cuptorului electric cu arc, cu curent alternativ (a) și curent continuu (b)

Îmbunătățirea performanțelor CEA este rezultatul unor acumulări inovative în timp care au dus, în principal, la creșterea randamentului de topire, scurtarea duratei de topire și extinderea gamei de materiale de sarjare. Între perfecționările mai importante se amintesc: introducerea arzătoarelor cu oxigen care acționează în zonele “moarte” ale cuptorului, între electrozi sau între electrozi și pereții cuptorului; tăierea cu lănci de oxigen care permite reducerea dimensiunilor încărcăturii și creșterea compactității acesteia; injecția de materiale pulverulente (calcar, grafit) care intensifică procesele din baia metalică; utilizarea zgurilor spumante, cu capacitate mare de reacție față de baia metalică; utilizarea procesului de postcombustie care permite ridicarea temperaturii din cuptor pe seama arderii oxidului de carbon rezultat la afinare; agitarea băii metalice care permite omogenizare termică și chimică a acesteia și intensificarea procesului de rafinare; creșterea performanțelor instalației electrice, cu efecte asupra puterii de topire și flexibilității în operare; utilizarea de portelectrozi conductivi care permit o răcire mai eficientă în zona de contact și un randament electric constant; introducerea sursei de alimentare cu curent continuu care permite o stabilitate mai mare a procesului de topire, la un randament mai ridicat; utilizarea sistemului de încărcare continuă și a încărcăturii preîncălzite etc.

CEA cu curent continuu pot fi utilizate la elaborarea oțelurilor, fontelor, aliajelor neferoase pe bază de Al, Cu, Ni, Co, Pb, a prealiajelor, feroaliajelor, dezoxidanților precum și la retopirea deșeurilor inclusiv a șpanului. Se pot folosi de asemenea pentru prelucrarea zgurelor provenite din industria Al și la elaborarea prealiajelor pe bază de Al (Al-Si, Al-Mn etc.). Cuptoarele de topire au capacități de la 0,5 t până la 100 t iar cele de menținere ajung până la 150 t.

Perioada de elaborare este împărțită în 3 etape: I – cuplarea succesivă a partițiilor transformatorului cu tiristori cu curent redus și tensiune mare, cu activarea electrodului vetrei (în această perioadă arcul electrodului este lung iar supraîncălzirea băii este redusă); II – topirea celei mai mari părți a încărcăturii prin comutarea secțiilor transformatorului cu tiristori (cele doua partiții în paralel și între ele succesiv). În acest fel, curentul în arc se dublează iar tensiunea scade de doua ori, păstrându-se puterea din prima etapa. Pentru agitarea băii de metal formate în prima etapă se cuplează cel de al doilea electrod; III – curentul este crescut de doua ori față de etapa a II-a și de patru ori în comparație cu etapa a I-a. În acest fel, se mărește gradul de agitare al topiturii.

CEA cu curent continuu prezintă următoarele facilități: interacțiune mărită între zgură și baia metalică; dizolvarea rapidă a elementelor de aliere la un grad ridicat de asimilare;intensificarea proceselor de defosforare, decarburare și desulfurare; îndepărtarea avansată a incluziunilor și gazelor din topitură. Sunt revendicate de asemenea, următoarele avantaje: consum redus de electrozi (0,8-1,5 kg/t); micșorarea pierderilor prin ardere de la 10% la 2,5%; micșorarea consumului de feroaliaje cu 15-20%; micșorarea cantității de praf degajată de la 52,5 kg/t la 6,3 kg/t (la un cuptor de 25 t); posibilitatea agitării electromagnetice a băii metalice; eliminarea operației de insuflare a oxigenului pentru intensificarea procesului de topire. Deși cheltuielile de investiții sunt mai mari cu 10-35 %, se consideră că acestea sunt acoperite de avantajele amintite.

1.1.1. Elaborarea fontei în cubilou

Deși are o vechime de cca. 300 de ani, cubiloul rămâne cel mai important agregat de producere a fontei în turnătorii cel puțin din punct de vedere al capacității de topire care variază de la cca. 0,5t/h (cubilou de laborator cu diametrul interior de Φ 300 mm) până la cca. 100 t/h (cubilouri tip furnal cu diametrul interior de peste 3 m). Principalele avantaje ale topiturii în cubilou sunt: capacitate mare de topire (productivitate ridicată) în condițiile unui randament mare de topire; posibilitatea alimentării continui cu fontă lichidă a fluxului de turnare; posibilitatea unei carburări eficiente fără a utiliza materiale de carburare costisitoare; posibilitatea recirculării unei game foarte largi de deșeuri metalice în condițiile recuperării unor metale volatile; fonta de cubilou are un potențial ridicat de germinare al grafitului ceea ce o face pretabilă la turnarea pieselor cu pereți subțiri.

Dezavantajele principale ale topiturii în cubilou constau în: nivel ridicat al sulfului în fontă (în funcție de calitatea cocsului și condițiile de elaborare sulful poate varia în limitele $S = 0,07 - 0,17$); randamentul scăzut la supraîncălzire

(totuși, se obțin temperaturi ale fontei lichide de până la 1550 °C); grad de poluare ridicat, ceea ce implică utilizarea unor instalații eficiente de depoluare. Trebuie avut în vedere însă, posibilitatea reciclării eficiente a deșeurilor metalice, a valorificării pulberilor din turnătorie (praf de cocs, deșeuri pulverulente de la concasarea feroaliajelor etc.) și recuperării Zn din gazele arse.

O clasificare sumară ar putea lua în considerare următoarele tipuri de cubilouri: cubilouri cu zgură acidă sau bazică, fiecare dintre acestea putând fi cu căptușeală sau fără căptușeală refractară, răcite cu apă sau fără răcire, cu cocs, cu cocs și gaz natural/produse petroliere lichide, cu cocs și plasmă sau fără cocs (cu gaze naturale/produse petroliere lichide), cu aer rece sau aer preîncălzit, cu aer normal sau aer îmbogățit în oxigen, cu distribuție normală a aerului de combustie pe 1, 2 sau 3 rânduri de guri de aer (cu un raport de distribuție de 80 : 20 sau 80 : 10 : 10) sau cu aer redistribuit (două rânduri de guri de aer distanțate, cu raportul de distribuție a aerului de 70 : 30 până la 50 : 50), cu cuvă cilindrică, tronconică sau cilindro – tronconică etc.

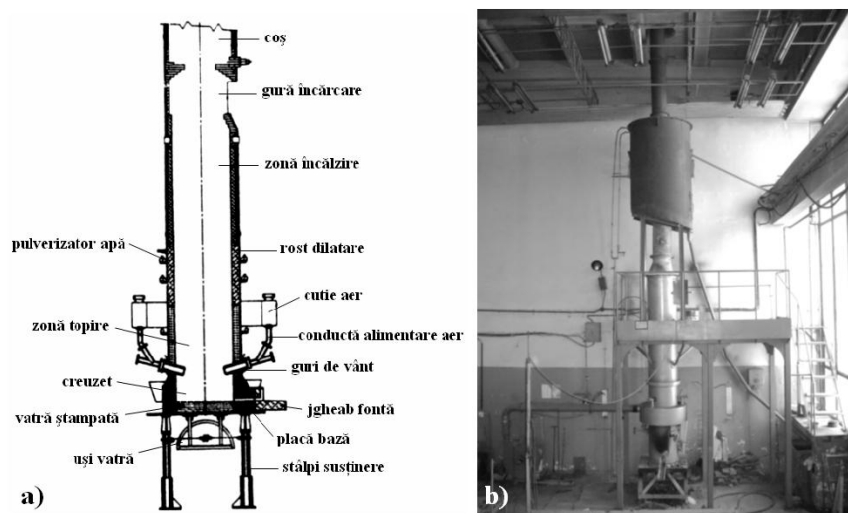


Fig.1.2. Aspectul tipic și părțile componente ale unui cubilou cilindric (a) și cubiloul experimental de laborator al Catedrei PME, fac.SIM, UPB (b)

În fig. 1.2a este prezentată schița unui cubilou cilindric industrial iar în fig. 1.2b, cubiloul experimental de la catedra PME, Fac. SIM, UPB.

Principiul general de funcționare al cubiloului constă în topirea continuă a încărcăturii metalice care coboară în contracurent cu gazele arse care realizează mai întâi încălzirea încărcăturii în zona superioară (zona de încălzire), topirea în zona de topire situată la partea superioară a patului de cocs și apei, supraîncălzirea topiturii, sub formă de picături, în zona inferioară a patului de cocs (fig. 1.3).

Încărcătura metalică este dispusă în porții care alternează cu porțiile de cocs și fondant, în cazul cubilourilor cu cocs și în vrac, în cazul cubilourilor fără cocs. În

cubilourile cu cocs căldura este produsă, în principal, prin arderea cocsului din stratul (patul) de cocs, așezat pe vatra cubiloului cu aer (rece/cald normal sau îmbogățit în oxigen) insuflat prin gurile de aer dispuse, de regulă, pe două rânduri.

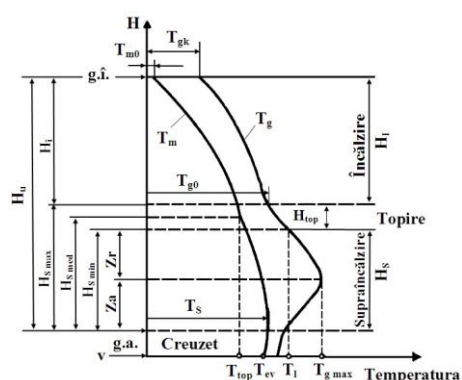


Fig.1.3. Zonele principale din cubilou: v -vatra, g.a.-nivelul gurilor de aer; g.i.- gura de încărcare; T_m —temperatura încărcăturii metalice (T_{top} —temperatura medie de topire); T_g —temperatura gazelor arse (T_{gk} —la g.i.; T_{g0} —la începutul topirii; T_1 —la sfârșitul topirii); T_s —temperatura maximă a fontei lichide; T_{ev} —temperatura fontei la evacuare. Z_a/Z_r —zonele de ardere/reducere; H_{Smax} , H_{Smin} , H_{Smed} —înălțimile superioară, inferioară și medie ale patului de cocs de la rândul de bază de g.a.

La cubilourile fără cocs combustibilul gazos sau/și lichid este ars în focare plasate pe partea exterioară a cuvei, în cubilou pătrunzând gaze arse la temperatură ridicată, într-un plan orizontal situat sub grătarul care sprijină stratul din bile ceramice și încărcătura metalică. La cubilourile cu plasmă sursa principală de căldură este fluidul plasmatic cu temperaturi de 900 – 1300 °C care pătrunde în cubilou prin gurile de aer. A doua sursă, cu pondere mai redusă este cocsul din patul de cocs (consum 2 – 5%). Patul de cocs este zona în care se desfășoară practic toate procesele metalurgice din cubilou, inclusiv generarea căldurii și schimbul de căldură în timpul topirii și supraîncălzirii fontei, în sistemul cocs – gaze arse – metal solid/lichid.

Căldura totală (Q_t) generată în cubilou provine din diverse surse, astfel:

$$Q_t = Q_k + Q_{cs} + Q_{rex} + Q_{aer} \quad (1-1)$$

Q_{rex} – căldura reacțiilor exoterme, altele decât cele de ardere a combustibililor;

Q_{aer} – căldura adusă de aerul de combustie;

Schimbul de căldură în cubilou depinde de o serie de factori care caracterizează cele două medii aflate în mișcare în contracurent:

- gazele arse, prin: viteza, v_g , densitatea, ρ_g , coeficientul de conductibilitate termică, λ_g , căldura specifică, C_{pg} , viscozitatea cinematică, ν_g , coeficientul de difuzivitate termică, α_g , temperatura, T_g și volumul de gaze, V_g ;

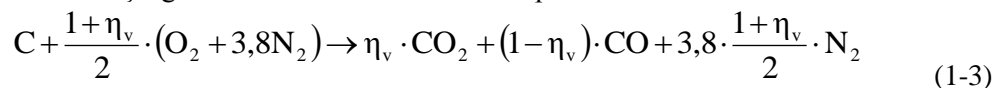
- încărcătura metalică, prin: masa și dimensiunea bucăților metalice (G_m , d_m), conductibilitatea termică a metalului, λ_m , viteza de coborâre în cubilou, v_m și masa porției de încărcătură, G_p .

Fluxul de căldură de la gazele arse către încărcătura metalică, q_c , depinde de factorii de mai sus, astfel:

$$q_c = f\left(\frac{\rho_g, V_g, \lambda_g, T_g, \lambda_m}{v_g, G_m, d_m, v_m, G_p}\right) \quad (1-2)$$

În condițiile în care unii parametri nu variază semnificativ, rezultă că schimbul de căldură este determinat în principal de temperatura, volumul și viteza gazelor arse, pe de o parte și de caracteristicile încărcăturii metalice (G_m, d_m, G_p) și viteza de coborâre a acesteia, pe de altă parte.

Reacția generală a arderii carbonului în patul de cocs este:



în care η_v reprezintă coeficientul de ardere, dat de reacția:

$$\eta_v = \frac{\%CO_2}{\%CO_2 + \%CO} \quad (1-4)$$

Arderea cocsului în strat produce o divizare a acestuia pe înălțime, în două zone (zona de ardere și zona de reducere a căror întindere depinde de caracteristicile fizico-chimice ale cocsului (dimensiuni, compoziție chimică, reactivitate), și parametrii aerului de combustie (debit, temperatură, compoziție). Delimitarea celor două zone este dată de planul în care conținutul de oxigen remanent din gazele arse, $O_{2\text{ rem}} < 1\%$. Înălțimea zonei de ardere, h_{za} , se poate estima din relația:

$$h_{za} = (3...5) \cdot d_K, m \quad (1-5)$$

Creșterea zonei de ardere în dauna celei de reducere este determinată de extinderea arderii sub influența unei reactivități scăzute a cocsului (conținut ridicat de cenușă), granulației mari a cocsului (suprafață specifică mică), debitului mare de aer, concentrației reduse a oxigenului în aer etc. O zonă extinsă de ardere are efecte pozitive din punct de vedere al randamentului de ardere a cocsului dar are efecte negative datorită creșterii pierderilor prin oxidare ale metalului și micșorării productivității cubiloului (scade viteza de coborâre a încărcăturii în cubilou).

În cubilourile cu zgură acidă, pierderile prin oxidare ale Fe variază în limitele 0,25 – 1,5% în funcție de tipul încărcăturii și caracterul termodinamic determinant al atmosferei gazoase.

Pierderile prin arderea Mn variază în limitele 15...30%, în cubiloul acid și 5...10%, în cubiloul bazic, în timp ce și poate crește în cubilourile acide cu aer cald și arde, la cele cu aer rece ($a_{Si} = -20...30\%$). În cubilourile cu zgură bazică arderea și este tot timpul pozitivă și foarte mare ($a_{Si} = 25...50\%$).

Pentru micșorarea pierderilor prin oxidare, în încărcătura cubiloului se utilizează adaosuri reducătoare (carbură de siliciu metalurgică în amestec cu CaO, carbură de calciu eutectică etc.) care pe lângă efectul de reducere a oxizilor de Fe înlocuiesc o parte (2 – 4%) din cocsul de turnătorie ca urmare a efectului termic al

reacțiilor de ardere. În același timp este favorizată reținerea sulfului în zgură ca urmare a reducerii potențialului de oxigen și creșterii bazicității zgurii (se obține o micșorare a conținutului de sulf cu 0,01 – 0,02%).

1.1.2. Elaborarea aliajelor în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție (CEI).

Principiul funcționării CEI 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 (250–10 000 Hz) sau frecvență înaltă (> 100 000 Hz).

Din punct de vedere constructiv există două tipuri de CEI, respectiv, CEI cu creuzet (fig. 1.4) și CEI cu canal (fig. 1.5).

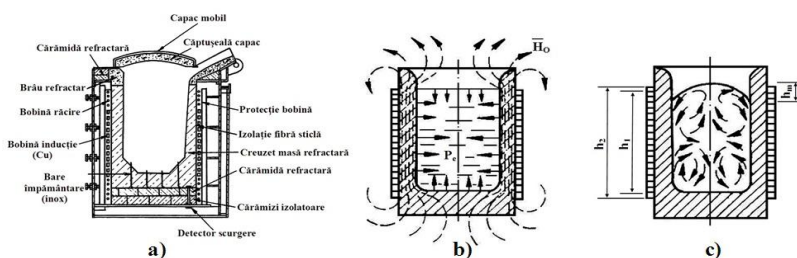


Fig. 1.4. Cuptor electric cu inducție creuzet: a) – schemă construcție; b – distribuție forțe electromagnetice; c) - circulația topiturii sub efectul câmpului electromagnetic.

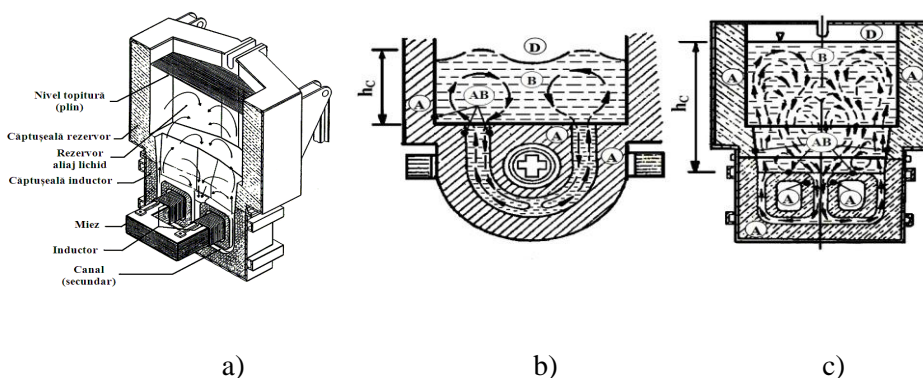


Fig.1.5. Cuptor electric cu inducție cu canal: a – schema construcție; b, c – schema agitării electromagnetice la cuptoarele cu unu (b) sau doua (c) inductoare.

Cuptorul cu inducție cu creuzet are inductorul dispus în jurul unui creuzet ușor tronconic din material refractar care poate avea caracter acid (cuarțită), bazic (magnezită) sau neutru (alumină).

Deoarece câmpul electromagnetic intersectează tot spațiul creuzetului în care se află încărcătura metalică, pe post de indus, CEI cu creuzet poate fi utilizat atât la topire cât și ca agregat de supraîncălzire și menținere a fontei lichide în vederea prelucrării (sistem duplex).

În cazul CEI cu canal inducția se realizează numai într-un canal circular plin cu aliaj lichid (spiră) care reprezintă circa 10% din volumul cuptorului, încălzirea fontei din rezervorul cuptorului făcându-se pe seama circulației topiturii între canal și rezervor provocate de presiunea câmpului electromagnetic și diferența mare de temperatură între cele două zone. Din acest motiv CEI cu canal are o putere termică redusă, în schimb acest sistem a fost dezvoltat foarte mult în direcția utilizării lui ca agregat de menținere cu capacități foarte mari (până la 300 t fontă) datorită posibilității de a conecta mai multe inductoare cu canal la același rezervor și ca agregat de menținere-turnare utilizat pe liniile de turnare mecanizate sau automatizate (autopour).

Cuptoarele cu inducție cu creuzet au posibilități foarte largi de topire putând fi utilizate atât în turnătoriile de aliaje feroase cât și cele de neferoase. Cuptoarele cu creuzet pot avea căptușeală acida, neutră sau bazica, alegerea căptușelii depinzând de tipul aliajului și condițiile de elaborare.

Relații de bază care definesc parametrii tehnici ai CEI cu creuzet

Coeficientul de penetrație al curenților induși (δ) este dat de relația:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}, \text{ [m]} \quad (1-6)$$

unde: ρ este rezistivitatea electrică a materialului încălzit, în Ωm (pentru topiturile feroase, $\rho = 1,3 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m} = 1,3 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$).

μ – permeabilitatea magnetică a materialului încălzit, H/m.

f – frecvența curentului primar, în Hz.

De ex: - pentru $f = 50 \text{ Hz}$; $\rho = 1,3 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$ și $\mu = 1 \text{ H/m}$, rezultă $\delta = 0,081 \text{ m}$.

- pentru $f = 250 \text{ Hz}$, rezultă $\delta = 0,036 \text{ m}$.

- pentru $f = 500 \text{ Hz}$, rezultă $\delta = 0,026 \text{ m}$.

Pentru frecvențe joase (50 Hz), $\delta = 60 \dots 80 \text{ mm}$, în timp ce pentru frecvențe medii (250...1000 Hz), $\delta = 10 \dots 40 \text{ mm}$.

Frecvența minimă a curentului primar (f) este dată de relația:

$$f \geq 25 \cdot 10^6 \cdot \frac{\rho}{\mu \cdot d^2}, \text{ [Hz]} \quad (1-7)$$

în care: ρ se exprimă în Ωm

μ se exprimă în H/m

d se exprimă în m.

Puterea indusă (P_i) se calculează cu relația :

$$P_i = 6,1 \cdot 10^{-8} \cdot H^2 \cdot Q \cdot A \cdot \sqrt{\rho \cdot \mu \cdot f}, \text{ [KW]} \quad (1-8)$$

în care: $H = I \cdot S$ este intensitatea câmpului magnetic, în A/m;

I – intensitatea curentului primar, A;

S – numărul de spire al inductorului;

Q, A – funcții care depind de rapoartele dimensionale ale spațiului de lucru
Puterea specifică (P_s) este dată de raportul dintre puterea indusă (P_i) și capacitatea cuptorului (G) :

$$P_s = \frac{P_i}{G}, \text{ KW/t} \quad (1-9)$$

Gradul de agitare electromagnetică al topiturii (h):

$$h_m = \frac{7,9 \cdot P_i}{\sqrt{\rho \cdot \mu \cdot f \cdot G \cdot 10^6}} \cdot \frac{d}{h_t} \cdot 100, [\%] \quad (1-10)$$

în care: P_i este puterea indusă în cuptor, în KW;

μ - permeabilitatea magnetică a topiturii, în H/m;

ρ – rezistivitatea electrică a topiturii ($\rho = 1,31 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m} = 1,31 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$);

f – frecvența curentului primar, în Hz;

d – diametrul creuzetului cuptorului, în m;

h_t – înălțimea topiturii în creuzet, în m;

G – cantitatea de fontă lichidă din cuptor, în t.

De exemplu: pentru un cuptor cu $P_i = 660\text{KW}$, $f = 50\text{Hz}$; $d = 0,8\text{m}$, $h_t = 1,1\text{m}$, $G = 3,5\text{t}$, $\rho = 1,3 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$ și $\mu = 1\text{H/m}$, rezultă : $h_m = 13,4\%$.

În aceleași condiții, la o frecvență $f = 250 \text{ Hz}$ rezultă: $h_m = 6\%$.

La un cuptor cu caracteristicile tehnice cunoscute relația gradului de agitare poate fi scrisă sub forma:

$$h_m = C \cdot \frac{P_i}{G} \quad (1-11)$$

Se observă că, la o situație dată (tipul și mărimea cuptorului), gradul de agitare al topiturii poate fi influențat prin mărimea puterii induse (treapta de putere) și cantitatea de topitură din cuptor). Deasemenea este de reținut influența inversă a frecvenței asupra gradului de agitare al topiturii. La frecvența rețelei (50 Hz), $h = 5...20\%$, în timp ce la frecvențe medii, $h < 10\%$.

Din relațiile prezentate rezultă rolul important al frecvenței în determinarea parametrilor proceselor de încălzire, topire – supraîncălzire și de prelucrare ale topiturilor metalice. Astfel, creșterea frecvenței curentului primar are ca efecte: micșorarea coeficientului de penetrație al curenților induși; creșterea puterii induse specifice a cuptorului și deci a capacității de topire; scăderea duratei de topire; scăderea gradului de agitare electromagnetică a topiturii cu efectele metalurgice specifice; micșorarea vitezei curenților turbionari în topitură și deci a forțelor mecanice care acționează asupra căptușelii refractare; micșorarea capacității cuptorului (cuptoarele cu frecvență industrială cu capacități mari și invers).

Agitarea electromagnetică a topiturii (brasajul) este atuul principal al CEI cu frecvență joasă la care gradul de agitare poate să ajungă la 15...20%. Efectele pozitive ale brasajului constau în: omogenizarea compoziției chimice și temperaturii băii metalice; creșterea gradului de asimilare al materialelor ușoare (adaosuri carbonice, de desulfurare etc.), posibilitatea efectuării unor corecții la sfârșitul elaborării și nu în încărcătura solidă când pierderile sunt mari. Efectele

negative ale unei agitări puternice constau în: erodarea mai rapidă a căptușelii refractare, creșterea intensității unor reacții între baia metalică și creuzet, spargerea zgurii și antrenarea ei în baia metalică, creșterea contactului băii metalice cu atmosfera.

Tendința actuală se manifestă, totuși în direcția extinderii utilizării CEI cu frecvență medie (500...1000 Hz) cu toate inconvenientele produse de brasajul slab al topiturii. Argumentele sunt în principal, următoarele: putere mai mare de topire ceea ce duce la scurtarea esențială a duratei de topire; randament ridicat la topire; nu mai necesită menținerea de la o șarjă la alta a “călcâiului” de pornire ceea ce elimină inconvenientele legate de neutilizarea capacității integrale a cuptorului și de schimbarea calității (mărcii) fontei elaborate; pierderi mai mici prin oxidare datorită topirii rapide și brasajului mai redus; uzură mai redusă a căptușelii refractare etc.

Dezavantajul CEI cu frecvența medie sunt legate de absența brasajului care limitează procesele legate de acest efect (carburare, desulfurare etc.) dar și de capacitate mai reduse ale acestor cuptoare.

Pentru a elimina acest ultim inconvenient au fost create sistemele DUAL de cuptoare care lucrează în diverse variante: lucrul în tandem cu cuplare alternantă, mecanică sau electronică, sistemul Twin power care presupune cuplarea simultană a celor două cuptoare pentru a asigura alimentare continuă cu fontă la turnare și a mări gradul de utilizare a puterii electrice, etc.

În fig.1.6 sunt prezentate două scheme de principiu ale funcționării în tandem a CEI cu creuzet cu frecvență medie.

În varianta (a) un cuptor este pe topire iar celălalt este pe menținere/turnare. Pentru a asigura temperatura de turnare constantă, cuptorul al doilea este conectat pentru scurt timp la sursa de alimentare întrerupându-se funcționarea cuptorului 1.

În varianta (b) cele două cuptoare sunt cuplate simultan la sursa electrică iar distribuția puterii se face automat în funcție de necesitatea unui cuptor sau .

Avantajele funcționării în tandem constau în:

- topire considerabil mai rapidă; productivitate mare la cuptoare de capacitate mică; start rapid de la rece;
- posibilitatea controlului asupra agitării topiturii alegând corect frecvența și puterea;
- posibilitatea atingerii unor temperaturi mari cu pierderi mici de metal chiar când topirea se oprește; posibilitatea schimbării frecvențe a aliajului;
- controlul precis al temperaturii și reglarea puterii între 0 – 100% etc.

Cuptoarele rotative cu flacără (CRF) sunt utilizate pentru elaborarea fontelor și aliajelor de aluminiu (în ultimul caz, în special ca agregat de reciclare). Din punct de vedere constructiv CRF constă dintr-un tambur cilindric cu terminații tronconice căptușit la interior cu masă refractară acidă (95% SiO₂). Tamburul așezat în poziție orizontală pe patru role este antrenat într-o mișcare de rotație în jurul axei orizontale, după topirea încărcăturii și se poate înclina la 45° în plan vertical pentru încărcare (fig. 1.7). Gazele arse sunt trecute printr-un recuperator unde se preîncălzește aerul de combustie și apoi prin sistemul de desprăfuire după

care ajung la coș cu un conținut de impurități de cca. 20 mg/m³. CRF se construiesc la capacități de 1...25 t, durata de topire variind în funcție de capacitate, de la 1h 10 min până la 2h 30 min.

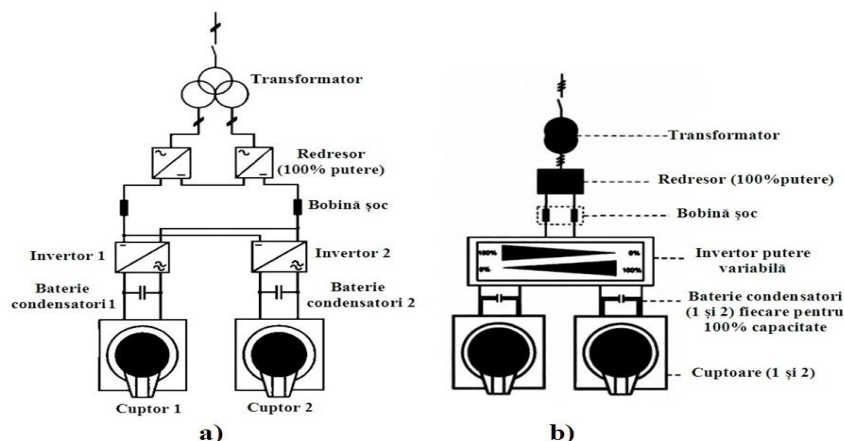


Fig.1.6. Schema de principiu (ABB) a funcționării în tandem a CEI cu creuzet cu frecvență medie: 1) funcționare alternantă a CEI cu comutare electronică; b) funcționare simultană cu distribuție a energiei în funcție de necesități.

Durata scurtă de topire și temperatura ridicată (1500...1550 °C) datorită puterii termice mari a arzătorului oxigaz fac ca pierderile prin oxidare să fie mai mici cu cca. 50% față de cuptorul cu arzător aer – gaz iar consumul de combustibil și durata de topire să fie reduse la jumătate.

Procesul de elaborare a fontei în CFR se rezumă la topirea unei încărcături bine determinate, bazată în principal pe fontă brută și deșeuri de fontă/recirculate, supraîncălzire și corecții ușoare care se efectuează cu ajutorul unor dispozitive speciale prin orificii prevăzute în zona tronconică opusă arzătorului.

Noua generație de CRF permite obținerea unor fonte de calitate, inclusiv Fgn și fonte înalt aliate, în condițiile alcătuirii unei încărcături curate și cu o compoziție care să nu necesite intervenții consistente.

1.1.3. Elaborarea fontelor în sistem duplex

Se știe că agregatele de elaborare, utilizate în turnătoriile de fontă, respectiv cubiloul, cuptorul cu inducție cu creuzet și canal, cuptorul cu arc, cuptorul cu flacăra prezintă caracteristici atât pozitive, cât și negative privitor la multitudinea de aspecte ale procesului de obținere a fontei: componența și costul încărcăturii, gradul de oxidare, consumul de energie, productivitatea, calitatea fontei, condițiile de muncă. Din această cauză, se utilizează tot mai mult combinații de două sau

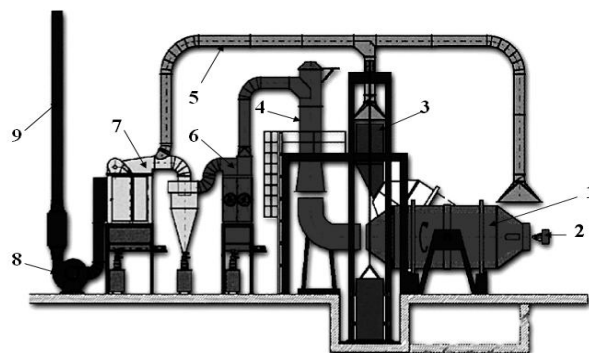


Fig.1.7. Schema amplasării CRF și instalațiilor auxiliare; 1 – cuptor; 2 – arzător oxigen – gaz; 3 – sistem de încărcare cu benă; 4, 5 – tubulatură pentru captarea gazelor arse; 6 – recuperator caldura; 7 – sistem desprăfuire; 8 – ventilator; 9 – coș.

chiar de mai multe agregate de elaborare, astfel încât să se valorifice caracteristicile pozitive ale fiecăruia.

A. Cubilou – cuptor cu inducție cu creuzet

Cubiloul constituie agregatul de topire, capabil să asigure o cantitate mare de fontă lichidă în unitatea de timp, cu randament mare la topire și cu utilizare bună a energiei primare. Fonta lichidă este preluată de cuptorul cu inducție cu creuzet, cu căptușeală acidă de regulă la frecvența rețelei (50 Hz), în care se realizează omogenizarea chimică, datorită agitării electromagnetice, supraîncălzirea, la un randament termic ridicat, precum și corectarea compoziției chimice, favorizată de agitare și de pierderile mici prin ardere, gradul de asimilare a elementelor putând atinge în scurt timp valori mari. În aceste condiții, în funcționarea cubiloului apar o serie de schimbări: consumul de coals este redus (12.. 15%), deoarece nu mai sunt necesare grade mari de supraîncălzire a fontei ($T_f < 1400^\circ\text{C}$); se micșorează ponderea fontei de primă fuziune și crește participarea oțelului în încărcătura cubiloului; încărcătura nu mai conține feroaliaje, corectarea compoziției chimice urmând să aibă loc în CEI; realizarea încărcăturii este mai simplă;

Corectarea compoziției chimice în CEI, la un grad de asimilare ridicat, conduce la economii importante de feroaliaje, la care se adaugă micșorarea costului încărcăturii cubiloului și a topirii în cubilou, precum și îmbunătățirea calității fontei finale, din care cauză elaborarea în acest sistem este mai rentabilă decât în cazul utilizării unui singur agregat. Supraîncălzirea fontei în CEI distruge însă o parte din germenii de grafitizare ceea ce impune o inoculare mai eficientă a fontei.

B. Cubilou – cuptor cu inducție cu canal

Acest sistem de elaborare se utilizează de regulă atunci când sunt necesare cantități mari de fontă lichidă, la grade scăzute de variație a compoziției chimice și la temperaturi de turnare constante. Cubilourile asigură o producție mare și continuă de fontă lichidă, iar cuptoarele cu inducție cu canal pot acumula cantități

mari de fontă (10...250 t), asigurând omogenizarea compoziției chimice, abaterile fiind de maximum 0,05%, față de $\pm 0,5\%$, cât se înregistrează, pentru carbon și siliciu, pe jgheabul cubiloului.

Capacitatea cuptoarelor cu canal trebuie să fie :

$$Q_{c.c} = (2...3) \cdot P \text{ [t]} \quad (1-12)$$

în care : $Q_{c.c}$ este capacitatea cuptorului cu canal, în t;

P – productivitatea cubiloului, în t/h.

Utilizarea sistemului de elaborare duplex cubilou-cuptor cu inducție cu canal asigură, pe ansamblu, un consum mai redus de energie.

C. Cubilou – cuptor electric cu arc

Topirea în cubilou este realizată la productivitate mare, cu randament termic mare, dar fontele obținute (mai ales în cubilourile clasice, cu consum mare de cocs) au conținuturi mari de sulf și fosfor, din care cauză nu pot fi utilizate în vederea obținerii grafitului compact (vermicular și nodular).

Cuptorul cu arc asigură posibilitatea corectării compoziției chimice, la pierderi prin ardere mai scăzute decât la cubilou, precum și procese avansate de desulfurare și defosforare. Cuptorul electric cu arc bazic, poate constitui deasemenea o verigă intermediară într-un sistem triplex Cubilou – CEA bazic – CEI, în care CEA efectuează operațiile de desulfurare și defosforare.

D. Cuptor electric cu arc – cuptor electric cu inducție cu creuzet

Topirea în cuptorul cu arc permite utilizarea unor deșeuri metalice de dimensiuni mari, cu conținut mare de impurități, acest agregat de elaborare neimpunând condiții pentru o pregătire specială a încărcăturii. În cuptorul cu arc însă, supraîncălzirea se realizează cu consum mare de energie (peste 100 kWh/t), iar corectarea compoziției chimice, cu pierderi mari prin ardere, carburarea prezentând dificultăți deosebite.

Utilizarea cuptorului cu inducție cu creuzet permite corectarea și omogenizarea compoziției chimice, la grade de asimilare mai mari.

E. Cuptor electric cu arc – cuptor electric cu inducție cu canal

La topirea fontelor în cuptoare cu arc, de regulă de mare capacitate, cuptoarele cu canal au rolul de mixere, pentru acumularea, omogenizarea, supraîncălzirea, corectarea compoziției chimice și distribuirea la turnare a fontei. În aceste condiții, topirea în cuptorul cu arc este posibilă și în timpul nopții sau în alte perioade, în care nu are loc turnarea în forme.

F. Cuptor electric cu inducție cu creuzet – cuptor electric cu arc

Această variantă de elaborare este utilizată mai ales în producția de fontă cu grafit nodular de înaltă calitate utilizată la turnarea pieselor puternic solicitate. Topirea se realizează în cuptoare cu inducție cu creuzet, cu căptușeală acidă, în timp ce cuptoarele cu arc bazice sunt utilizate în principal pentru defosforare și desulfurare avansate

G. Cuptor electric cu inducție cu creuzet – cuptor electric cu inducție cu canal

Acest sistem de elaborare asigură o funcționare continuă a cuptoarelor cu inducție cu creuzet, fără stagnările impuse de perioada de turnare, cunoscut fiind

faptul că aceste agregate de elaborare nu se pretează la evacuarea unor cantități mici de fontă, necesare turnării, în special pe conveior. Productivitățile scăzute ale cuptoarelor cu creuzet fac nerentabilă scoaterea acestora din circuitul topirii, implicând perioade mari de timp necesare preluării fontei lichide pentru turnare.

De regulă, cuptorul cu inducție cu canal de capacitate mare este alimentat de mai multe cuptoare cu creuzet, realizând în acest mod funcționarea continuă, atât a acestora, cât și a liniilor de turnare. Funcționarea continuă a secției este realizată în cazul în care:

$$Q_{c.c} \geq 1,5 \cdot q_t [t] \quad (1-13)$$

în care : $Q_{c.c}$ este capacitatea cuptorului cu canal, în t;

q_t – productivitatea orară a cuptorului sau bateriei de cuptoare cu creuzet, care alimentează cuptorul cu canal, în t/h.

H. Furnal – cuptoare electrice cu inducție

Între soluțiile care permit reducerea cheltuielilor energetice cu fonta elaborată se află și varianta preluării fontei lichide direct de la furnal, prelucrarea acesteia în CEI cu creuzet și turnarea pieselor în special a lingotierelor, tuburilor, podurilor de turnare etc. În acest fel se elimină operația de retopire a lingourilor de fontă și consumul de energie corespunzător.

La menținerea fontei de furnal în oala de transport, se realizează micșorarea conținutului de gaze și îndepărtarea grafitului primar și a zgurii conținute de fontă.

Totuși, fonta lichidă, de primă fuziune, constituie un material impur, ce conține grafit primar, de mari dimensiuni (peste 500 μ m), o cantitate mare de incluziuni nemetalice, grosolane, precum și un conținut mare de gaze, ceea ce dăunează calității pieselor turnate. Preluarea acestor fonte în cuptoare electrice, în special cu inducție, cu canal, asigură un proces de rafinare, sub acțiunea supraîncălzirii. În aceste condiții, este posibilă obținerea unor piese cu caracteristici superioare.

1.2. Sisteme de prelucrare în stare lichidă a aliajelor

Îmbunătățirea calității aliajelor turnate, pe de o parte și necesitatea creșterii productivității cuptoarelor de elaborare, pe de alta parte, au impus continuarea și uneori chiar mutarea proceselor de prelucrare a topiturii din cuptor în afara lui, în acest scop utilizându-se sisteme de prelucrare speciale (reactoare, oale de tratament, instalații de tratament, etc.), oala de turnare sau chiar forma de turnare a aliajului. Sistemele de prelucrare în stare lichidă sunt particularizate, mai mult decât cuptoarele de elaborare, pe categorii sau tipuri de aliaje, în funcție de scopul urmărit și specificul agenților de tratament. În acest sens, tratamentele în stare lichidă, pot fi total individualizate (cazul tratamentului de decarburare, la oțeluri sau cel de modificare compactizantă, la fonte) sau pot avea elemente de similitudine (cazul tratamentelor de rafinare, în general sau cele de favorizare a germinării la solidificare).

1.2.1. Prelucrarea în stare lichidă a oțelurilor

Progresele atinse în domeniul puterii de topire și cerințele legate de creșterea productivității și a nivelului de calitate au focalizat atenția către ceea ce se numește metalurgie secundară sau tratarea metalului în afara agregatului primar de elaborare. Acest concept presupune transformarea cuptorului primar în agregat specializat de topire rapidă, restul proceselor specifice rafinării avansate a oțelului efectuându-se în oala (metalurgia în oala). De obicei, prelucrarea oțelului în oala are loc în atmosferă neutră sau reducătoare și are ca scop atingerea următoarelor obiective: omogenizarea temperaturii și a compoziției chimice a oțelului; alierea oțelului într-o zonă îngustă a compoziției chimice; dezoxidarea oțelului; reducerea conținutului de incluziuni nemetalice; desulfurarea; micșorarea conținutului de gaze în oțel ([H], [N]); micșorarea conținutului de adaosuri nedorite; atingerea unei mărimi prescrise a grăuntelui; corectarea temperaturii oțelului pentru atingerea temperaturii de turnare.

În scopul obținerii unuia sau mai multora din efectele menționate se pot aplica procedee ca: insuflarea topiturii cu gaze inerte, agitarea prin inducție, tratamente în vid, insuflarea adaosurilor pulverulente (de afinare, de dezoxidare și aliere), tratamente cu aport de căldură (încălzire cu arc electric sau prin curenți de inducție). Aceste procedee au dezvoltat sisteme specifice de prelucrare care au fost aduse la un nivel foarte ridicat de mecanizare și computerizare permițând un control riguros al proceselor din oțelul lichid și obținerea unor oțeluri de înaltă performanță. Prin prelucrarea în oală se obțin conținuturi de elemente reziduale în oțel de ordinul: C<20 ppm; N<20 ppm; O< 40ppm; S<10 ppm; H< 2 ppm etc.

Pe lângă aceste tratamente care au în general rol de purificare, înainte de turnare oțelurile sunt supuse tratamentelor de modificare în scopul compactizării incluziunilor nemetalice și favorizării incluziunilor intracristaline și limitării celor intercristaline. În acest sens s-au dezvoltat modificatori specifici și tehnici de modificare adecvate.

1.2.2. Prelucrarea în stare lichidă a fontelor

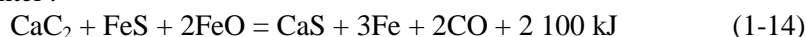
După evacuarea din cuptor, fontele pot fi supuse unor tratamente suplimentare cum sunt: desulfurarea, demanganizarea, carburarea, alierea, rafinarea (incluzând degazarea și eliminarea incluziunilor grosiere) și modificarea (incluzând modificarea grafitizantă, compactizantă sau de finisare a structurii primare). Între aceste tratamente, cele mai frecvente sunt cele de desulfurare, aplicate fontelor supuse ulterior modificării compactizante și cele de modificare.

Desulfurarea fontei în afara agregatului de elaborare se efectuează fie în timpul evacuării din cuptor, de regulă cubilou (varianta continuă) fie în spații amenajate separat, în oale (recipiente) de desulfurare (variantă discontinuă). Indiferent de varianta folosită, o importanță deosebită o are separarea prealabilă a zgurii de fontă și agitarea permanentă a fontei pentru a crește suprafața de contact cu agentul desulfurant și a îndepărta produsele de reacție de la suprafața particulelor solide. Agitarea topiturii se realizează prin diverse tehnici astfel: insuflare de azot printr-un dop poros plasat în partea inferioară a oalei (fig. 1.8 a, h, j) sau prin lance (fig. 1.8 b, i), agitare mecanică

prin scuturarea oalei (fig. 1.8 e), cu plunjere ceramice (fig. 1.8 d), cu rotor care recirculă fonta prin centrifugare (fig. 1.8 f) prin efectul Rheinstahl (fig. 1.8 g) sau prin autoagitare datorită gazelor care se formează în timpul reacției (fig. 1.8 c). Ca agenți desulfuranti se utilizează: CaC_2 , CaO , CaCO_3 , Na_2CO_3 , NaOH , Mg .

Introducerea agentului desulfurant se efectuează: în jet, pe baia metalică, prin injecție cu ajutorul azotului sub presiune sau cu echipamente speciale (cazul Mg).

Utilizarea carbunii de calciu. Carbura de calciu în stare pură are temperatură înaltă de topire (2318°C) și densitate scăzută ($2,22\text{ g/cm}^3$). În practică, se utilizează carbura de calciu industrială, din sistemul binar $\text{CaC}_2 - \text{CaO}$, cu temperatura de topire mai scăzută (sub 2000°C). Carbura de calciu participă la desulfurare printr-o reacție exotermă, deci nu determină direct micșorarea temperaturii fontei :



Desulfurarea cu carbura de calciu este efectivă numai în condițiile realizării unui contact intens cu fonta lichidă. Acesta poate fi realizat prin mai multe metode, desulfurarea având loc pe jgheabul de evacuare din cubilou sau în oala (fig.1.8).

În cazul agitatorului cu palete, consumul de CaC_2 este dat de relația:

$$\% \text{CaC}_2 = (8...12) \cdot \% S_{\text{inițial}} \quad (1-15)$$

Scăderea temperaturii, datorată efectului de agitare și duratei de prelucrare, este de ordinul $30...90^\circ\text{C}$.

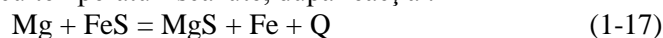
Utilizarea varului (CaO). Oxidul de calciu, cu $\gamma = 3,40\text{ g/cm}^3$ și $T_f = 2564^\circ\text{C}$, interacționează cu sulful printr-o reacție endotermă, deci determină micșorarea temperaturii fontei :



Se utilizează de regulă 2% CaO , gradul de desulfurare depinzând de metoda de agitare a topiturii. Astfel, în cazul în care desulfurarea se realizează prin suflarea de azot (Wahl-process), după 3 min a fost obținută micșorarea conținutului de sulf de la 0,10 la 0,006%.

Utilizarea magneziului

Magneziul are capacitate mare de desulfurare și dezoxidare, fiind deosebit de activ și în cazul unor fonte cu temperaturi scăzute, după reacția :



O parte din sulfura de magneziu este reținută în fontă, dar cea mai mare parte este îndepărtată în zgură.

Magneziul este un material scump, astfel încât utilizarea sa la desulfurare este rentabilă doar în cazul în care se urmărește obținerea unor fonte de calitate, care se utilizează ca atare sau care urmează să fie modificate cu elemente mai scumpe, ca de exemplu cele din grupa pământurilor rare.

Desulfurarea cu Mg metalic pur este un proces inevitabil în cazul tratării fontei în vederea obținerii formelor compacte de grafit (procedeele Cord-Wire, Convertizorul Fischer, MAP etc.) când se utilizează fonte cu sulf ridicat.

Modificarea grafitizantă se poate efectua prin introducerea modificatorului în jetul de fontă lichidă la evacuarea din cuptor, în oala de turnare sau în forma de turnare (în timpul umplerii sau în rețeaua de turnare).

Modificarea compactizantă se bazează, în general, pe tratarea cu Mg a fontei lichide. Tratamentul se poate realiza cu Mg metalic, în condițiile utilizării unor sisteme speciale de introducere a Mg (fig. 1.12) sau cu prealiaje pe bază de Mg care implică sisteme diferite la tratamentul în oală sau formă (fig. 1.13).

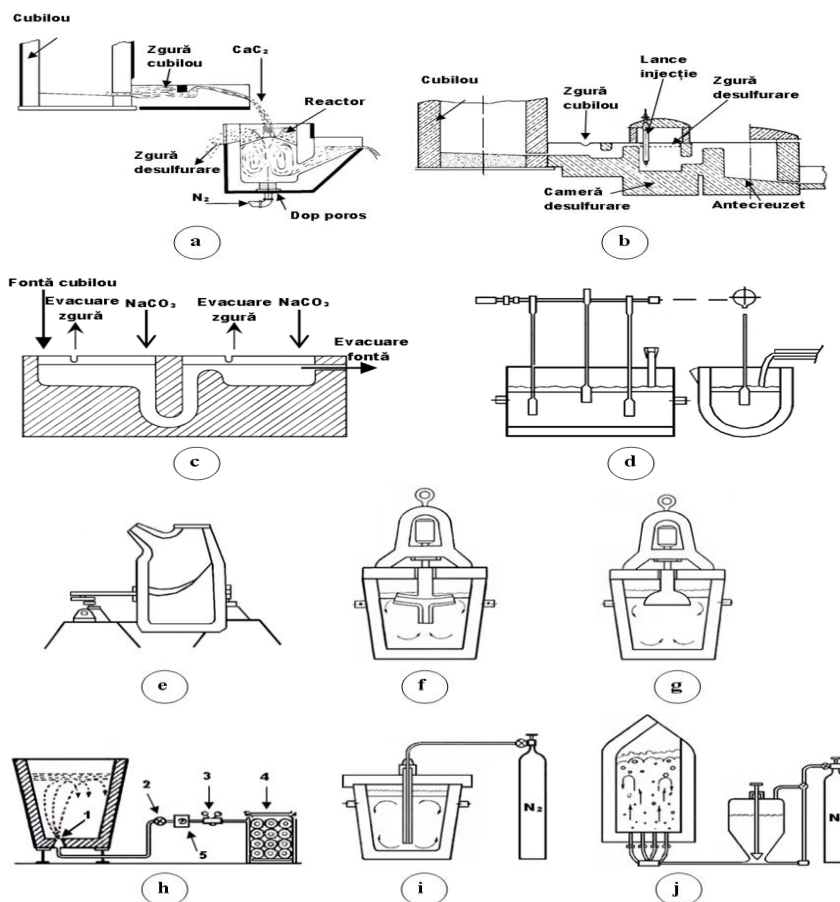


Fig. 1.8. Procedee de desulfurare în afara agregatului de elaborare: a – adaos CaC_2 pe jgheabul cubiloului, agitare prin insuflare de azot prin dop poros; b – introducerea CaC_2 prin injecție cu azot în cameră de reacție situată în fața cubiloului; c – metoda cu autoagitare (adaos Na_2CO_3); d – agitare cu plunjeri ceramice; e – adaos în oală oscilantă; f – oală cu agitare prin centrifugare; g – agitatorul Rheinstal; h – adaos pe baia metalică în oală cu dop poros; i – introducere prin injecție cu lance; j – procedeu Wahl-process (adaos de var prin insuflare cu azot).

1.2.3. Modificarea fontelor

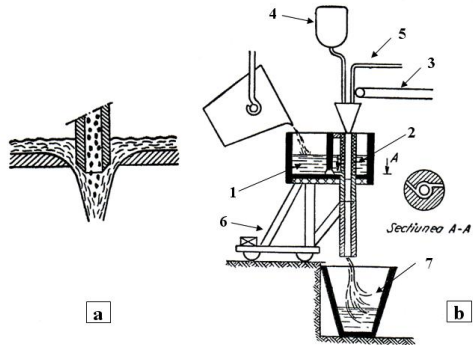


Fig.1.9. Inocularea în jet (a) la evacuarea din cuptor sau deversarea din oală de transport (b): 1 – bazin de turnare cu separator de zgură; 2 – tub de turbionare; 3,4,5 – sistemul de transport – dozare; 6 – suport mobil; 7 – oală de turnare

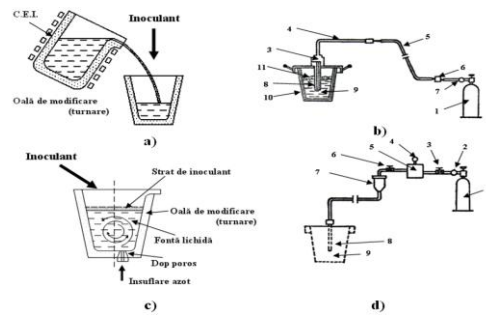


Fig. 1.10. Variante de introducere a modificatorilor grafitizanți în oală: a – la evacuarea fontei din cuptor; b, c – adaos pe baia metalică și barbotare cu azot insuflat prin lance, respectiv, prin dop poros; d – introducerea modificatorului în baia metalică cu ajutorul azotului sub presiune: 1 – butelie de N_2 ; 2-7 – elemente ale sistemului de insuflare azot/dozare inoculant (cazul d); 8 – lance; 9 – oală modificare; 10 – fontă lichidă; 11 – strat inoculant

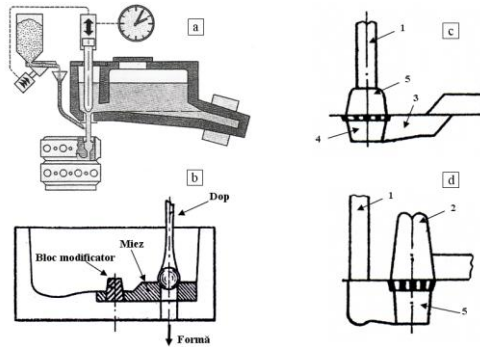


Fig. 1.11. Variante de introducere a modificatorilor grafitizanți în timpul umplerii formei: a – în jet, la turnarea fontei în formă; b – în bazinul de turnare; c,d – în interiorul formei, în camera de reacție dispusă în forma superioară (c) sau inferioară (d): 1 – picior pâlnie turnare; 2 – colector zgură; 3 – canal alimentare; 4 – cameră acumulare fontă modificată; 5 – cameră

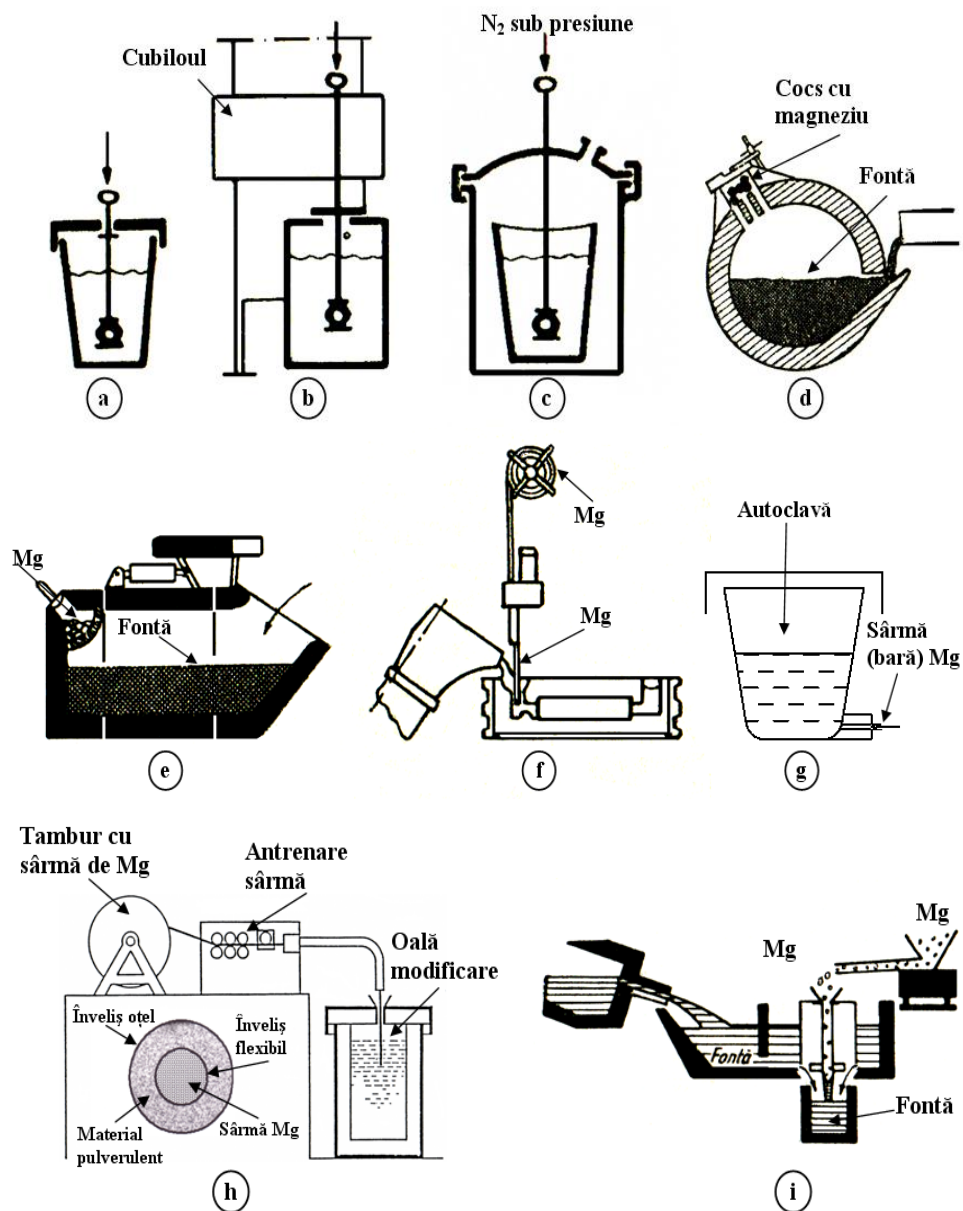


Fig. 1.12. Tehnici de modificare cu Mg metalic: a) imersie cu clopot - oala cu capac; b) imersie cu clopot - antecreuzet cubiloul; c) imersie cu clopot - oala sub presiune; d) oala tambur; e) convertizor Fischer; f) procedul CQ; g) autoclave speciala - bara (sarma Mg); h - Cord-Wire; i) procedul T-Nock

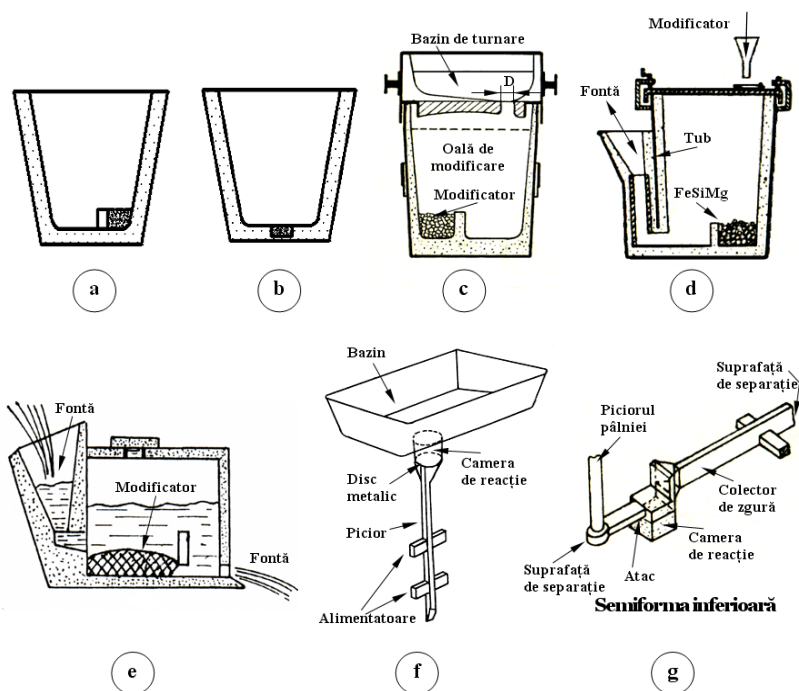


Fig. 1.13. Tehnici de modificare cu prealiaj pe bază de Mg: a), b) procedeul Sandwich; c) procedeul Tundish – Cover; d) procedeul Tea – Pot; e) procedeul Sigmat; f) procedeul Flexipor; g) procedeul Inmold(modificare în formă).

Alegerea tehnicii de modificare este o opțiune tehnologică ce ține cont de o multitudine de criterii, între care:

- Caracteristicile procesului de elaborare (cupatoare de elaborare, materiale de șarjare etc.). Conținutul de S și Si din fonta de bază (la $S > Si$ se impun procedeele de tratament cu Mg metalic; la $S < Si$ se apelează la tehnicile de modificare cu prealiaje);
- Caracteristicile pieselor turnate (grosime de perete, complexitate, dimensiuni, limite impuse pentru temperatura de turnare etc.);
- Tipul fontei turnate (grad de aliere, structura masei metalice, grafit);
- Modul de organizare al turnării (turnare din oale mici cu durate mari de turnare sau timpi morți care pot duce la pierderea efectului modificador impun procedee de modificare simple care să se preteze la cantități mici de fontă etc);
- Modul de încadrarea a instalației în fluxul tehnologic al turnătoriei;
- Simplitatea procesului (lipsa de calificare a personalului nu permite alegerea unui sistem sofisticat);
- Posibilitatea mecanizării;
- Flexibilitatea procedeului;

- Reproductibilitatea (un procedeu sigur simplifică activitatea de control interfazic);
- Necesitatea inoculării (în funcție de specificul piesei și al fontei turnate, procesul de inoculare poate impune o anumită tehnică de modificare, de exemplu inocularea în formă);
- Cheltuielile cu amortizarea și întreținerea instalației;

1.2.4. Prelucrarea în stare lichidă a aliajelor neferoase

Aliajele neferoase comportă tratamente complexe înainte de turnare care vizează în principal procese de rafinare (eliminarea incluziunilor, gaze, elemente reziduale nocive) dar și procese de modificare în vederea creșterii capacității de germinare sau compactizării unor faze structurale.

Tratamentele de eliminare a incluziunilor se efectuează prin diverse procedee care se bazează pe fenomene specifice suspensiilor și anume: blocarea, flotația, sedimentarea, interceptația, deplasarea în câmp electromagnetic, aglomerarea.

Tehnicile de degazare se bazează pe: vaporizarea selectivă, scăderea presiunii parțiale a gazului dizolvat și interacțiunea chimică, cu formarea de compuși solizi.

În practică se utilizează mai frecvent: tratarea cu degazanți solizi, barbotarea cu gaze inerte sau reactive, vidarea, tratamente fizice (ultrasunete, câmp magnetic/electric) sau metode combinate.

Eliminarea elementelor reziduale (impurități metalice) se efectuează prin: tratare cu fluxuri, oxidare, decantare, filtrare, distilare în vid. Aceste procese implică utilizarea unor tehnici specifice care pot fi: sisteme de agitare mecanică (reactoare de dispersie), injectare în topitură cu gaze inerte, insuflare de gaze reactive (Cl_2 , F_2) instalații de vidare etc.

Capitolul 2

Perfecționări constructive și funcționale în cazul utilajelor specifice sectoarelor de laminare, trefilare și tragere

2.1. Utilaje specifice sectoarelor de laminare

Utilajul principal de lucru din cadrul sectoarelor de laminare poartă denumirea de laminor, schema de principiu a acestuia fiind prezentată în *Figura 2.1*. Cilindrii de laminor (*Figura 2.2*) se confecționează din oțel (turnat sau forjat) sau fontă, având duritatea părții active cuprinsă între 150...800 HB.

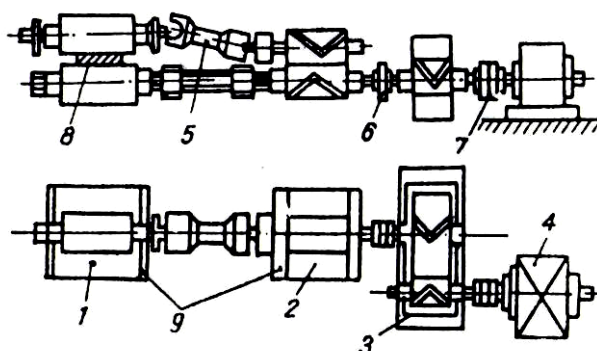


Figura 2.1: Construcția laminorului

1 – caja cilindrilor de lucru; *2* – caja roților de antrenare; *3* – caja reductorului;
4 – motor de antrenare; *5* – bare intermediare; *6, 7* – cuplaje; *8* – semifabricat;
9 – suportți

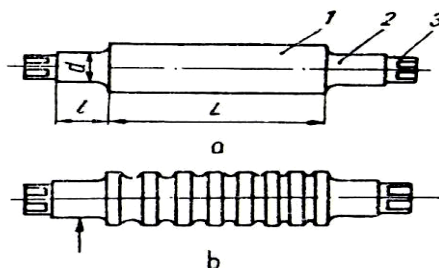


Figura 2.2: Cilindrii de laminor

1 – partea activă; *2* – fus; *3* – partea de antrenare; *a*) cilindru neted;
b) cilindru profilat.

Partea de antrenare (rozeta, *Figura 2.3*) are diferite forme corespunzătoare modului de cuplare a cilindrilor. Între dimensiunile principale ale cilindrilor există următoarele rapoarte: $1 < L/D < 4$; $d/D = 0,55...0,75$; $l/d = 0,8...1,2$. Legătura între cajele de lucru și cele de antrenare, respectiv motor se face prin intermediul axelor (barelor) intermediare și a manșoanelor de legătură. Axele intermediare sunt calculate astfel încât să nu depășească solicitările maxime admise în cilindri. Manșoanele de legătură au forma unor inele cilindrice care în interior respectă exact forma axului intermediar și a rozetei cilindrilor. Antrenarea laminatoarelor se face prin intermediul motoarelor electrice de curent continuu și alternativ după diferite sisteme.

Unul dintre cele mai răspândite este sistemul *Ward-Leonard* (*Figura 2.4*). Întrucât motorul de curent alternativ nu rezistă la șocuri (de exemplu momentul prinderii materialului între cilindri), legătura între arborele principal (4) și sursa de antrenare se face prin intermediul unui motor de curent continuu (1) alimentat de la un generator de curent continuu (2) cuplat la un motor de curent alternativ (3) legat la rețea.

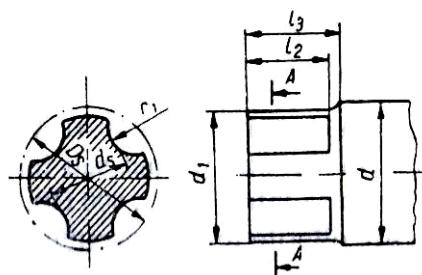


Figura 2.3: Forma părții de antrenare (rozeta)

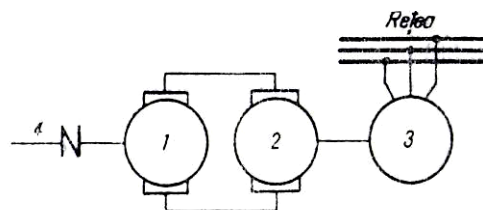


Figura 2.4: Sistem de antrenare al laminorului

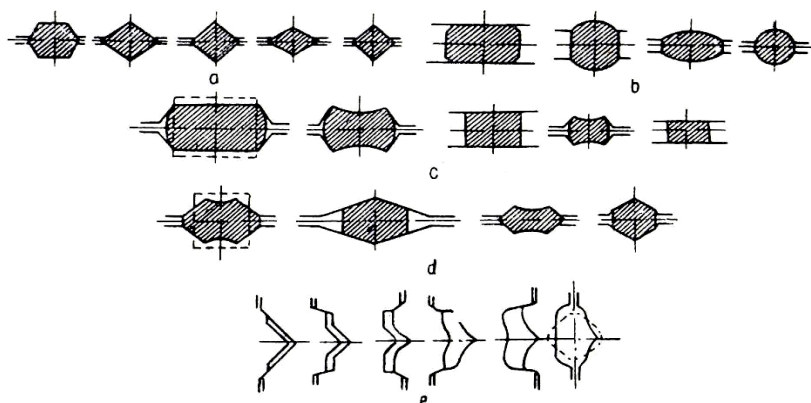


Figura 2.5: Calibre pregătitoare, de prefinisare și de finisare pentru diferite profile
a) pătrat; b) rotund; c) profile late; d) hexagonal; e) cornier cu aripi egale

Calibrul este ansamblul format din două caneluri opuse executate pe o pereche de cilindri și care corespunde cu forma produsului ce se dorește a fi obținut prin laminare. Prin calibrare se înțelege calculul și construcția formelor secțiunilor succesive ale calibrelor astfel ca plecând de la secțiunea inițială a semifabricatului să se ajungă la produsul finit. Prin calibrare se urmărește obținerea fără defecte a produsului finit; laminarea cu un număr minim de treceri; uzura mică a cilindrilor; evitarea suprasolicitărilor utilajului de lucru etc. Calibrele pot fi: de degroșare, de pregătire, de finisare. După construcția lor sunt: complet deschise, parțial închise, închise și cu deschideri mixte. În Figura 2.5 se prezintă calibrele succesive necesare obținerii diferitelor profile.

Principalele criterii după care se clasifică laminoarele sunt:

- metalul sau aliajul prelucrat (laminoare pentru oțel, Cu, Zn, Al etc.);
- temperatura de lucru (laminoare pentru prelucrare la cald și la rece);
- sensul de rotație al cilindrilor de lucru (laminoare ireversibile și reversibile);
- dispoziția cilindrilor în cajă și construcție (laminoare cu cilindri orizontali, Figura 2.6; cu cilindri verticali, Figura 2.7, a; cu cilindri orizontali și verticali – universali, Figura 2.7, b...f; cu cilindrii dispuși oblic și laminoare cu altă dispoziție a cilindrilor);
- după sistemul de organizare al cajelor de lucru (Figura 2.8).

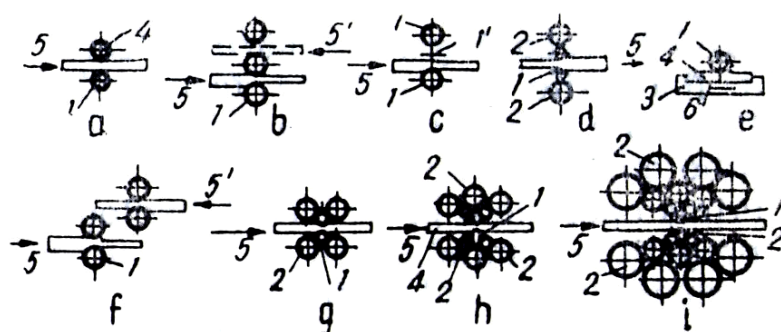


Figura 2.6: Laminarea cu cilindri orizontali

a) duo; b) trio; c) duo reversibil; d) cuarto; e) laminarea prin presare; f) dublu duo; g) sexto; h) cu 12 cilindri; i) cu 24 cilindri; 1 – cilindri de lucru; 2 – cilindri de antrenare; 3 – matriță; 4 – semifabricat; 5 – sensul de laminare

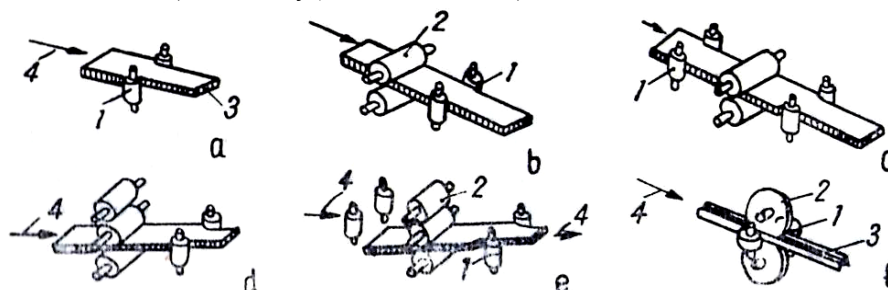


Figura 2.7: Laminarea cu cilindri verticali (a) și universali (b-f)

1, 2 – cilindri; 3 – semifabricat; 4 – sensul de laminare

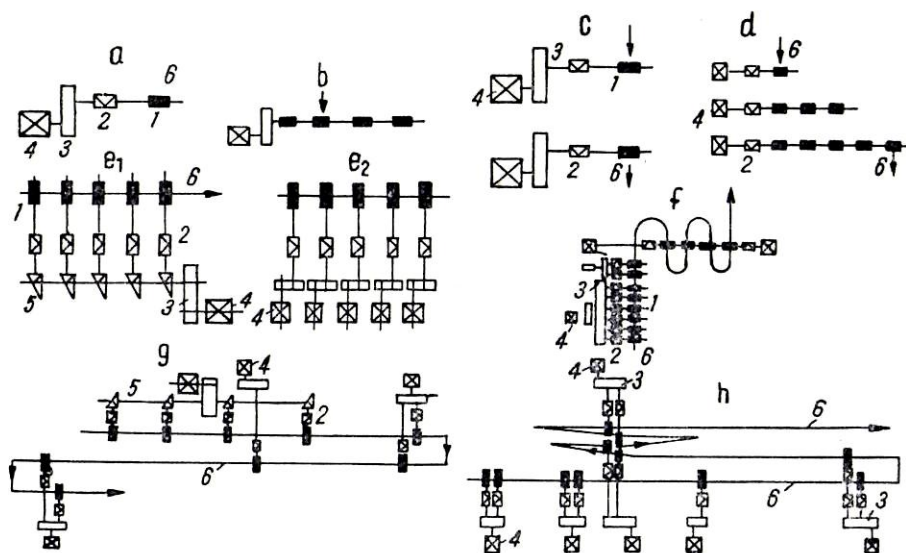


Figura 2.8: Clasificarea laminoarelor după sistemul de organizare a cajelor
 a) cu o singură cajă; b) cu caje multiple așezate în linie; c) cu două caje în paralel; d) trenuri de laminare în paralel; e₁) și e₂) laminoare cu caje multiple cu antrenare în grup și individuală; f), g), h) mixte

Oțelurile aliate au o serie de particularități, unele dintre acestea complicând substanțial procesul tehnologic de laminare al acestor oțeluri. Cele mai multe oțeluri aliate au rezistență sporită la deformare, temperatură scăzută de început de deformare, interval îngust al temperaturilor de deformare, plasticitate scăzută, sensibilitate înaltă la solicitări, în special la cele termice. La unele oțeluri se constată tendința de formare a fulgilor și de apariție a fisurilor prin răcire, de precipitare a fazelor în exces (cementita etc.), aspecte care înrăutățesc calitatea laminatelor, constatându-se totodată tendința de formare a grăunților mari, iremediabili în cursul tratamentului termic ulterior (oțeluri monofazice), de decarburare superficială etc. Altor oțeluri le este caracteristică o temperatură ridicată a începutului recristalizării și o viteză mică a acestui proces.

Tablele subțiri din oțeluri greu laminabile, care în unele cazuri se obțin la laminoarele duo, se laminează cel mai bine pe laminoare tandem special adaptate, alcătuite din două caje cuarto amplasate succesiv sau pe laminoarele cuarto reversibile cu o singură cajă. Cajele trebuie să fie suficient de puternice, însă dimensiunile lor vor fi relativ reduse, iar tablele nu vor fi prea late.

Laminarea tablelor din oțeluri greu laminabile la aceste laminoare trebuie să fie izotermică. Pentru asigurarea laminării izotermice trebuie să se realizeze o încălzire constantă a tablelor în cursul laminării. În acest caz se pot folosi cuptoare de încălzire mobile. Un asemenea cuptor, montat pe un laminor reversibil 300, semiindustrial, care poate fi folosit cu succes la laminarea unor aliaje fier-nichel-molibden, spre exemplu, este prezentat în *Figura 2.9*.