

VASILE COJOCARU-FILIPCIUC
Dr.ing., prof.univ.

FONTE,
aspecte teoretico-practice
ale obținerii



Editura "Samia"
Iași -2005

Editura "Samia"

Str. Cuza Vodă, nr. 17, 700040 – Iași / România
Tel.: 0232-26.23.00; 21.03.49

Tipărit:

S.C. Print Color SRL
Str. Cuza Vodă, nr. 17, 700040 – Iași / România
Tel.: 0232-26.23.00; 21.03.49

Autor:

VASILE COJOCARU-FILIPCIUC
Dr.ing., prof.univ.

Referent științific:

Gelu Barbu
Dr.ing., prof.univ.

Coperta:

VASILE COJOCARU-FILIPCIUC
Dr.ing., prof.univ.

Procesare figuri:

VASILE COJOCARU-FILIPCIUC, Dr.ing., prof.univ.
Camelia-Lena Aioanei

Tehnoredactare:

Camelia-Lena Aioanei

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**Vasile Cojocaru – Filipciuc**

**Fonte: aspecte teoretico-practice ale obținerii /Dr. ing.
prof. univ. Vasile Cojocaru-Filipciuc. – Iași : Samia, 2005
p. 212 cm. 17/24**

Bibliogr. 13

ISBN: 973-86865-0-4

CIP nr. 7124 / 10.06.2005

669.13

VASILE COJOCARU-FILIPCIUC
Dr.ing., prof.univ.

FONTE,
aspecte teoretico-practice
ale obținerii

Prefață

Fonte, aspecte teoretico-practice ale obținerii, reprezintă un manual destinat, în principal, studenților de la specializările Știința Materialelor, Ingineria Materialelor și Ingineria Procesării Materialelor.

Manualul conține particularități ale elaborării fontei cu grafit nodular (modificarea în oala de turnare și în formă), aliate cu crom, aliate cu siliciu, sintetice, aspecte ale elaborării fontei în cuptoare electrice (cu arc și cu inducție) și în cubilou, aspecte ale desulfurării și ale modelării distribuirii vaporilor de magneziu în baia metalică.

Structurarea pe lucrări facilitează abordarea subiectelor din punct de vedere didactic de către studenți.

Prezentarea în amănunt a laturii practice recomandă acest manual și pentru cadrele de specialitate care lucrează în industrie.

Notă – din motive didactice unele reacții chimice sau figuri se repetă.

Cuprins

		Pag.
F1.	Elaborarea fontei cu grafit nodular prin modificare în oala de turnare	7
F2.	Elaborarea fontei cu grafit nodular prin modificare în formă	29
F3.	Influența supraîncălzirii fontei în stare lichidă asupra structurii și caracteristicilor	42
F4.	Elaborarea fontei în cuptoarele electrice cu încălzire prin inducție, fără miez (cu creuzet)	56
F5.	Elaborarea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin arc electric, cu căptușeală refractară de natură chimică acidă ...	77
F6.	Elaborarea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin arc electric cu căptușeala refractară de natură chimică bazică ...	104
F8.	Elaborarea fontei în cubiloul clasic	116
F11.	Modelarea dirijării vaporilor de magneziu în baia metalică de fontă	128
F17.	Elaborarea fontelor aliate cu crom în cuptorul electric cu încălzire prin inducție	140
F18.	Elaborarea fontelor slab aliate cu siliciu	151
F19.	Carburarea fontei – elaborarea fontei sintetice	163
F21.	Desulfurarea fontelor în agregatul de elaborare (în cuptorul cu inducție)	178
F23.	Influența vitezei de răcire asupra caracteristicilor fontei cu grafit lamelar	192
C1.	Măsuri de asigurare a securității muncii	204

F1. Elaborarea fontei cu grafit nodular prin modificare în oala de turnare

1. Scopul

Familiarizarea cu principalele tehnici de modificare a fontei în oala de turnare și comparația microstructurii fontei nemodificate cu a fontei modificate în care grafitul este nodular, în circumstanțele aplicării unei tehnologii de laborator.

2. Consideratii generale

Prin modificare se înțelege procesul de schimbare artificială a structurii aliajelor prin intervenția asupra solidificării, introducând în baia metalică cantități mici de elemente chimice numite modificatori.

Din punctul de vedere al modalităților de intervenție asupra structurii există trei grupe de modificatori, acestea fiind următoarele, [1].

– grupa I. Modificatorii din grupa I formează în matricea metalică lichidă suspensii dispersate ce reprezintă suportul pentru noi germeni de cristalizare eterogenă. Astfel, se mărește numărul de cristalite primare ce vor avea dimensiuni mai mici – structura primară este finisată. În toate cazurile, structura primară fină (structura primară este structura ce se obține din lichid – cu participarea lichidului) generează o structură secundară fină (structura secundară este structura ce se obține în urma transformărilor ce au loc în starea solidă – structura de la temperatura mediului ambiant sau de la temperatura de exploatare a pieselor), ceea ce înseamnă îmbunătățirea caracteristicilor mecanice de rezistență, a proprietăților de plasticitate și a unor caracteristici fizice. Există situații (în cazul fontelor aliate) în care structura primară coincide cu structura secundară;

–grupa a II-a. Modificatorii din grupa a II-a se adsorb pe suprafața cristalelor aflate în curs de creștere în matricea metalică lichidă și le inhibă creșterea. În felul acesta, în intervalul de solidificare, apar noi germeni de cristalizare, ceea ce conduce la finisarea structurii primare și, în final, la finisarea structurii secundare. Modificatorii din grupa a II-a trebuie să fie puțin solubili în baia metalică și să se adsoarbă pe toată suprafața cristalelor cu scopul ca să nu existe o dezvoltare preferențială a acestora. Dacă ar exista o adsorbție neuniformă pe suprafața cristalelor aflate în creștere, s-ar genera o creștere preferențială a cristalelor doar după anumite direcții, obținându-se cristale neechiaxiale ce prin efectul de crestare accentuează starea de tensiuni din piese (prin efect de crestare se înțelege aglomerarea liniilor de forță în zona vârfurilor ascuțite ale cristalelor, incluziunilor nemetalice, grafitului etc.);

– grupa a III-a. Modificatorii din grupa a III-a interacționează chimic cu elementele chimice din componența aliajului, în felul acesta schimbându-se capacitatea de cristalizare etc.

În ceea ce privește acțiunea concretă a modificatorilor, se disting trei genuri de modificatori, acestea fiind următoarele:

- modificatori de genul I. Modificatorii de genul I micșorează dimensiunile cristalelor primare (cristalele ce se formează în matricea metalică lichidă);
- modificatori de genul al II-lea. Modificatorii de genul al II-lea intervin asupra structurii interne a cristalelor primare;
- modificatori de genul al III-a. Modificatorii de genul al III-lea intervin asupra structurii eutecticului.

În vederea obținerii de efecte maxime este posibil ca aliajul lichid să fie tratat cu toate cele trei genuri de modificatori.

Modificatorii utilizați cu scopul obținerii grafitului nodular pot fi elemente chimice ca atare (Mg, Ce, Y, Ca, Li, Na și elemente chimice din grupa pământurilor rare – Nd, Pr, Sm etc.), feroaliaje (FeSiCaMg, FeSiCaMgCe etc.), prealiaje (NiMg, NiSiMg, NiCrMg, CuMg etc.), săruri (MgCl₂, MgF₂, CaF₂, CeF₂ etc.), zguri etc.

Fonta ce se supune modificării are următoarea compoziție chimică: 2,800...4,000% C, 1,600...3,000% Si, 0,150...0,900% Mn, max. 0,100% P și max. 0,015% S.

Compoziția chimică “ideală” pentru fonta lichidă ce se supune modificării în vederea obținerii grafitului nodular este următoarea: 3,50% C, 2,50% Si, 0,50% Mn, max. 0,08% P și max. 0,01% S.

Cel mai utilizat element chimic modificador este magneziul.

Cantitatea de magneziu ce se introduce în baia metalică se determină cu relația 1/F1.

$$Mg_{nec} = \frac{Mg_{rem.} + \frac{M_{Mg}}{M_S} (S_{ini.} - S_{rem.})}{\eta_{Mg}}, \quad (1/F1)$$

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 (magneziu remanent); M_{Mg} – masa atomică a magneziului, în kg (24 kg); M_S – masa atomică a sulfului, în kg (32 kg); $S_{ini.}$ – proporția de sulf din fonta lichidă ce se supune modificării; $S_{rem.}$ – proporția de sulf din fonta propusă a fi obținută; η_{Mg} – randamentul de asimilare a magneziului, în %. De exemplu, dacă se propune obținerea unei fonte cu grafit nodular cu 0,05% magneziu și 0,02% sulf, în circumstanțele în care fonta lichidă conține 0,04% S iar tehnica de introducere a magneziului în baia metalică asigură un randament de asimilare a magneziului de 55%, rezultă următoarea cantitate de magneziu necesară introducerii în baia metalică:

$$Mg_{nec} = \frac{0,05 + \frac{24}{32}(0,04 - 0,02)}{\frac{55}{100}} = 0,11 \text{ kg/100 de fontă lichidă}$$

În funcție de cantitatea de magneziu remanent din fontă, dar și de compoziția chimică a acesteia, gradul de compactitate al grafitului variază.

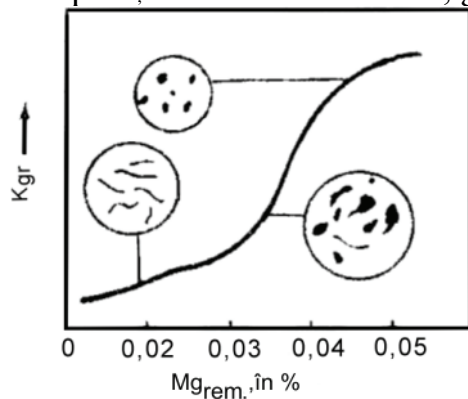


Fig.1/F1. Variatia gradului de compactitate al grafitului (K_{gr}) cu cantitatea de magneziu remanent (Mg_{rem}).

Pentru o fontă dată, în figura 1/F1 se prezintă modul de variație al gradului de compactitate al grafitului (K_{gr}) cu cantitatea de magneziu remanent. Se observă din figura 1/1 că în cazul unui conținut de magneziu remanent de circa 0,02% grafitul nu este modificat de loc, respectiv este lamelar în totalitate (în cazul unui conținut de magneziu remanent de 0,035%, grafitul este format dintr-un amestec de grafit lamelar, lamelar cu vârfurile rotunjite, vermicular/compact și nodular).

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

– etapa I. Etapa I se mai numește modificarea nodulizantă deoarece se realizează transformarea grafitului lamelar (forma morfologică de creștere a grafitului) în grafit nodular. Deoarece elementele chimice modificatoare nodulizante uzuale au caracter antigrafitizant, în structură se obține și cementită liberă. Fragilitatea și duritatea mari conferite de cementita liberă fontei determină ca proporția de cementită liberă să fie limitată. De fapt, fonta obținută în urma etapei I este pestriță. În figura 2/F1 se prezintă variația în timp a carbonului legat sub formă de cementită și a durității iar în figura 3/F1 se prezintă structura fontei în diferite faze. Astfel, dacă fonta ce este propusă să fie modificată se menține în stare lichidă, se sesizează o creștere sensibilă a cantității de carbon legat, expresie a influenței antigrafitizante a menținerii fontei în stare lichidă. În figura 2/F1, M reprezintă momentul introducerii modificadorului în baia metalică. Fie că fonta ce se supune modificării este feritoperlitică, structura după menținerea timp de τ_1 , înainte de introducerea modificadorului în baia metalică, fiind reprezentată în figura 3/F1- a – se observă separările de grafit lamelar pe un fond de grăunți metalografici de ferită (în proporție mai mare decât perlita) și perlită lamelară. În timpul τ_m are loc modificarea conform etapei I. La finalul perioadei de modificare – τ_m – structura este ca în figura 3/F1-b (se observă că fonta este pestriță – fondul metalic este perlitic, la marginea grăunților de perlită se observă cementita liberă, grafitul este nodular, numărul de separări de grafit nodular fiind mic iar cantitatea de grafit fiind relativ mică);

– etapa a II-a. Etapa a II-a se mai numește de inoculare sau de postmodificare sau de modificare grafitizantă. Modificatorul ce se introduce în baia metalică în momentul PM (figura 2/F1) se numește modificador grafitizant sau inoculant sau postmodificator. Rolul etapei a doua de modificare este de a

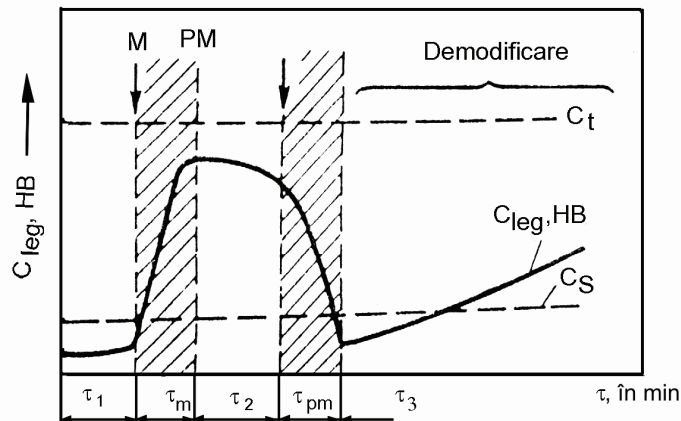


Figura 2/F1 Variația în timp (τ) a carbonului legat sub formă de cementită (C_{leg}) și a durității (HB) înainte de modificare (etapa I), în timpul modificării (etapa I), între modificarea de nodulizare a grafitului și modificarea de grafitizare (etapa a II-a), în timpul modificării grafitizante (inoculării) și în timpul menținerii în stare lichidă după etapa de modificare grafitizantă. M – momentul introducerii modificadorului nodulizant; PM – momentul introducerii modificadorului grafitizant (inoculantului); C_t – carbonul total; C_s – carbonul eutectoid; τ_1 – perioada de menținere a fontei în stare lichidă înainte de modificarea nodulizantă; τ_m – perioada de modificare nodulizantă; τ_2 – perioada de menținere a fontei în stare lichidă după terminarea modificării nodulizante și până la modificarea grafitizantă; τ_{pm} – perioada de modificare grafitizantă (inoculare sau postmodificare); τ_3 – perioada de menținere a fontei în stare lichidă după postmodificare.

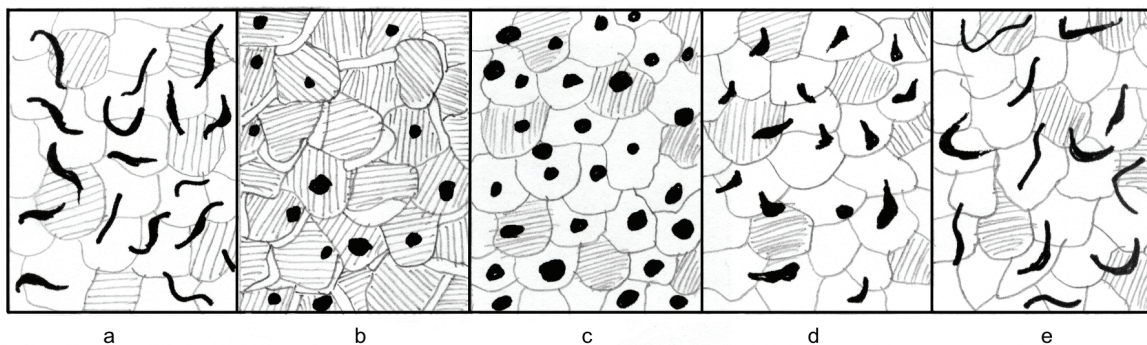


Figura 3/F1. Structura metalografică (schiță) a fontei în diferite faze: a – înainte de etapa I de modificare nodulizantă; b – imediat după etapa I de modificare nodulizantă; c – imediat după etapa a II-a de modificare grafitizantă; d – la un moment intermediar după etapa a II-a de modificare grafitizantă, în timpul demodificării; e – după o perioadă mare de menținere a fontei în stare lichidă după etapa a II-a de modificare grafitizantă, fază în care se constată compromiterea modificării.

transforma fonta pestriță rezultată în urma etapei I de modificare în fontă cenușie. Astfel, cementita din structură este transformată în grafit și se mărește numărul de germeni grafitizanți. În consecință, se mărește numărul de nodule de grafit și cantitatea de grafit față de structura din figura 3/F1-b. – figura 3/F1-c.

După etapa a II-a de modificare grafitizantă fondul metalic revine la natura feritoperlitică, de exemplu.

Fonta cu grafit nodular trebuie turnată într-o perioadă optimă după terminarea etapei a II-a de modificare grafitizantă, perioadă optimă în care nu se sesizează fenomenul de demodificare și perioadă optimă ce depinde de cantitatea de fontă ce s-a modificat, tipul de modificador, cantitatea de modificador utilizată, tehnica de introducere a modificadorului în baia metalică, compoziția chimică a fontei tratate etc.

Prin fenomenul de demodificare a fontei se înțelege fenomenul de micșorare a gradului de compactitate al grafitului – diminuarea efectului de modificare.

Dacă fonta modificată se menține în stare lichidă după etapa a II-a de modificare mai mult decât perioada optimă menționată anterior, începe fenomenul de demodificare, așa încât la un moment dat grafitul este degenerat (amestec de grafit lamelar, compact /vermicular, nodular etc.) ca în figura 3/F1–d iar după o perioadă mai mare de menținere în stare lichidă după modificare ca în figura 3/F1–e (total degenerat față de forma nodulară – lamelar în totalitate).

Ca modificadori nodulizanti uzuali se menționează NiMg, NiFeMg, CuMg, CuNiFeMg, Mg etc. iar ca modificadori grafitizanti utilizați în mod frecvent se precizează FeSi75, SiCa, SiCaTi, SiMnZr etc.

În practică, tehnologiile moderne “apelează” la contopirea etapelor I și a II-a. În cazul în care există o etapă de modificare se utilizează modificadori complecși ce conțin atât modificador nodulizant cât și modificador grafitizant, cel puțin câte unul de fiecare categorie. Dintre modificadorii complecși utilizați se enumeră FeSiCaMg, NiSiMg, YCeLaSi, FeSiCaMgCe etc.

Informativ, consumul de modificador complex ce conține circa 5% Mg este în jurul valorii de 2 kg/100 kg de fontă lichidă.

Cantitatea de modificador complex pe bază de magneziu sub formă de feroaliaj sau prealiaj se determină cu relația 2/F1, [3].

$$Q_M = Q_{f.l.} \cdot \frac{0,76(\%S_{init.} - 0,01) + \%Mg_{rem.} + \tau \cdot 10^{-3}}{\eta_{Mg} \cdot \%Mg_M} \cdot \left(\frac{T}{1450} \right)^2, \quad (2/F1)$$

în care Q_M reprezintă cantitatea de modificador necesară, în kg; $Q_{f.l.}$ – cantitatea de fontă ce se supune modificării, în kg; $\% S_{init.}$ – proporția de sulf din fonta lichidă înainte de modificare; $\%Mg_{rem.}$ – proporția de magneziu remanent din fonta cu grafit nodular propusă a fi obținută; τ – timpul de menținere a fontei în stare lichidă după modificare, în min; T – temperatura fontei lichide la începutul modificării, în $^{\circ}C$; η_{Mg} – randamentul de asimilare a magneziului, în %; $\%Mg_M$ – proporția de magneziu din modificador. În cazul particular pentru care $Q_{f.l.} = 1000$ kg, $\%S_{init.} = 0,04$, $\%Mg_{rem.} = 0,05$, $\tau = 2$ min, $T = 1450^{\circ}C$, $\eta_{Mg} = 55\%$ și $\%Mg_M = 5$, necesarul de modificador pe bază de magneziu este următorul:

$$Q_M = 1.000 \cdot \frac{0,76(0,04 - 0,01) + 0,05 + 2 \cdot 10^{-3}}{\frac{55}{100} \cdot 5} \cdot \left(\frac{1.450}{1.450}\right)^2 = 27,19 \text{ kg,} \quad \text{adică}$$

2,72 kg/100 kg de fontă lichidă.

În cazul în care etapa a II-a de modificare se realizează separat de etapa I, consumul informativ de modificador grafitizant este de 0,5...0,6 kg/100 kg de fontă lichidă, [4].

Temperatura de modificare a fontei este în funcție de tipul modificadorului, tehnica de introducere a modificadorului în baia metalică, mărimea granulației modificadorului, starea de agregare a modificadorului, compoziția chimică a fontei ce se supune modificării, cantitatea de fontă ce se modifică etc. Temperatura optimă de modificare se situează în intervalul 1.450...1.510°C.

Mărimea granulației modificadorului este în funcție de cantitatea de fontă ce se modifică, compoziția chimică a modificadorului, tehnica de introducere a modificadorului în baia metalică, temperatura băii metalice, greutatea specifică a modificadorului etc. În tabelul 1/F1 se prezintă o corelație între mărirea granulației modificadorului FeSiMg și cantitatea de fontă lichidă ce se supune modificării, în circumstanțele în care prealiajul se amplasează la fundul oalei de turnare și este acoperit cu bucăți de tablă de oțel cu grosimea de 1,5...3,0 mm, [5].

Tabelul 1/F1

Corelația dintre mărirea granulației feroaliajului modificador FeSiMg și cantitatea de fontă ce se supune modificării

Mărimea granulației, în mm	Cantitatea de fontă ce se tratează, în kg
5 ... 15	< 100
10 ... 25	100 ... 300
15 ... 30	300 ... 600
20 ... 40	600 ... 1.000
30 ... 80	> 1.000

Modificadorul se poate folosi în stările de agregare solidă, lichidă și gazoasă. Randamentul de modificare se mărește substanțial în cazul în care modificadorul este în stările de agregare lichidă și gazoasă deoarece se îmbunătățesc condițiile de difuzie a modificadorului.

Dacă fonta lichidă ce se supune modificării conține elemente chimice precum Ti, Pb, Sb, As, Sn, Al, Bi, Te și Se, procesul de modificare este frânat sau chiar compromis în totalitate, (pentru unele din aceste elemente chimice se impun următoarele limite maxime: 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.). Dacă se notează cu G_{compr} gradul de compromitere a modificării, pentru câteva elemente chimice antimodificatoare, prin coeficienții de afectare a modificării din fața proporțiilor

respectivelor elemente chimice, relația (3/F1) arată modul de calcul al lui.

$$G_{\text{compr.}} = 4,4\%Ti + 2,0\%As + 2,3\%Sn + 5,0\%Sb + 290\%Pb + 370\%Bi + 1,6\%Al \quad (3/F1)$$

Mijloacele moderne de investigație au făcut posibilă cunoașterea mecanismului de creștere a grafitului nodular.

În ceea ce privește cauza nodulizării grafitului nu există o atitudine unanimă din partea specialiștilor. Un lucru este cert și anume că elementele chimice modificatoare uzuale, odată introduse în baia metalică, determină desulfurarea și dezoxidarea fontei lichide, adică determină eliminarea sulfului și oxigenului, elemente adsorbite la suprafața separărilor de grafit. În felul acesta are loc mărirea tensiunii interfazice grafit-matrice metalică lichidă, însă mai mult de-a lungul fețelor prismatice ale rețelei grafitului (1010), consecința fiind creșterea grafitului pe direcția perpendiculară planului hexagoanelor de bază – grafitul obținându-se nodular. În prezent, cercetările privind cauza sferoidizării continuă și în alte direcții, apreciindu-se că adevărata cauză rezidă într-un factor complex.

În cazul fontelor hipoeutectice, germenii de grafit nodular se formează în intervalul de temperaturi 1.320...1.350°C. În intervalul de solidificare, din germenii de grafit cresc nodulele de grafit ce se acoperă cu austenită primară. În timpul transformării eutectice doar austenita eutectică se află în contact cu lichidul. Creșterea nodulei de grafit din celula eutectică are loc cu o viteză mică, inferioară celei de creștere a austenitei eutectice, deoarece este nevoie ca elementul chimic carbon să difuzeze prin învelișul de austenită eutectică (în cazul creșterii nodulei de grafit la temperaturi preeutectice, de asemenea, viteza de creștere a nodulei de grafit este mică, deoarece atomii de carbon trebuie să difuzeze prin învelișul de austenită primară). Prin urmare, în cazul fontelor hipoeutectice, nodulele de grafit au dimensiuni mai mici față de nodulele de grafit de la fontele eutectice și hipereutectice.

Dacă în cazul fontei eutectice grafitul nodular format la temperaturi preeutectice crește în matricea metalică lichidă, la fontele hipereutectice, cu atât mai mult se formează nodule de grafit la temperaturi preeutectice, în timpul răcirii, în intervalul de solidificare, nodule de grafit ce cresc într-o matrice metalică lichidă (nodulele de grafit ce germinează și cresc într-un interval de timp la temperatura eutectică au viteza de creștere mică din cauza învelișului de austenită eutectică).

În cazul fontelor hipereutectice nodulele de grafit germinate și crescute la temperaturi preeutectice, în timpul răcirii, au dimensiuni mai mari decât nodulele de grafit germinate și crescute la transformarea eutectică.

Fonta cu grafit nodular este reglementată de standardului românesc SR ISO 1083. În tabelul 2/F1 se prezintă mărcile de fontă cu grafit nodular conform SR ISO 1083, împreună cu rezistența la tracțiune, limita de curgere, alungirea, duritatea informativă și constituenții metalografici predominanți din structură, proprietățile fiind determinate pe epruvete prelevate din probe turnate separat.

Valorile minime ale energiei de rupere prin șoc, determinate pe epruvete prelevate din probe turnate separat, epruvete prevăzute cu creștătură în V, la temperatura mediului ambiant, variază de la 14 jouli în cazul mărcii 400-18, la 17 jouli, în cazul mărcii 350-22.

Tabelul 2/F1

Mărcile de fontă cu grafit nodular și unele proprietăți determinate pe epruvete prelevate din probe turnate separat

Marca	Rezistența la tracțiune, minimă, R_m , în N/mm^2	Limita de curgere convențională, minimă, $R_{p0,2}$, în N/mm^2	Alungirea la rupere, minimă, A, în %	Duritatea Brinell, HBS (informativ)	Constituenții metalografici predominanți în structură (informativ)
900-2	900	600	2	280...360	bainită sau martensită de revenire
800-2	800	480	2	245...335	perlită sau structură de revenire
700-2	700	420	2	225...305	perlită
600-3	600	370	3	190...270	perlită+ferită
500-7	500	320	7	170...230	ferită+perlită
450-10	450	310	10	160...210	ferită
400-15	400	250	15	130...180	ferită
400-18	400	250	18	130...180	ferită
350-22	350	220	22	o150	ferită

Modificatorul se introduce în baia metalică prin diverse tehnici, distingându-se trei grupe de tehnici de modificare, acestea fiind modificarea în oala de turnare, modificarea în formă și tehnici speciale.

În acest capitol se prezintă grupa de tehnici de modificare a fontei în oala de turnare, câteva tehnici prezentându-se în continuare:

– tehnologia clopot imersat în oala deschisă (figura 4/F1– a). Clopotul reprezintă un recipient metalic de oțel în care se introduce modificatorul pe bază de magneziu și ce este prevăzut cu orificii pe toată suprafața. Clopotul se sudează de capătul unei tije de oțel. Prin intermediul unor dispozitive consacrate dar și prin intermediul podului rulant, al unei macarale pivotante etc., este imersat clopotul – ce conține modificator – în baia metalică, în așa fel încât să ajungă până la fundul băii metalice. Fonta lichidă, în momentele inițiale, pătrunde prin orificii în clopot, determină transformarea în vapori a magneziului într-o perioadă de timp, vaporii de magneziu părăsind clopotul prin aceleași orificii prin care a pătruns fonta lichidă și, în drumul lor ascensional modificând fonta. Tija clopotului poate fi acționată și manual dacă se modifică o cantitate mică de fontă;

– tehnologia clopot imersat în oală cu capac (figura 4/F1 – b). De această dată, tija clopotului este ancorată de un capac căptușit refractar în așa fel încât în momentul în care clopotul a ajuns la fundul băii metalice să se realizeze

și acoperirea oalei de turnare cu capacul. În acest fel, se realizează protecția împotriva împrăscării cu stropi de metal lichid, avându-se în vedere că vaporii de magneziu au tensiunea mare la temperatura de modificare a fontei lichide;

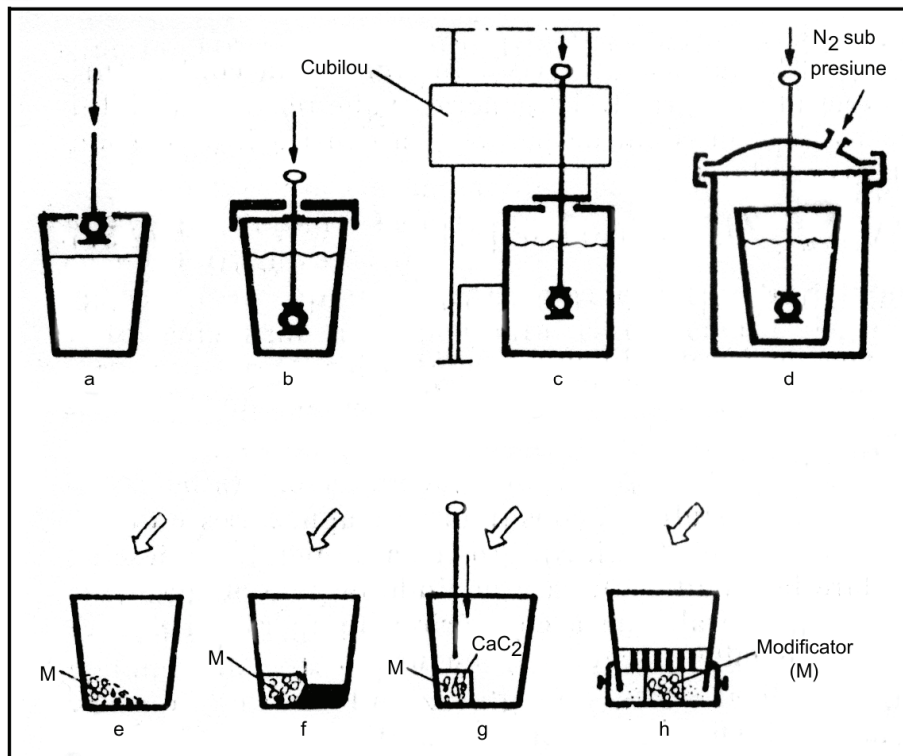


Figura 4/F1. Reprezentarea schematică a diverselor tehnici de modificare în oala de turnare: a – clopot imersat în oală deschisă; b – clopot imersat în oală cu capac; c – clopot imersat în antecreuzetul cubiloului; d – clopot imersat în oală deschisă ce este amplasată în autoclavă cu suprapresiune; e – modificator neprotejat amplasat la fundul oalei; f – tehnica Sandwich; g – tehnica Trigger; h – tehnica Am-Co-Mg; [6]; M – modificator.

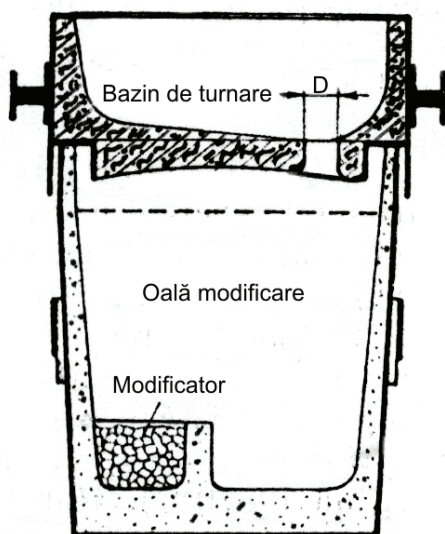


Figura 5/F1. Schema tehnologiei Tundish-Cover: D – diametrul orificiului de turnare.

– tehnologia de imersare a clopotului în antecreuzetul cubiloului (figura 4/F1-c). În cazul în care cubiloul poate asigura fontă cu temperatura corespunzătoare modificării și cu un conținut de sulf suficient de mic, clopotul se poate imersa în creuzetul cubiloului printr-un orificiu situat la partea superioară a lui;

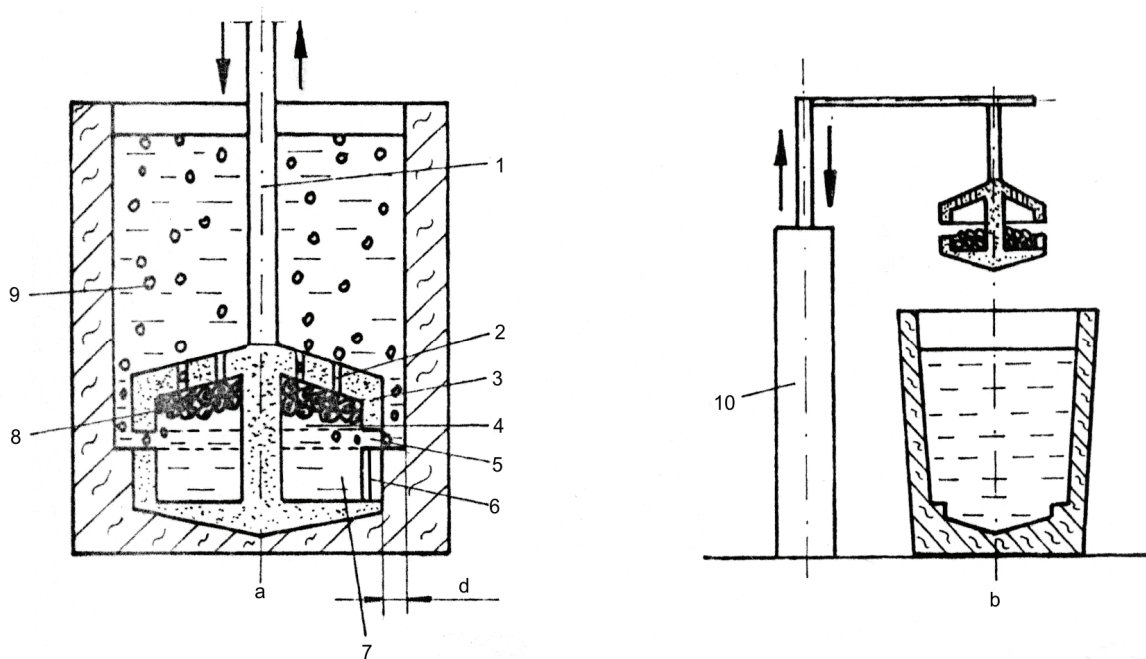


Figura 6/F1. Schema tehnologiei Piston: 1 – tijă; 2 – orificii de evacuare a vaporilor de magneziu; 3 – corp al pistonului; 4 – parte superioară a incintei pistonului; 5 – fantă circulară; 6 – fantă verticală; 7 – parte inferioară a incintei pistonului; 8 – modificador; 9 – bule de vapori de magneziu; d – distanța între piston și peretele oalei; 10 – consolă de acționare; a – detaliu; b – ansamblu.

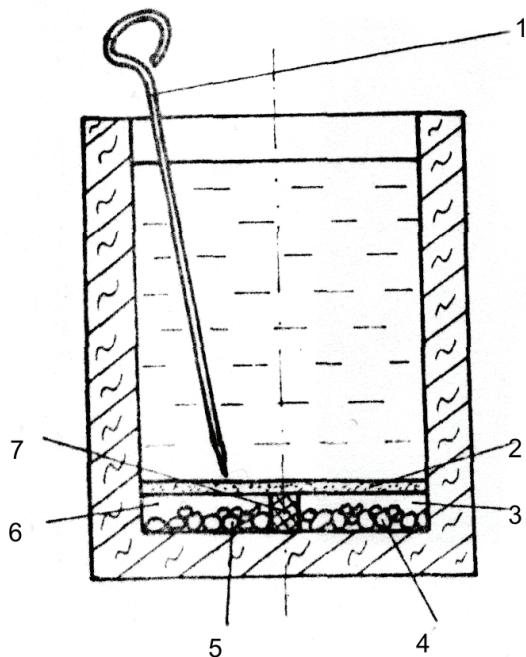


Figura 7/F1. Schița tehnicii Trigger cu modificare în două trepte: 1 – bară de perforare; 2 – placă de protecție; 3 – locaș I; 4 – modificador I; 5 – modificador II; 6 – locaș II; 7 – placă separatoare verticală.

– tehnologia de imersare a clopotului în oala deschisă însă amplasată în autoclavă cu suprapresiune (figura 4/F1–d). Oala de turnare se amplasează într-o autoclavă în care se realizează ulterior suprapresiune – de exemplu, prin introducere de azot. Ulterior, clopotul este imersat în baia metalică. Suprapresiunile creează condiții de mărire a temperaturii de vaporizare, ceea ce înseamnă că este posibilă utilizarea pentru modificare a magneziului în stare pură deoarece este micșorată tensiunea vaporilor;

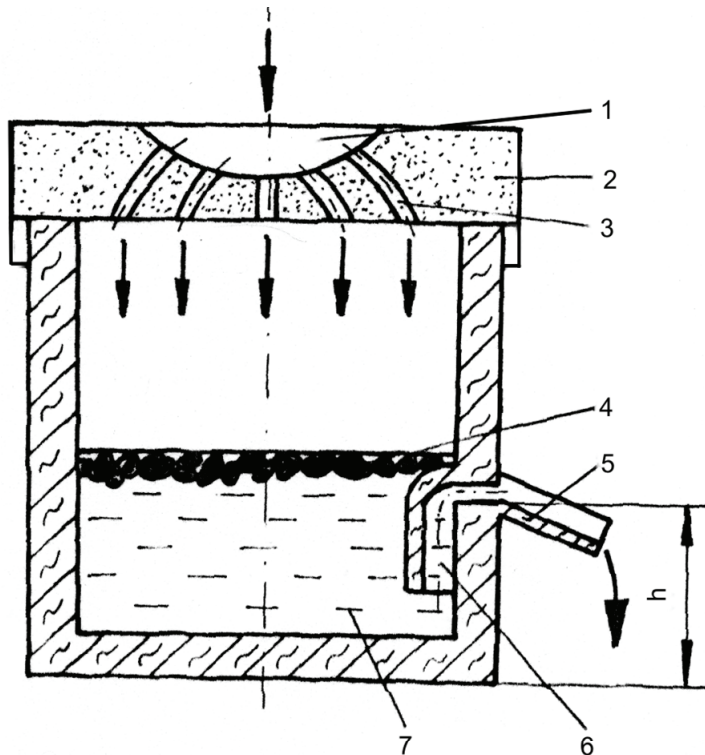


Figura 8/F1. Schița tehnicii de modificare în ploaie: 1 – pâlnie de turnare; 2 – capac; 3 – canale de alimentare; 4 – modificator; 5 – jgheab de evacuare; 6 – canal tip sifon; 7 – fontă lichidă modificată.

– amplasarea modificatorului neprotejat la fundul oalei (figura 4/F1–e). Această tehnică (cea mai simplă) este cea mai dezavantajoasă din cauză că modificatorul se află amplasat pe o suprafață mare (necontrolată) a fundului oalei, fonta lichidă intrând în reacție cu modificatorul imediat după începerea turnării în oală;

– amplasarea modificatorului într-un locaș din căptușeala fundului oalei de turnare (figura 4/F1–f) – tehnologia Sandwich. Modificatorul este protejat cu bucăți de tablă de oțel – acestea împiedică declanșarea reacției de modificare imediat după ce începe turnarea. Ulterior dizolvării bucăților de oțel în baia metalică reacția de modificare este declanșată, adică atunci când deja baia metalică are o înălțime apreciabilă. Cu cât distanța pe care o parcurg vaporii de magneziu este mai mare, cu atât randamentul de modificare este mai mare;

– tehnologia Trigger (figura 4/F1–g). Modificatorul este protejat de un strat ceramic, greu fuzibil – ce nu se topește la temperatura de modificare a fontei – și este amplasat într-un locaș din căptușeala fundului oalei sau se amplasează simplu la fundul oalei. După umplerea oalei cu fontă are loc deplasarea ei la sectorul de turnare și perforarea stratului ceramic cu o bară de oțel, în mod manual sau mecanizat, [7]. Ulterior perforării stratului ceramic, fonta pătrunde în locașul delimitat de căptușeala oalei și stratul ceramic, unde intră în contact cu modificatorul. Astfel, magneziul din materialul modificator se transformă în vapori (temperatura de vaporizare a magneziului are valoarea de 1.107°C iar cea de topire are valoarea de 650°C) iar vaporii de magneziu părăsesc respectivul locaș prin găurile rezultate din perforare, în drumul lor ascensional prin baia metalică modificând-o. Ca material ceramic pentru stratul protector se utilizează nisip peliculizat, carbid etc;

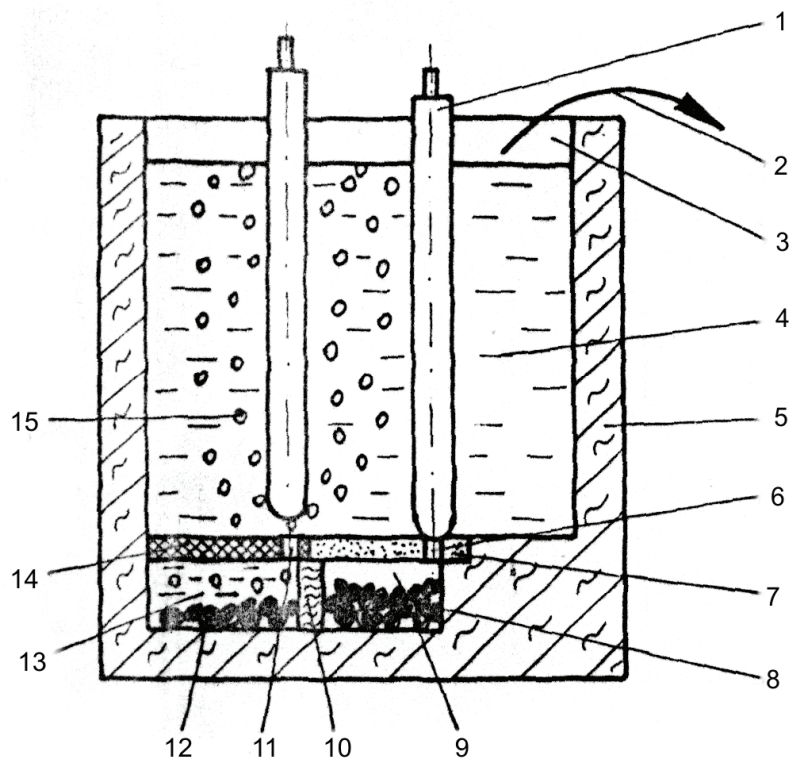


Figura 9/F1. Schița de modificare în oala de turnare cu două locașuri și două bare port-dop: 1 – bară port-dop; 2 – zonă de evacuare; 3 – cavitate a oalei; 4 – baie metalică; 5 – căptușeală refractară; 6 – orificiu I; 7 – placă separatoare orizontală I; 8 – modificator I; 9 – locaș I; 10 – placă separatoare verticală; 11 – orificiu II; 12 – modificator II; 13 – locaș II; 14 – placă separatoare orizontală; 15 – bule de vapori de magneziu.

– tehnologia Am–Co–Mg (figura 4/F1–h). Ca modificator se utilizează granule de cocs impregnat cu magneziu (43...45% Mg) ce se amplasează într-un locaș aflat în fundul detașabil al oalei de turnare. Deasupra locașului modificatorului se află niște orificii executate în căptușeala fundului fals al oalei. În momentul în care începe turnarea fontei în oală – asamblată cu fundul detașabil –, fonta lichidă pătrunde prin orificii în locașul modificatorului unde intră în contact cu cocsul impregnat cu magneziu;

– tehnologia Tundish-Cover (figura 5/F1). Modificatorul pe bază de magneziu se amplasează într-un locaș aflat la fundul oalei de turnare. Oala este prevăzută cu un capac în care se află un bazin de turnare și un orificiu de turnare de diametrul D ce se calculează cu relația (4/F1).

$$D = 2,2 \sqrt{\frac{Q_f}{\tau \sqrt{h}}}, \quad (4/F1)$$

în care D se exprimă în cm; Q_f – cantitatea de fontă ce trebuie modificată, în kg; τ – timpul de turnare, în s; h – înălțimea băii metalice din bazin, în cm. De exemplu, în cazul modificării a 100 kg de fontă, în circumstanțele în care timpul de turnare este de 20 s iar înălțimea băii metalice este programată să fie de 2 cm, diametrul orificiului – D – are valoarea următoare:

$$D = 2,2 \sqrt{\frac{100}{20\sqrt{2}}} = 4,1 \text{ cm.}$$

În scopul evitării sinterizării modificatorului se are în vedere ca jetul de fontă să nu cadă peste modificatorul din locaș.

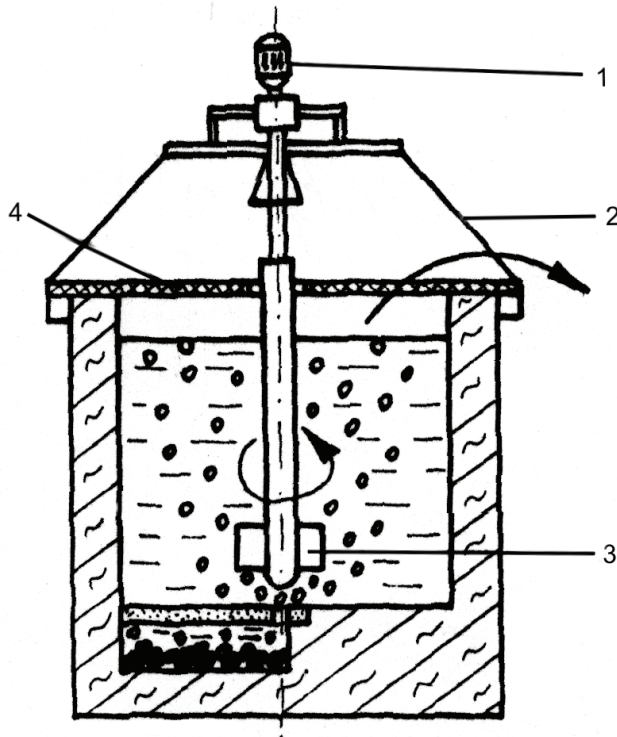


Figura 10/F1. Schița oalei de modificare prevăzută cu bară port-dop ce se rotește: 1 – motor electric de antrenare; 2 – cadru de susținere; 3 – palete ceramice; 4 – placă izolatoare termică.

– tehnologia Piston (figura 6/F1). Modificatorul pe bază de magneziu (8) este amplasat în partea inferioară a incintei pistonului (7). Căptușela refractară a oalei de turnare are geometria identică cu aceea a părții inferioare a corpului pistonului (3). Distanța dintre peretele vertical al căptușelii refractare a oalei de turnare și piston este d și se stabilește experimental în așa fel încât randamentul de modificare să fie maxim. În vederea modificării, se toarnă fonta în oala de turnare după care se imersează pistonul în baia metalică prin intermediul tije (1). Imersarea pistonului determină ca fonta să pătrundă în incinta pistonului și să vină în contact cu modificatorul. Astfel, deoarece modificatorul are greutatea specifică mai mică decât a fontei lichide, are loc deplasarea lui la partea superioară a incintei pistonului (3). Vaporii de magneziu (9) părăsesc incinta pistonului (4) prin orificiile (2) și prin fanta circulară (5). Foarte importantă este evacuarea vaporilor de magneziu prin fanta circulară (5) și prin spațiul dintre piston și peretele interior al oalei de turnare, de lățime d , adică prin spațiul pe unde este vehiculată majoritatea fontei lichide în timpul unei imersări a pistonului până la fundul oalei de turnare. Practic, în timpul unei imersări a pistonului, cu cât distanța d este mai mică, cu atât suprafața de contact dintre vaporii de magneziu și fontă este mai mare, randamentul de modificare fiind mai mare. După ce pistonul a efectuat cursa de imersare până la fundul oalei, urmează scoaterea pistonului din baia metalică, ceea ce înseamnă că aproape toată cantitatea de fontă din oală va trece prin spațiul dintre piston și

peretele interior al oalei. Dacă reacția de modificare (procesul de vaporizare a magneziului din modificator) nu s-a terminat după încheierea cursei de imersare a pistonului, ea continuă și în timpul cursei de scoatere a pistonului din baia metalică. În funcție de cantitatea de fontă modificată și natura modificatorului pistonul efectuează un număr de curse bine determinat în așa fel încât randamentul de modificare să fie maxim. După scoaterea totală a pistonului din baia metalică, prin fanta verticală (6) toată fonta lichidă modificată din incinta pistonului este evacuată în oala de turnare. Înainte ca toată cantitatea de magneziu din modificator să se fi vaporizat, nu este nevoie, ca în cazul cursei ascendente pistonul să fie scos în totalitate din baia metalică. Pistonul este montat într-o consolă (10) ce asigură deplasarea în plan orizontal și în plan vertical. Continuarea efectuării curselor pistonului și după terminarea vaporizării magneziului din modificator asigură o omogenizare suplimentară a modificării;

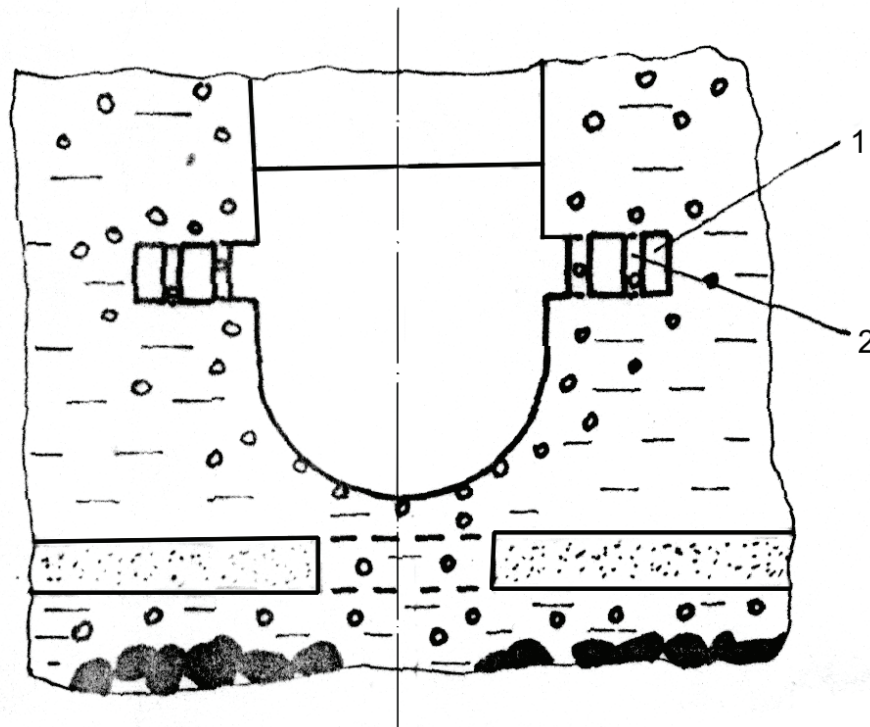


Figura 11/F1. Schița tehnicii de modificare în oala de turnare cu bare port-dop ce au sisteme de distribuire a vaporilor de magneziu: 1 – proeminență ceramică sub formă de disc; 2 – orificii de distribuire a vaporilor de magneziu.

– tehnologia Trigger cu modificare în două sau mai multe trepte (figura 7/F1). La fundul unei oale de turnare ce se recomandă să aibă un grad de zveltețe mai mare (gradul de zveltețe este raportul dintre înălțimea și diametrul incintei unei oale de turnare) – de exemplu, în jurul valorii 2 –, se realizează două sau mai multe locașuri – de exemplu, (6) și (3) – prin intermediul unor plăci separatoare verticale (7). În respectivele locașuri se amplasează modificatorul pe bază de magneziu (4) și (5). Ulterior, peste modificator și plăcile separatoare verticale se amplasează o placă de protecție (2) realizată din amestec de miez sau amestec de formare, amestecuri preparate cu rășini furanice, silicat de sodiu etc. Urmează turnarea fontei în oală și transportarea

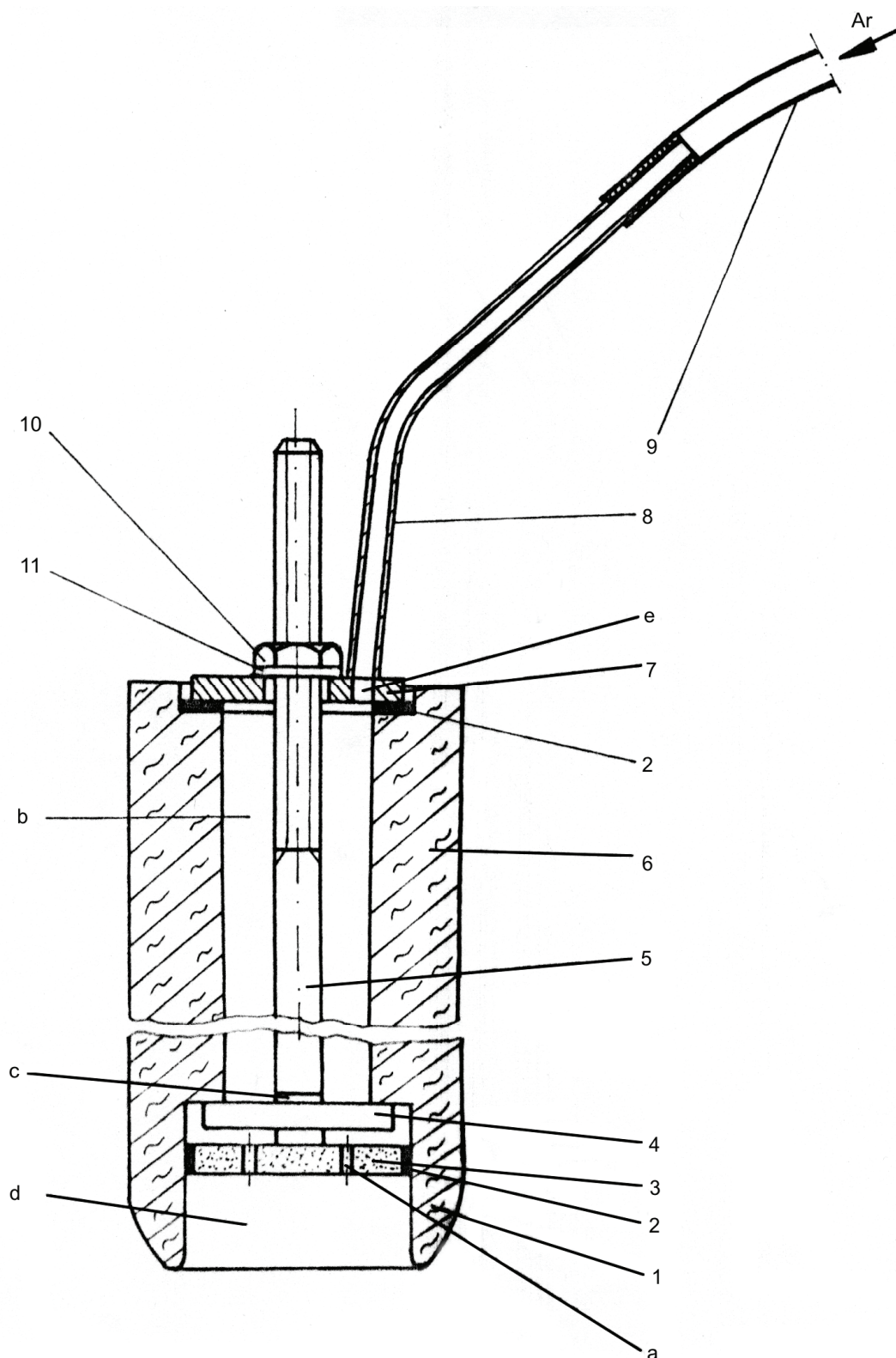


Figura 12/F1. Schița tehnici de modificare în oale de turnare cu bare port-dop prevăzute cu sisteme de insuflare a gazelor inerte: 1 – cap al barei port-dop; 2 amestec refractar de etanșare; 3 – miez grilă; 4 – pană; 5 – tijă; 6 – cărămizi tubulare; 7 – disc metalic; 8 – țeavă de insuflare; 9 – furtun de insuflare; 10 – piuliță; 11 – șaibă; a – orificii; b – spațiu intermediar; c – canal; d – spațiu de joncțiune vapori de magneziu-bară port-dop.

oalei de turnare la sectorul de turnare. Prin intermediul unei bare de oțel ascuțite (1) se perforază, manual, placa de protecție în zona de deasupra unui locaș, ceea ce permite ca fonta să pătrundă în respectivul locaș și să determine contactul cu modificatorul. Astfel, magneziul din modificador se vaporizează, vaporii de magneziu părăsind locașul și distribuindu-se prin baia de fontă. În drumul lor ascensional, vaporii de magneziu modifică fonta. După terminarea reacției de modificare (dispariția fenomenului de luminiscentă intensă de la suprafața băii metalice) are loc perforarea plăcii de protecție din zona de deasupra altui locaș, fenomenele repetându-se la fiecare perforare ca în cazul primei perforări. Cu cât sunt mai multe locașuri de modificador, cu atât efectul modificării este mai mare, sau, dacă se păstrează constant efectul de modificare, se realizează micșorarea consumului de modificador. Perforarea plăcii de protecție se poate realiza și mecanizat, [7];

– tehnologia de modificare în ploaie (figura 8/F1). Oala de turnare este prevăzută la partea inferioară, la distanța h de la bază, cu un orificiu de evacuare a fontei modificate, orificiul ce se prelungeste în exterior cu un jgheab de evacuare (5) și în interior cu un canal tip sifon (6). În vederea modificării, se amplasează modificadorul (4) la fundul oalei și apoi se montează peste oală capacul (2) căptușit refractar și prevăzut cu o rețea de canale de alimentare (3) și o pâlnie de turnare (1). Ulterior, se toarnă fonta lichidă în pâlnia de turnare, urmând ca fonta lichidă să pătrundă în cavitatea oale prin intermediul canalelor de alimentare, adică sub formă de “ploaie”. Această particularitate determină mărirea suprafeței de contact modificador - fontă lichidă și, astfel, creșterea randamentului de modificare. Jeturile de metal lichid intră în contact cu modificadorul ce plutește la suprafața băii metalice din oală. În tot timpul turnării fontei în cavitatea oalei nivelul băii crește în aceasta. Fonta se modifică mai intens la suprafața băii metalice deoarece aici are loc contactul inițial dintre jeturile de metal lichid și modificador. Așadar, pe măsură ce nivelul băii metalice crește în oală, fonta (7) de la partea inferioară a băii metalice este finalizată din punctul de vedere al modificării (grad de omogenizare și grad de puritate, în ceea ce privește conținutul de incluziuni nemetalice exogene și endogene, mari). Mărimea cotei h se determină în așa fel încât în momentul în care începe evacuarea fontei modificate din oală, modificarea să fie la un nivel cât mai mare de calitate. Fonta modificată este evacuată din oala de turnare în altă oală de turnare, aceasta din urma fiind obișnuită. Evacuarea fontei modificate într-o oală de turnare secundară determină o omogenizare suplimentară a gradului de modificare datorită curenților cauzati de transvazare. În timpul umplerii oalei de modificare are loc separarea la suprafața băii metalice a incluziunilor nemetalice și omogenizarea parțială a fontei din punctul de vedere al modificării. Evacuarea finală a fontei modificate din oala de modificare se realizează prin bascularea acesteia înspre jgheabul de evacuare, [2]. Diametru unui canal de alimentare, D , se determină cu relația (5/F1).

$$D = \frac{2,2}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{W}{t\sqrt{h}}}, \quad (5/F1)$$

în care D se exprimă în cm; n – numărul de canale de alimentare; W – cantitatea de fontă ce trebuie modificată, în kg; t – timpul de turnare, în s; h - înălțimea băii metalice din pâlnia de turnare, în cm. Oala de turnare se poate realiza și fără jgheabul de evacuare, orificiul de evacuare și canalul tip sifon;

– tehnologia de modificare în oala de turnare cu două locașuri și două bare port-dop (figura 9/F1). La fundul unei oale de turnare se realizează două locașuri (13) și (9), delimitate de căptușeala refractară a oalei (5) și o placă separatoare verticală (10). În vederea pregătirii oalei pentru modificare, se amplasează modificatorii pe bază de magneziu (12) și (8) în locașuri, după care se montează plăcile separatoare orizontale (14) și (7), plăci separatoare prevăzute cu orificiile (11), respectiv (6). Apoi, se montează barele port-dop (1) în așa fel încât să obtureze orificiile menționate. Se deplasează oala de turnare la sectorul de elaborare și se evacuează fonta din cuptor în oala (3). Ulterior, se deplasează oala la sectorul de turnare și se dezobturează unul din orificii. În felul acesta, fonta (4) pătrunde parțial în locașul corespunzător, determinând transformarea magneziului în vapori. Vaporii de magneziu (15) părăsesc locașul respectiv prin orificiu și apoi sunt distribuiți în baia metalică de către capul barei port-dop. În drumul lor ascendent, vaporii de magneziu modifică fonta. După terminarea reacției de modificare se dezobturează cel de al doilea orificiu. În final, urmează evacuarea fontei modificate din oală conform săgeții (2), în așa fel încât toată fonta din oală să poată fi evacuată. Oala de turnare poate fi prevăzută și cu canal tip sifon, cu scopul reținerii zgurei în oală, [8];

– tehnologia de modificare în oala de turnare prevăzută cu bară port-dop rotitoare (figura 10/F1). Principiul tehnologiei de modificare este cel prezentat la tehnologia de la aliniatul anterior. Particularitățile constau în existența doar a unui locaș, deci doar a unei bare port-dop cu niște palete ceramice în zona dopului ceramic (3) și în existența unui capac căptușit ceramic (4) (placă izolatoare termică) pe care este montat un cadru de susținere (2) a unui motor electric de antrenare (1) împreună cu un dispozitiv de cuplare. Pentru ca modificarea să aibă loc, trebuie ca după ce se realizează dezobturarea orificiului din placa separatoare orizontală să se declanșeze rotirea barei port-dop prin intermediul sistemului de cuplare la motorul electric de acționare. Paletetele ceramice determină o distribuție suplimentară a vaporilor de magneziu în baia metalică atât prin simpla lor prezență cât și prin crearea de curenți în baia metalică,[9].

– tehnologia de modificare în oala de turnare prevăzută cu bară port-dop și sistem de distribuire a vaporilor de magneziu (figura 11/F1). Principiul de modificare este cel prezentat la ultimile două tehnologii analizate anterior. Particularitatea constă în aceea că în zona dopului, bara port-dop este prevăzută cu o proeminență sub formă de disc ceramic (1), aceasta având niște orificii (2). După ce orificiul din placa separatoare orizontală este dezobturat iar vaporii de magneziu părăsesc locașul modificatorului, nu se mai realizează canale preferențiale de evacuare a bulelor de vapori de magneziu deoarece vaporii de

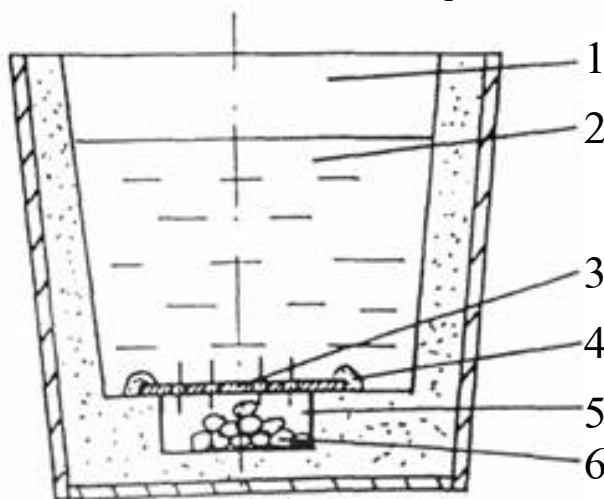
magneziu, parțial, vor pătrunde în orificiile din proeminența ceramică, aceasta însemnând o distribuire într-un volum mai mare de baie metalică și, în consecință, o mărire a randamentului de modificare;

– tehnologia de modificare în oala de turnare prevăzută cu sistem de insuflare a gazelor inerte prin bara port-pot (figura 12/F1). Principiul de bază al modificării este cel al oalelor de turnare prevăzute cu bare port-dop. În plus, această tehnologie se caracterizează prin prevederea barei port-dop, la partea superioară, cu o țevă de insuflare (8) asamblată cu un disc metalic (7) în prelungirea orificiului (e) aflat în respectivul disc metalic. Discul metalic etanșează spațiul intermediar (b) din bara port-dop prin intermediul amestecului refractar de etanșare (2), șaibei (11), piuliței (10) și porțiunii filetate a tije (5). Bara port-dop este rigidizată la partea inferioară prin intermediul unei pene (4) și al canalului (c) din tija metalică (5). În spațiul de joncțiune vapori de magneziu - capul barei port-dop (d) se introduce un miez grilă (3) prevăzut cu orificii (a) și etanșat față de dopul (1) al barei port-dop (6). După ce s-a dezobturat orificiul din placa separatoare orizontală, vaporii de magneziu ajung în incinta (d) din dopul (1) unde suferă joncțiunea cu vaporii de argon sau alt gaz inert ce se insuflă prin țeava (8) prin intermediul furtunului (9). Vaporii de gaz inert creează o stare de amestecare suplimentară a băii metalice, atât în incinta (d) din dop cât și în baia metalică aflată în oala de turnare, astfel, mărindu-se randamentul de modificare, [10].

3. Modul de lucru

În figura 13/F1 se prezintă schița tehnicii de modificare ce se utilizează la nivel de laborator – oală de turnare cu grilă metalică.

Oala de turnare are capacitatea de circa 25 kg.



Căptușeala refractară a oalei se realizează din amestec de formare ce se prepară cu 10% bentonită, 8% apă și 82% nisip cuarțos sau din amestec de formare reutilizat la care se adaugă circa 8% apă.

Figura13/F1. Schița tehnicii de modificare în oala de turnare prevăzută cu grilă. 1–cavitatea oalei; 2–fontă lichidă; 3–grilă metalică; 4–amestec de rigidizare a grilei; 5–locaș al modificatorului; 6–modificator.

La fundul oalei de turnare se realizează un locaș de formă cilindrică cu diametrul de circa 70 mm.

Grosimea căptușelii refractare este de 30...40 mm, grosime ce trebuie realizată și la partea inferioară a locașului modificatorului.

După realizarea căptușelii refractare urmează uscarea ei. Uscarea se face

fie prin intermediul unui arzător mobil de gaz metan, fie în cuptor de uscat forme, de preferință la temperatura de circa 700°C.

Grila metalică se realizează din tablă de oțel cu grosimea de 1...2 mm. Orificiile din grilă au diametrul de circa 5 mm. Distanța dintre orificii este de circa 10 mm. Orificiile se realizează în zona centrală a grilei, pe o suprafață egală cu aceea a suprafeței transversale a locașului modificadorului.

După uscarea oalei, se introduce cantitatea de modificador pe bază de magneziu calculată cu relația (2/F1).

Granulația modificadorului are mărimea 2...7 mm.

Se recomandă utilizarea modificadorului ce conține 8...12% Mg, 45...52% Si, 0,5...2,5% Ca, max. 1,5% Al și în rest Fe (simbolul FeSiCaMg).

Ulterior introducerii modificadorului în locaș se montează grila prin centrare deasupra locașului și se rigidizează de fundul oalei cu amestec de formare, dar de preferință cu cuie de turnătorie.

Fonta ce se supune modificării se elaborează în cuptorul electric cu încălzire prin inducție, are compoziția chimică corespunzătoare celei prezentate la paragraful 2 și temperatura de circa 1.450°C.

Se modifică circa 20 kg de fontă lichidă.

După montarea grilei în oală, oala se introduce în cuptorul de uscat forme și se preîncălzește la temperatura de circa 700°C, temperatură ce trebuie asigurată și în momentul turnării în ea din cuptor.

Oala de turnare se manevrează în furca manipulată de două persoane.

Înainte de evacuarea fontei din creuzet, se elimină zgura de la suprafața băii metalice și apoi se prelevează o probă necesară analizei structurii metalografice (se preferă turnarea unei probe până din a cărei zonă cenușie se prelevează proba necesară).

Fonta lichidă se evacuează din creuzetul cuptorului în oala de turnare, în mod continuu, după care oala de turnare se amplasează pe pardoseala halei.

Reacția de modificare a fontei se declanșează înainte de terminarea evacuării fontei din cuptor. Astfel, fonta lichidă pătrunde prin orificiile din grilă și ajunge în locașul modificadorului, adică în contact cu modificadorul. În felul acesta, se transformă în vapori, vaporii de magneziu părăsind locașul modificadorului, datorită tensiunii de vapori mari, prin orificiile din grilă. Apoi, vaporii de magneziu se evacuează din baia metalică, în timpul cursei ascensionale modificând fonta.

Grila metalică de oțel se dizolvă ulterior în baia metalică, neafectând semnificativ compoziția chimică a fontei cu grafit nodular obținută.

După terminarea reacției de modificare (dispariția fenomenului de luminiscentă puternică de la suprafața băii metalice), se menține fonta modificată în oală circa 60 secunde, după care se elimină zgura de la suprafața băii metalice și se toarnă fonta modificată în forma constituită din două miezuri – figura 14/F1. Forma se realizează din miezul inferior în care se află jumătate din cavitățile epruvetelor și alimentatoarelor cavităților epruvetelor și miezul superior în care se află cavitățile bazinului de turnare, maselotei, alimentatorului maselotei și parțial, cavitățile epruvetelor și alimentatoarelor cavităților epruvetelor.

Miezurile, se prepară din amestec de miez (83% nisip cuarțos, 9% praf de cuarț și 8% silicat de sodiu).

Dacă se propune determinarea rezistenței de rupere la tracțiune se impune ca la baza bazinului de turnare să se afle un filtru ceramic cu scopul reținerii în bazin a incluziunilor nemetalice exogene. Lungimea epruvetelor este funcție de metoda de determinare a rezistenței la tracțiune. Grosimea pereților miezurilor inferior și superior trebuie să fie de minim 40 mm.

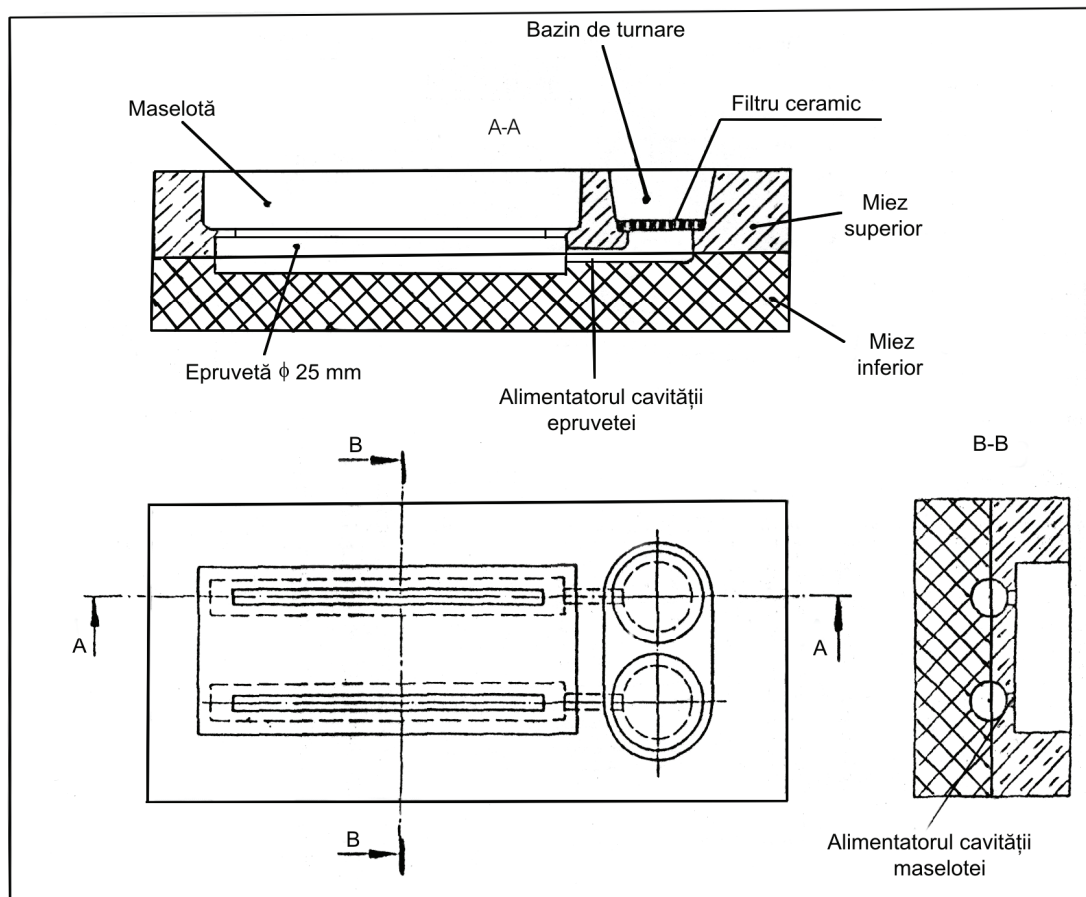


Figura 14/F1. Formă din două miezuri consacrată turnării epruvetelor brute necesare determinării rezistenței de rupere la tracțiune.

Forma turnată se dezbate după ce temperatura fontei modificate a scăzut sub valoarea de 500°C.

Dacă nu se dispune de forma formată din cele două miezuri, se poate turna fonta modificată într-o formă clasică în care se află cavitatea unei probe până.

În urma răcirii până la temperatura mediului ambiant (răcirea se poate realiza în aer liber sau în apă), dintr-o epruvetă brută se prelevează o probă pentru analiza structurii metalografice.

Cele două epruvete brute se lovesc între ele, manual, cu o forță ce să determine rezultarea unui impact însoțit de sunet. Dacă sunetul este “ascuțit”, nu “surd”, adică, dacă vibrațiile sunetelor se amortizează într-o anumită perioadă de timp – nu se amortizează instantaneu –, înseamnă că modificarea fontei, în

sensul obținerii grafitului nodular, a avut loc – a reușit. Învers, sunetele “surde”, “fără ecou”, indică o compactizarea parțială a grafitului sau, după caz, o compromitere totală a modificării, adică grafitul este lamelar, ca și în fonta nemodificată.

Cu ajutorul, unui ciocan cu masa de circa 2 kg se fragmentează în două părți una din epruvete și proba până turnată din fontă nemodificată și se compară cele două macrostructuri cu ochiul liber, prin intermediul unei lupe, cu microscopul de analiză a macrostructurii sau apelând la camera de luat vederi integrată într-un sistem de monitorizare cu calculatorul, Dacă fonta este modificată în mod corespunzător, culoarea rupturii imediat după fragmentare este cenușie-argintie, chiar observându-se, în relief, nodulele de grafit. Ruptura probei până din fontă nemodificată este de culoare cenușie și nu se sesizează lamelele de grafit.

Se analizează structura metalografică a celor două probe – dinainte și după modificare –, în variantele atacate și neatacate cu reactiv chimic.

Microstructurile, în variantele atacate și neatacate cu reactiv chimic, se desenează sau se listează pe imprimanta cu care este dotat calculatorul.

4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii

Deoarece modificarea se realizează cu un prealiaj ce conține circa 10% magneziu, modificarea se declanșează chiar în timpul evacuării fontei din cuptor. Posibilii stropi de metal lichid ce ar împrăștia personalul care manipulează oala de turnare și bascularea cuptorului impun purtarea echipamentului de protecție de către acesta, șortul de piele, apărătoarele gambelor picioarelor (calțetele de piele), bocancii cu talpă de lemn, ochelarii de protecție și mănușile de protecție fiind obligatorii.

În circumstanțele în care fonta ce se modifică este supraîncălzită la temperatura de 1.450°C, oala de turnare trebuie obligatoriu preîncălzită la temperatura de circa 700°C.

Spargerea (fragmentarea) epruvetelor cilindrice și a probei până trebuie făcută de către personalul cu experiență, echipat în mod corespunzător și într-un loc unde să nu pericliteze securitatea celor din jur (după un paravan de protecție).

5. Interpretarea rezultatelor

Se compară microstructurile probelor reprezentând fontele nemodificată și modificată din punctele de vedere ale gradelor de compactitate ale grafitului, proporției de grafit lamelar, proporției de grafit nodular, în cuiburi, compact/vermicular și lamelar cu vârfulurile rotunjite, naturii matricei metalice, mărimii grăunților metalografici, numărului de separări de grafit, gradului de uniformitate al repartizării grafitului și gradului de dispersie al perlitei. Cu excepția gradului de dispersie al perlitei, ce se analizează la mărirea de circa x500, ceilalți factori de microstructură se analizează la mărirea de circa x100.

Se consemnează culoarea probelor în ruptură imediat după fragmentarea

probelor și concluziile trase în legătură cu calitatea sunetului provocat de impactul (lovirea) celor două epruvete cilindrice brute.

6. Bibliografie

1. Oprea, F., Taloi, D., Constantin, I. și Roman, Rodica. Teoria proceselor metalurgice. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1987;
2. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Editura Samia. Iași. 2003;
3. Cojocaru-Filipiuc, V. Elaborarea și turnarea aliajelor feroase – îndrumar de proiectarea. Institutul Politehnic Iași. Tipar Rotaprint, 1987;
4. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;
5. Sofroni, L., Ștefănescu, D.M. și Vincenz, C. Fonta cu grafit nodular. Editura Tehnică. București. 1987;
6. Sofroni, L., Ripoșan, I., Brabie, V. și Chișamera, M. Turnarea fontei. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1985;
7. Cojocaru-Filipiuc, V. Dispozitiv de protecție și perforare la tehnologia Trigger de obținere a fontei modificate. Metalurgia. București. 1995, nr.5, p.7...9;
8. Cojocaru-Filipiuc, V. Elaborarea fontei cu grafit nodular în oala de turnare cu două locașuri și două bare port-dop. Metalurgia. București. nr.12, p.48...52;
9. Cojocaru-Filipiuc, V., Barbu, G. și Oprinca, S. Oală de turnare. Brevet de invenție, România, nr. 101223, 1992;
10. Cojocaru-Filipiuc, V. și Oprinca, S. Oală de turnare. Brevet de invenție, România, nr. 109 433, 1996.

F2. Elaborarea fontei cu grafit nodular prin modificare în formă

1. Scopul

Familiarizarea cu principalele tehnici de modificare a fontei în formă și comparația microstructurii fontei nemodificate cu a fontei modificate în cazul aplicării unei tehnologii de laborator.

2. Consideratii generale

Caracterizarea generală a fontei cu grafit nodular a fost prezentată la lucrarea nr. F1.

Grupa de tehnici de modificare a fontei în formă este mai puțin răspândită la scară industrială din cauza următoarelor dezavantaje, [1], [2]:

- temperatura de modificare nu este constantă pentru toate formele, existând diferențe semnificative între prima și ultima formă modificată din aceeași oală de turnare, cu atât mai mult cu cât capacitatea oalei de turnare este mai mare și cu cât formele sunt mai mici;

- proiectarea riguroasă a formei din cauza obligativității prezenței de-a lungul rețelei de turnare a unei camere de reacție (sau sistem de camere de reacție) și a sistemului de reținere a zgurii (produșilor reacției de modificare);

- modificarea neuniformă a fontei în timpul curgerii fontei prin rețeaua de turnare – fonta ce pătrunde la început în rețeaua de turnare este mai puțin modificată față de fonta ce pătrunde spre final în rețeaua de turnare;

- existența riscului de pătrundere a produșilor reacției de modificare în cavitatea formei;

- micșorarea indicelui de scoatere din cauza prezenței de-a lungul rețelei de turnare a camerei de reacție și colectorului de zgură voluminos;

- modificatorul trebuie să îndeplinească alte exigențe față de cazul în care modificarea se realizează în oala de turnare;

- prevederea formei cu o nouă manieră de control a modificării;

- riscul de formare a “petelor negre” (aglomerări de MgS, MnS, MgO și grafit, cu greutatea specifică de 3,5 ... 4,0 g/cm³, umectate ușor de fonta lichidă, separabile cu dificultate în zgură și antrenate cu ușurință în cavitatea formei, regăsindu-se la suprafața pereților, înrăutățindu-se unele caracteristici etc.);

- limitarea la valori mici a conținutului de sulf pentru fonta ce se supune modificării, cu scopul evitării formării “petelor negre” etc.

Modificarea în formă este abordată în practică datorită următoarelor avantaje:

- practic, este eliminată perioada de timp dintre modificare și începutul solidificării;

- se pot obține calități diferite de fontă cu grafit nodular din aceeași fontă lichidă de bază, prin utilizarea de cantități și tipuri diferite de modificatori;

- se poate elimina parțial riscul de degajare în atmosferă a gazelor și produșilor de reacție sub formă de fulgi;

- efectul de luminiscentă nu mai este vizibil;

- gradul de asimilare a magneziului, în cazul în care modificatorul este pe bază de magneziu, ajunge la 80%, [3];
- micșorarea dimensiunilor nodulelor de grafit;
- obținerea în stare brut turnată a matricei metalice feritice sau preponderent feritice;
- reducerea accentuată a riscurilor de albire – a riscului de separare a cementitei libere în structură;
- se pot obține piese cu pereți groși deoarece acțiunea elementelor chimice antimodificatoare (Bi, Pb, Sb, Ti, Sn, As, Al, Se, Te etc.) este diminuată;
- modificarea este ecologică – nu poluează într-o măsură avansată;
- se pot turna piese cu pereți subțiri;
- se realizează economie de modificator în raport cu grupul de tehnici de modificare în oala de turnare clasice (ce utilizează modificator în stare granulară) etc.

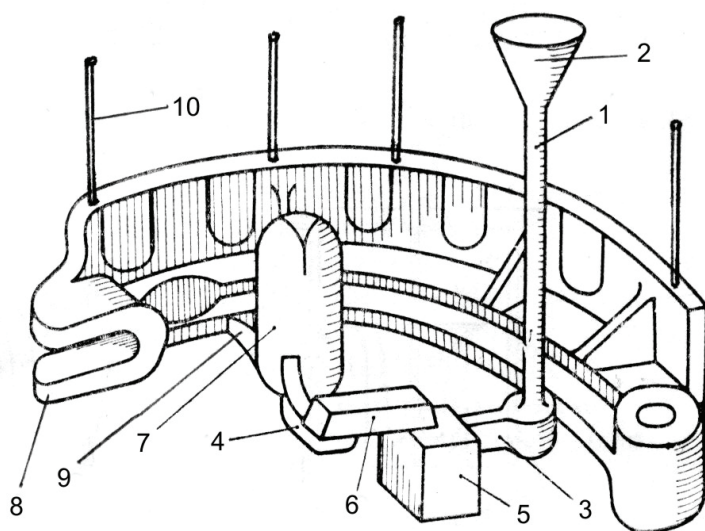


Figura 1/F2. Schema rețelei de turnare consacrată modificării fontei: 1 – piciorul pâlniei de turnare; 2 – pâlnia de turnare; 3 – alimentatorul camerei de reacție; 4 – alimentatorul maseletoei închise; 5 – cameră de reacție; 6 – colector de zgură; 7 – maselotă închisă (nu comunică cu atmosfera); 8 – piesa; 9 – alimentatorul cavității formei; 10 – canale de ventilație supradimensionate.

Principiul modificării fontei în formă se prezintă în figura 1/F2. Astfel, de-a lungul rețelei de turnare se află camera de reacție (5) în care se amplasează modificatorul în stare granulară. În figura 1/F2 este prezentat ansamblul brut turnat – piesa brut turnată (8), rețeaua de turnare și adaosurile tehnologice (maselota închisă) (7) și canalele de ventilație supradimensionate (10). Fonta turnată în pâlnia (2) ajunge în camera de reacție prin intermediul piciorului (1) și alimentatorului (3), unde intră în contact cu modificatorul și, astfel, modificându-se. Fonta modificată “părăsește” camera de reacție și, după ce trece prin colectorul de zgură (6), unde sunt reținute incluziunile nemetalice în mod avansat (zgură, produși ai reacției de modificare etc.), alimentatorul maseletoei (4), și maselotă (aici mai are loc o reținere suplimentară a incluziunilor nemetalice exogene), prin intermediul alimentatorului (9), ajungând în cavitatea formei și, astfel, obținându-se piesa brută (8).

Ca particularitate, se remarcă atenția ce trebuie acordată camerei de reacție și colectorului de zgură, “atenție” ce este avută în vedere în conceperea diverselor tehnici de modificare în formă.

Prin modificarea în formă se obține o densitate de nodule de grafit de 200...600 nodule/mm², în funcție de natura modifierului, grosimea de perete a pieselor, temperatura de modificare etc.

Diametrul nodulelor de grafit este de maximum 40...60 μm.

Modifierul pe bază de magneziu – “master alloy” – trebuie să aibă un conținut mai mic de magneziu în comparație cu tehnicile de modificare în oala de turnare, deoarece, din cauza tensiunii mari de vapori a magneziului, există pericolul de deteriorare a formei și chiar de accidentare. Se recomandă ca modifierul să conțină 4...6% Mg, [4].

Temperatura de turnare a fontei ce se modifică trebuie să fie de minimum 1.400°C.

Importanță mare are viteza de dizolvare a modifierului în fonta lichidă ce trece prin camera de reacție deoarece este un factor determinant pentru reușita modificării alături de temperatura fontei și natura modifierului. În literatura de specialitate din România se obișnuiește să se noteze viteza de dizolvare a modifierului cu F.D. – factor de dizolvare –, calculându-se cu relația (1/F2).

$$F.D. = V.T./A.C.R., \quad (1/F2)$$

în care F.D. se exprimă în kg/s · cm²; V.T. – viteza de turnare, în kg/s; A.C.R. – aria camerei de reacție, în cm². Valoarea factorului de dizolvare este funcție de tipul de modifier, cantitatea de modifier, temperatură, granulația modifierului. O dată cu mărirea consumului de modifier, factorul de dizolvare se micșorează. În cazul preliajului modifier Fe-Si-Mg cu 5% Mg și mărirea granulelor de 10...30 mm, factorul de dizolvare variază în intervalul 0,056...0,070 kg/s · cm². În cazul unor valori prea mici ale factorului de dizolvare, modifierul se dizolvă în fontă integral înainte de terminarea turnării, ceea ce înseamnă că anumite porțiuni din piesă nu sunt modificate în mod corespunzător (modificate parțial sau compromise). Dacă factorul de dizolvare are valori prea mari, rezultă că modifierul nu se dizolvă integral în fontă – conținutul de magneziu rezidual din piesă are valori mici, ceea ce înseamnă că grafitul nu este modificat în totalitate (grafitul este degenerat).

Se apreciază că masa pieselor obținute prin modificarea în formă variază în intervalul 1 · 10⁻⁴...100 t.

În cazul turnării de piese cu masa foarte mare și cu dimensiuni de gabarit mari este posibil ca rețeaua de turnare să fie dotată cu mai multe camere de reacție și, evident, cu mai multe alimentatoare pentru cavitatea formei.

Unul dintre modifierii recomandați are următoarea compoziție chimică: 47% Si, 6% Mg, 0,4% Ca, 0,9% Al, 0,7% Ce și în rest Fe, [1].

În continuare, se prezintă câteva tehnici de modificare în formă, unele reușind să elimine, în mare măsură, dezavantajele prezentate la începutul acestui paragraf.

Formă cu miez glisant

În figura 2/F2 se prezintă schița unei forme realizate cu trei rame de formare.

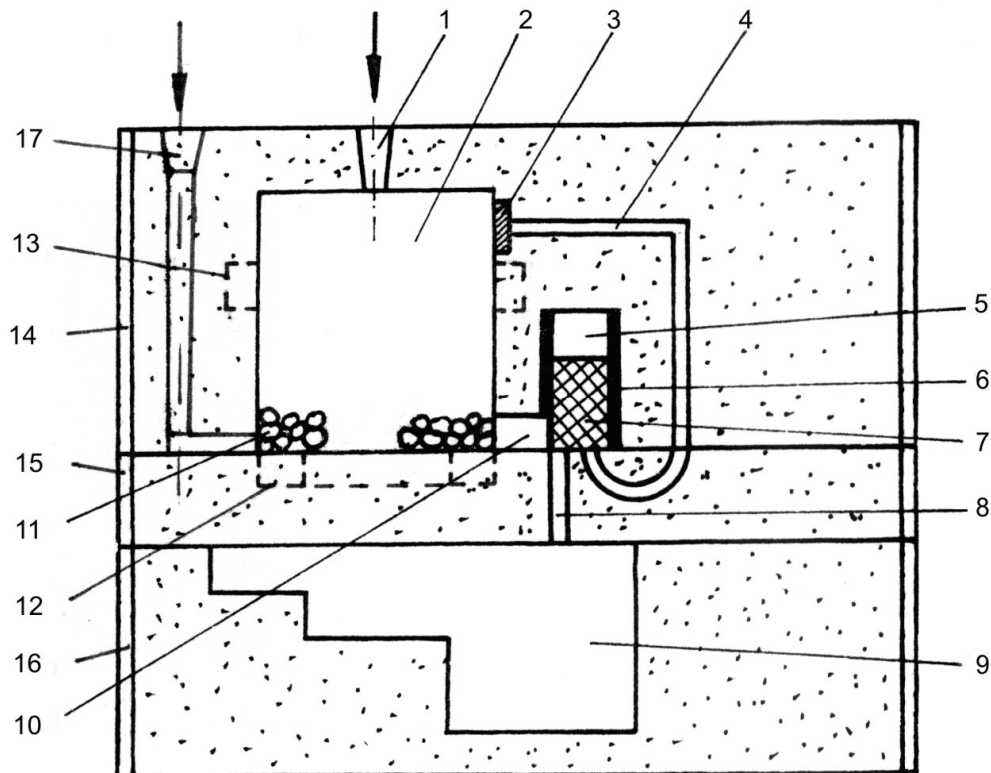


Figura 2/F2. Schița formei consacrată modificării fontei prin intermediul unui miez glisant. 1 – pâlnie de turnare; 2 – cameră de reacție; 3 – placă metalică; 4 – canal de antrenare a miezului; 5 – cavitatea miezului; 6 – vopsea refractară; 7 – miez glisant; 8 – alimentatorul cavității formei; 9 – cavitatea formei; 10 – alimentator parțial al cavității formei; 11 – modificator; 12 – canal circular pentru amplasarea modificatorului; 13 – locașuri secundare ale modificatorului; 14 – formă parțială I; 15 – formă parțială II; 16 – formă parțială III; 17 – variantă secundară de alimentare a camerei de reacție.

Forma este alcătuită din formele parțiale (14), (15) și (16) ce sunt realizate cu plan de separație vertical (formate în plan orizontal și turnate în plan vertical), [5].

Poziția pâlniei de turnare (1) poate fi și alta, adică aceea clasică, potrivit căreia fonta lichidă pătrunde în formă prin pâlnie, apoi ajunge la camera de reacție prin intermediul unui picior de turnare și al unui alimentator orizontal.

Modificatorul (11) se amplasează în camera de reacție (2), însă, se recomandă în canalul circular (12) din forma parțială II cu scopul evitării sinterizării modificatorului din cauza căderii jetului de metal lichid direct pe modificator. Parțial, modificatorul se poate amplasa și în locașurile (13). Se recomandă ca modificatorul să fie pe bază de magneziu.

De-a lungul alimentatorului cavității formei (9) se află cavitatea miezului (5) vopsită cu o vopsea refractară pe bază de grafit (6) cu grosimea de 1,5 ... 2,0 mm ce să faciliteze glisarea miezului (7).

În faza inițială, alimentatorul parțial (10) este obturat de miezul glisant.

În vederea modificării, forma se pregătește ca în figura 2/F2.

În timpul turnării, contactul fontei cu modificatorul înseamnă și

declanșarea procesului de modificare. Pe măsură ce turnarea continuă, nivelul băii metalice în camera de reacție crește, ceea ce înseamnă că la partea inferioară a camerei de reacție fonta beneficiază de un proces de separare a incluziunilor nemetalice și de un proces de omogenizare a modificării. În funcție de sistemul de modificare adoptat și, în special, în cazul obținerii de piese de dimensiuni mari, camera de reacție poate fi prevăzută, înspre partea superioară a ei, cu locașuri (13) în care să se amplaseze o parte din modificator. În acest caz, în perioada în care nivelul băii metalice din camera de reacție a ajuns la locașurile (13), are loc contactul fontă-modificator și, astfel, continuarea cu o intensitate mai mare a modificării. La partea superioară a camerei de reacție este amplasat un canal (4) a cărui intrare este obturată inițial de o placă metalică (3). Placa metalică va fi dizolvată de fonta lichidă, însă, după umplerea camerei de reacție, după o perioadă bine determinată (stabilită experimental), perioadă ce să determine separarea la suprafața băii metalice a incluziunilor nemetalice exogene, în mare măsură, și omogenizarea, din punctul de vedere al modificării băii metalice. Dizolvarea-topirea plăcii metalice coincide cu asigurarea calității fontei cu grafit nodular din camera de reacție și cu pătrunderea metalului lichid prin canalul (4). Metalul lichid pătruns prin canalul (4) ajunge la miezul glisant și acționează asupra lui de jos în sus cu o forță mai mare decât forța gravitațională a miezului împreună cu forța de frecare dintre miez și vopseaua refractară și forța de frecare dintre miez și fonta lichidă din canalul (10) – această condiție stă la baza proiectării dimensiunilor canalului (4). Consecința acționării metalului lichid din canalul (4) este glisarea miezului în sus, în cavitatea (5) și în felul acesta, dezobturarea canalului (10). Așa, fonta lichidă, modificată, fără incluziuni nemetalice exogene și omogenă din punctul de vedere al modificării, pătrunde în cavitatea formei (9) prin intermediul alimentatorului (8).

Modificatorul se poate amplasa și ca în figura 2/F2, adică neapelându-se la canalul circular (12), însă este mai dificil în cazul formelor de dimensiuni mici.

Pâlnia de turnare (1) se poate amplasa și excentric, lângă peretele vertical al camerei de reacție, în acest caz, modificatorul amplasându-se la partea inferioară a camerei de reacție, însă, în partea opusă în raport cu amplasarea pâlniei de turnare. În acest fel se elimină riscul de sinterizare a modificatorului ca urmare a impactului inițial jet de metal-modificator. Dacă se utilizează alimentarea camerei de reacție prin intermediul variantei secundare (17), riscul de sinterizare a modificatorului este eliminat.

Forma prezentată în figura 2/F2 permite un coeficient de scoatere foarte mare, o fontă cu grafit nodular modificată omogen și fără zgură.

Formă prevăzută cu cameră de reacție și grilă

În figura 3/F2 se prezintă schița formei consacrată modificării fontei, având particularitatea prezenței unei grile ceramice în camera de reacție.

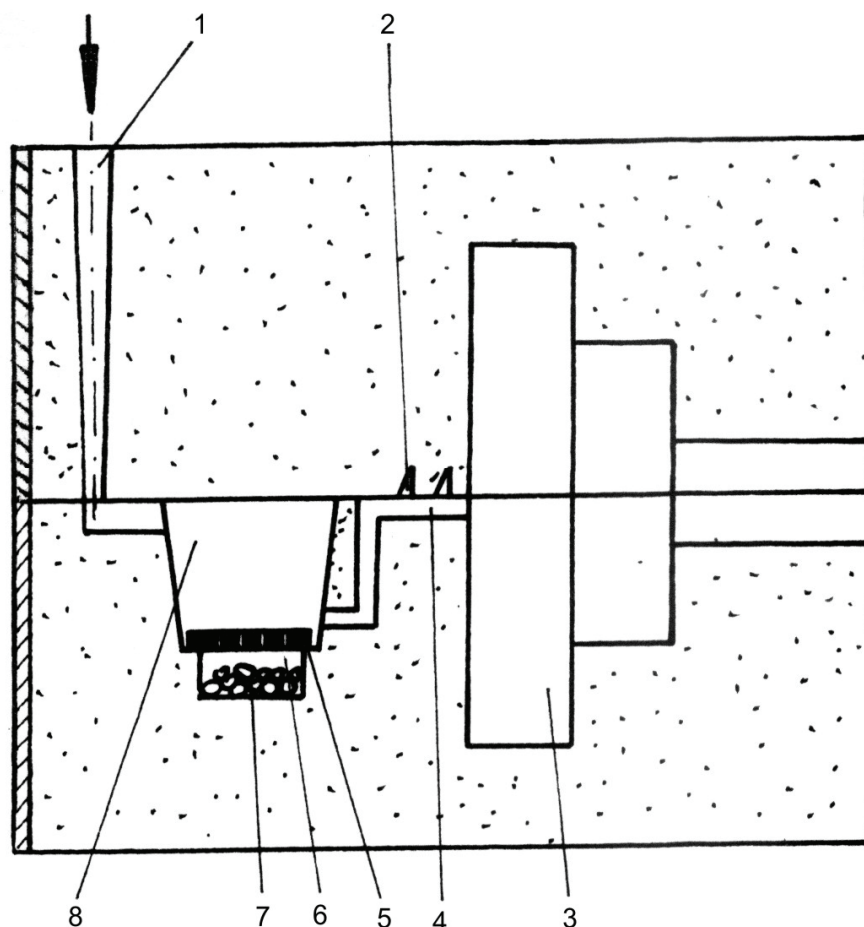


Figura 3/F2. Schița formei de modificare prevăzută cu grilă ceramică în camera de reacție. 1 – picior de turnare; 2 – colectori de zgură gravitaționali; 3 – cavitatea formei; 4 – alimentatorul cavității formei; 5 – grilă ceramică; 6 – locașul modificadorului; 7 – modificador pe bază de magneziu; 8 – camera de reacție.

De-a lungul rețelei de turnare se află camera de reacție (8), [6].

Sub camera de reacție se află locașul (6) în care se amplasează modificadorul pe bază de magneziu (7).

Între camera de reacție și locașul (6) se introduce grila ceramică (5).

În vederea modificării, fonta lichidă turnată prin piciorul (1) ajunge în camera de reacție, de unde pătrunde prin grila ceramică în locașul unde se află modificadorul și, astfel, intră în contact cu respectivul modificador, determinând vaporizarea magneziului. Vaporii de magneziu părăsesc locașul (6) prin orificiile grilei (5) și se distribuie în mod uniform în baia metalică din camera de reacție în tot timpul turnării.

Fonta modificată părăsește camera de reacție prin alimentatorul (4) pe la partea inferioară a acesteia, ceea ce înseamnă că incluziunile nemetalice exogene nu vor fi antrenate în cavitatea formei (3).

Eventualele incluziuni nemetalice exogene ce sunt antrenate din camera de reacție sunt reținute de către colectori de zgură gravitaționali (2) amplasați la partea superioară a alimentatorului cavității formei.

Avantajele acestei tehnologii în raport cu varianta principală prezentată

în figura 1/F2 constau în modificarea uniformă și reținerea incluziunilor nemetalice în camera de reacție.

Formă prevăzută cu camere de reacție multifuncționale

În figura 4/F2 se prezintă schița unei forme prevăzută cu patru camere de reacție, [7].

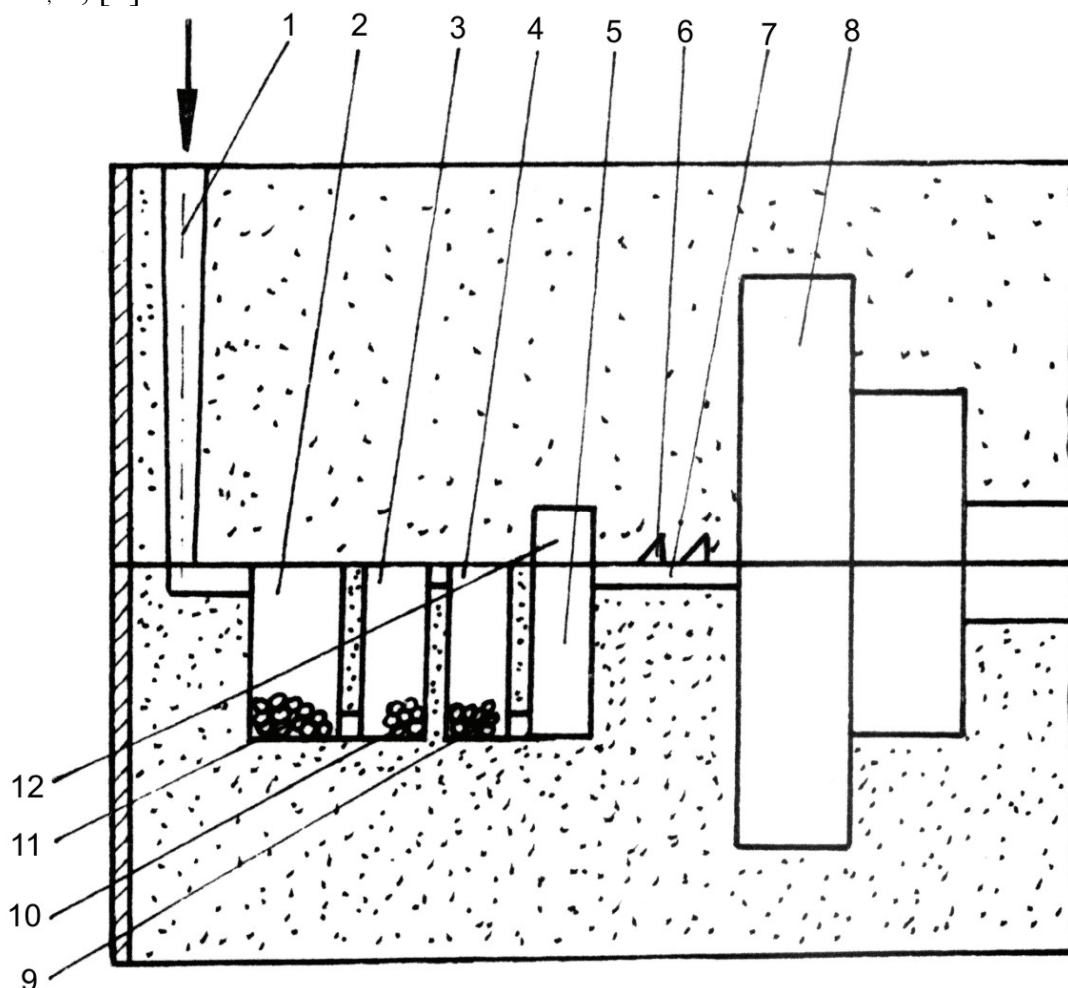


Figura 4/F2. Schița formei consacrată modificării fontei cu camere de reacție multifuncționale. 1 – picior de turnare; 2 – camera de reacție I; 3 – camera de reacție II; 4 – camera de reacție III; 5 – camera de omogenizare; 6 – colectori de zgură gravitaționali; 7 – alimentatorul cavității formei; 8 – cavitatea formei; 9 – inoculant; 10 – modificator II; 11 – modificator I; 12 – separator de zgură.

De-a lungul rețelei de turnare se află patru camere de reacție – pentru modificare I (2), pentru modificare II (3), pentru inoculare (4) și pentru omogenizare (5).

Modificatorul se introduce în două camere de reacție – (2) și (3) –, ceea ce permite modificarea în două trepte și, astfel, economie de modificator (în cazul în care nu se urmărește economia de modificator, se obține un efect de modificare mai bun).

În camera de reacție III se introduce inoculantul, situație în care se

realizează modificarea în două etape – modificare și postmodificare (inoculare).

Dacă modificatorul conține elemente chimice modificatoare nodulizante pentru grafit și inoculante, în camerele de reacție I, II și III se poate introduce respectivul modificator, ceea ce asigură modificarea în trei trepte – se asigură economie de modificator și mai mare decât în cazul modificării în două trepte.

Cu scopul modificării, fonta ajunge prin intermediul piciorului de turnare (1) în camera de reacție I unde intră în contact cu modificatorul I pe bază de magneziu (11), modificându-se. Modificatorul I având greutatea specifică mai mică decât cea a fontei lichide, va pluti la suprafața băii metalice, ceea ce înseamnă că produșii reacției de modificare se vor separa la partea superioară a băii metalice din camera de reacție (2), în mare parte și datorită faptului că fonta trece în camera de reacție II printr-un orificiu aflat la partea inferioară a camerei de reacție I. În camera de reacție II fonta intră în contact cu modificatorul (10), modificându-se. În camera de reacție (4) fonta pătrunde din camera de reacție (3) printr-un orificiu situat la partea superioară a camerei de reacție (3). În camera de reacție III, se realizează contactul fontei cu inoculantul (9), sau, după caz, cu modificatorul, în cazul modificării în trei trepte, adică, în camera de reacție III se realizează inocularea, respectiv, modificarea. Fonta inoculată și modificată, fără zgură în cantitate mare, trece în camera de omogenizare (5) printr-un orificiu situat la partea inferioară a camerei de reacție III. În camera de omogenizare se realizează omogenizarea modificării precum și decantarea incluziunilor nemetalice în separatorul de zgură (2), după care fonta modificată ajunge în cavitatea formei (8) prin intermediul alimentatorului (7), dar, numai după ce eventualele incluziuni nemetalice exogene au fost reținute de colectori de zgură gravitaționali (6).

Fonta obținută prin modificare în această formă este modificată foarte uniform, fără zgură, însă, se remarcă un coeficient de scoatere mic din cauza existenței mai multor camere de reacție.

Formă prevăzută cu bazin de omogenizare și separare a zgurei

În figura 5/F2 se prezintă schema formei prevăzută cu bazin, [8].

Tehnologia corespunzătoare formei din figura 5/F2 face referință la un plan de separație vertical, la independență de mărimea granulației modificatorului și la o formă caracterizată prin prezența de-a lungul rețelei de turnare a unei camere de reacție (2), un bazin (3), un separator de zgură (5) și un alimentator (6).

Realizarea modificării este asigurată prin pătrunderea fontei în formă cu ajutorul pâlniei de turnare (1), modificarea în camera de reacție (2) și pătrunderea fontei modificate în bazinul (3). La joncțiunea colectorului de zgură (5) cu bazinul (3) se află un disc metalic (4) ce se va dizolva sau topi de către fonta modificată din bazin după o perioadă de timp bine determinată, stabilită experimental, perioadă de timp în care fonta

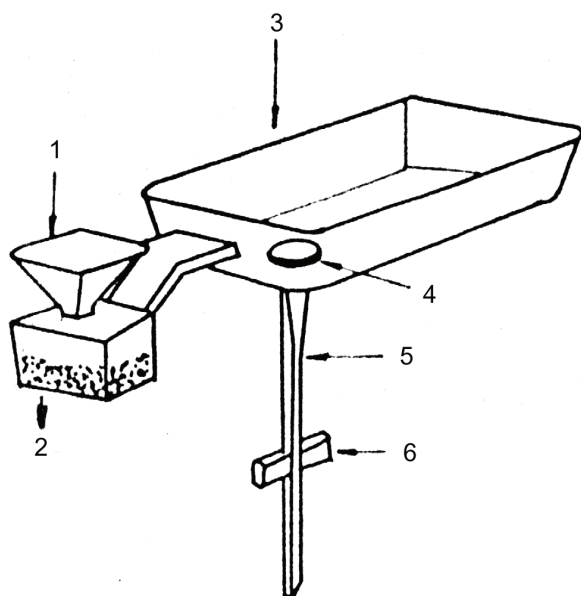


Figura 5/F2. Schema de principiu a formei prevăzută cu bazin de omogenizare și separare a zgurei. 1- pâlnie de turnare; 2 - cameră de reacție; 3 - bazin; 4 - disc metallic; 5 - colector de zgură; 6 - alimentatoare.

lichidă modificată din bazin se omogenizează din punct de vedere chimic, al modificării și termic și perioadă de timp în care se realizează separarea incluziunilor nemetalice exogene la suprafața băii metalice.

Volumul bazinului este sensibil egal cu volumul cavității formei, ceea ce înseamnă că, după topirea discului metallic, întreaga cantitate de fontă modificată din bazin va trece relativ în cavitatea formei.

Această tehnică de modificare a fost elaborată de către firma suedeză Kockums Jernverk.

Formă prevăzută cu miez de dirijare

În figura 6/F2 se prezintă schița unei forme prevăzută cu un miez de dirijare a fontei spre o circulație circulară, [9].

În vederea modificării, fonta pătrunde în camera de reacție (2) printr-un alimentator tangențial (9) de la piciorul de turnare (1).

Camera de reacție la baza căreia se amplasează modificatorul pe bază de magneziu (10) este delimitată de amestecul de formare și de miezul (4).

După ce fonta a pătruns în camera de reacție, are loc contactul cu modificatorul și crește nivelul băii metalice până la partea superioară a camerei de reacție datorită raportului de convergență dintre aria secțiunii transversale a alimentatorului (9) și aria secțiunii de acces a fontei în canalul vertical (8), secțiune determinată de proeminența (3).

Prezența proeminenței (3) ce are în realitate o înălțime mai mare decât cea sugestionată de figura 6/F2 face ca fonta modificată să acceadă în canalul vertical (8) în regim sifon, asigurându-se ca modificatorul și incluziunile nemetalice exogene să se afle în tot timpul turnării la partea superioară a camerei de reacție (2).

Fonta modificată ajunge în cavitatea formei (6) prin intermediul alimentatorului (7) după ce eventualele incluziuni nemetalice exogene prezente în fonta modificată au fost reținute de colectori de zgură gravitaționali (5).

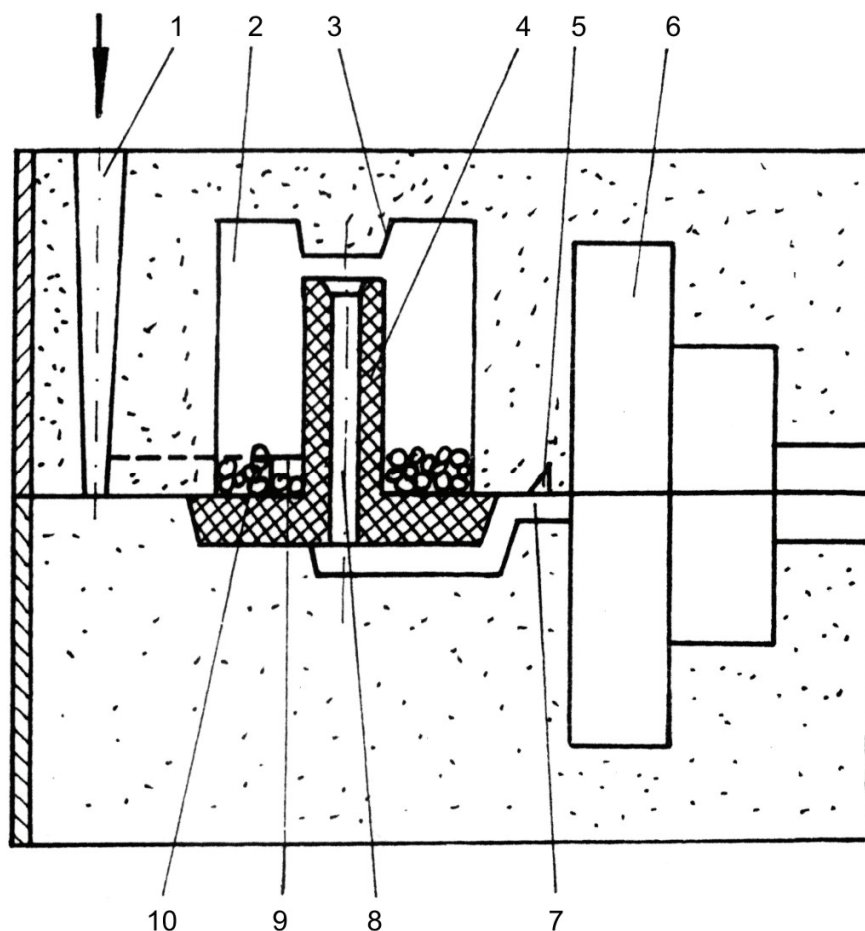


Figura 6/F2. Schița formei prevăzută cu miez de dirijare. 1 – picior de turnare; 2 – cameră de reacție; 3 – proeminență; 4 – miez de dirijare; 5 – colectori de zgură gravitaționali; 6 – cavitatea formei; 7 – alimentatorul cavității formei; 8 – canal vertical; 9 – alimentator tangențial; 10 – modificator.

Rețeaua de turnare prezentată în figura 6/F2 poate servi și pentru alierea fontei în formă cu aluminiu.

3. Modul de lucru

În figura 7/F2 se prezintă schița formei de modificare a fontei cu miez obturator, [10].

Prin intermediul ramelor de formare (1) se realizează două semiforme utilizând o garnitură de model formată din modelul propriu-zis și o cutie de miez.

Rețeaua de turnare este formată din pâlnia de turnare (2), piciorul de turnare (3), alimentatorul camerei de reacție (16), camera de reacție (6) și alimentatorul cavității formei (13).

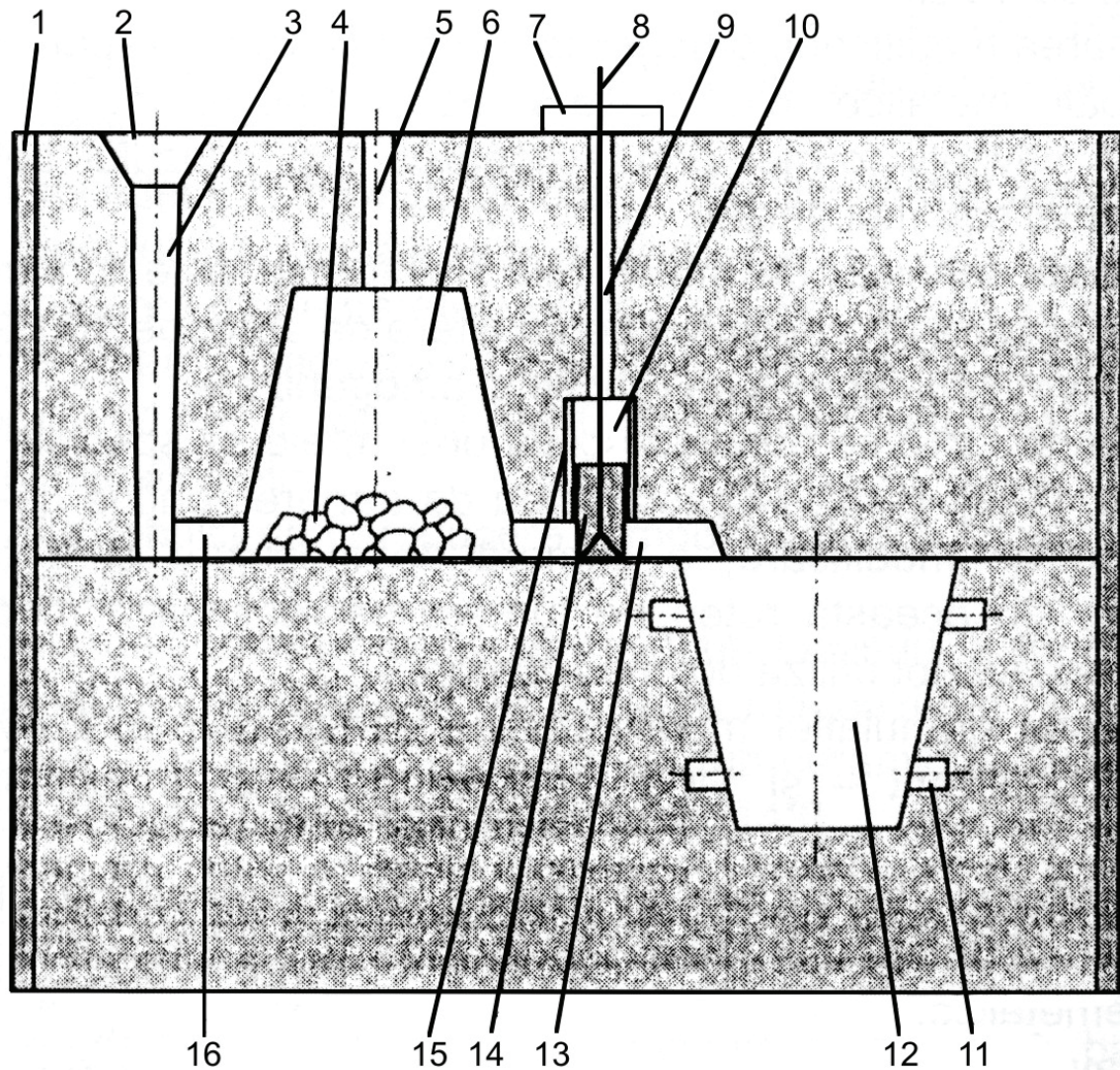


Figura 7/F2. Schița formei prevăzută cu miez obturator. 1 – rame de formare; 2 – pâlnie de turnare; 3 – picior de turnare; 4 – modificator pe bază de magneziu; 5 – canal de aerisire; 6 – cameră de reacție; 7 – ghidaj; 8 – tijă; 9 – locaș al tijei; 10 – locaș al miezului; 11 – cavitatea probelor; 12 – cavitatea formei; 13 – alimentatorul cavității formei; 14 – miez obturator; 15 – vopsea refractară; 16 – alimentatorul camerei de reacție.

În zona camerei de reacție se află un canal de aerisire (5), cu secțiunea transversală circulară având diametrul de 10 mm.

Înainte de asamblarea celor două semiforme se realizează uscarea lor la temperatura de circa 600°C într-un cuptor electric cu încălzire pe bază de rezistențe de sârmă de kanthal cu diametrul de 2 mm (în prealabil, miezul (14) și suprafața locașului miezului (10) se vopsesc cu o vopsea refractară pe bază de grafit – 67% grafit + 33% apă, (15). Miezul se usucă împreună cu semiformele. Miezul se execută împreună cu o armătură prevăzută cu o tijă metalică (8). De asemenea, înainte de asamblarea semiformelor, modificatorul (4) se amplasează în planul de separație, în zona amprentei camerei de reacție iar miezul este montat în locașul (10) și cu tija în locașul tijei (9) prin intermediul ghidajului metalic (7).

După asamblarea semiformelor urmează obturarea alimentatorului (13) prin acționare asupra tije (9).

Volumul camerei de reacție este de 750 cm³ iar volumul cavității formei este de 670 cm³.

Dimensiunile miezului sunt de 60x57x22 mm iar dimensiunile locașului miezului sunt 100x60x25 mm.

Alimentatorul cavității formei are secțiunea transversală de formă trapezoidală cu dimensiunile 24x20x20 mm.

Miezul se execută din amestec de miez preparat cu silicat de sodiu și întărire cu bioxid de carbon.

Temperatura de turnare se măsoară cu pirometrul optic și se recomandă să se situeze în intervalul 1.460 ... 1.470°C.

Turnarea se face în mod continuu până la umplerea camerei de reacție și a pâlniei de turnare, însă, numai în circumstanțele în care forma este prevăzută cu greutate de balastare.

Canalul de aerisire (5) are și rol didactic pentru ca să se observe ușor momentul final al reacției de modificare – dispariția fenomenului de luminiscentă cauzat de oxidarea vaporilor de magneziu.

Se recomandă folosirea modificatorului cu următoarea compoziție chimică: 9,4% Mg, 48% Si, 1,8% Ca, 1,4% Al și în rest Fe până la 100% (modificatorul poate conține și mai puțin magneziu dar nu mai puțin de 4%).

Calitatea fontei ce se supune modificării este cea prezentată la lucrarea F1.

Fonta ajunsă în camera de reacție se modifică datorită contactului cu modificatorul pe bază de magneziu (4). Deoarece alimentatorul cavității formei este obturat de miez, în timpul turnării, nivelul băii metalice în camera de reacție crește, după terminarea turnării având loc un proces de omogenizare chimico-termică datorită curenților de convecție și un proces de separare la suprafața băii metalice a incluziunilor nemetalice exogene, dar parțial, și endogene.

După terminarea reacției de modificare, se menține fonta lichidă modificată în camera de reacție timp de circa 15 s după care alimentatorul cavității formei (13) se dezobturează prin acționarea manuală a tije (8) din exterior. În felul acesta, fonta lichidă modificată trece în cavitatea formei (12).

După răcire, dezbatere și curățire a piesei turnate se prelevează cele opt probe cu diametrul de 20 mm și lungimea de 25 mm prin lovituri de ciocan.

Cele opt probe prelevate se inscripționează cu ajutorul poansoanelor după care se pregătesc pentru analiza metalografică în variantele cu și fără atac cu reactiv chimic metalografic.

Din surplusul de fontă nemodificată se toarnă o probă pană din care se prelevează o probă pentru comparație din punctul de vedere al structurii metalografice cu probele de fontă modificată.

4. Măsurile specifice de asigurare a securității muncii

Ca măsură specifică de asigurare a securității muncii se precizează obligativitatea balastării formei înainte de turnare.

Celelalte măsuri de asigurare a securității muncii sunt cu caracter general și sunt și cele ce se aplică în cazul lucrărilor F1 și C1.

5. Interpretarea rezultatelor

Se analizează gradul de uniformitate al modificării prin luarea în considerație a microstructurilor celor opt probe prelevate, în cazul în care respectivele probe nu sunt atacate cu reactivi chimici și sunt atacate cu reactivi chimici, la mărirea $\times 100$.

Se înregistrează toate microstructurile, fie prin listare pe imprimantă fie prin desenare de pe monitorul calculatorului sau monitorul cu care este dotat sistemul de analiză a microstructurii prin intermediul camerei de luat vederi.

Proba prelevată din fonta nemodificată se analizează în stările neatacată și atacată cu reactiv chimic și se consemnează concluziile în legătură cu transformările structurale ce au loc prin modificarea în formă.

6. Bibliografie

1. Sofroni, L., Ștefănescu, D.M. și Vincenz, C. Fonta cu grafit nodular. Editura Tehnică. București. 1978.
2. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;
3. Remondino, M. ș.a. Quality and economic aspects of in-mould iron treatment. 43-rd International Foundry Congress, 11, 1976;
4. Sofroni, L., Ripoșan, I., Brabie, V. și Chișamera, M. Turnarea fontei. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1985;
5. Stanciu, S. și Cojocaru-Filipiuc, V. Formă de turnare. Brevet de invenție România, nr. 116.058, 2000;
6. Cojocaru-Filipiuc, V. și Stanciu, S. Formă de turnare. Brevet de invenție România, nr.110.793, 1996;
7. Cojocaru-Filipiuc, V. Obtainment of Nodular Graphite Cast Iron by an In-Mould Modification Technology. La Metalurgia Italiana. nr. 4, 1994, p. 241...244;
8. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte—obținere. Editura Samia. Iași. 2003;
9. Cojocaru-Filipiuc, V. Rețea de turnare. Brevet de invenție România, nr. 108.157, 1994;
10. Cojocaru-Filipiuc, V. Az öntöttvas gömbösítő kezelése módosított beömlőrendszerben. Kohászat, nr. 5-6, 1997, p. 183...184.

F.3. Influența supraîncălzirii fontei în stare lichidă asupra structurii și caracteristicilor

1. Scopul

Implicațiile supraîncălzirii fontei în stare lichidă asupra calității fontei, la modul general diverse cazuri particulare și comparație practică a două structuri metalografice ale aceleiași fonte în situațiile supraîncălzită și nesupraîncălzită în stare lichidă.

2. Considerații generale

Prin supraîncălzire în stare lichidă se înțelege diferența dintre temperatura băii metalice și temperatura liniei lichidus corespunzătoare diagramei de echilibru.

Supraîncălzirea se exprimă prin gradul de supraîncălzire, se exprimă în °C, se notează cu ΔT_s și se calculează cu relația (1/F3).

$$\Delta T_s = T_s - T_L, \quad (1/F3)$$

în care, ΔT_s se exprimă în °C; T_s – temperatura topiturii metalice, în °C; T_L – temperatura liniei lichidus din diagrama de echilibru, în °C.

Gradul de supraîncălzire variază în practică în intervalul 150...450°C, [1].

Pentru fontele nealiate temperatura de supraîncălzire (temperatura topiturii metalice) se determină cu nomograma prezentată în figura 1/F3. Temperatura de supraîncălzire se determină în funcție de conținuturile de carbon și siliciu din baia metalică, în figura 1/F3 unindu-se printr-o dreaptă conținuturile de siliciu și carbon de pe cele două ordonate extreme. Punctul unde respectiva dreaptă întâlnește ordonata din mijloc definește temperatura de supraîncălzire. În exemplul dat în figura 1/F3, unui conținut de siliciu de 1,5% și unui conținut de carbon de 3,3% le corespunde o temperatură de supraîncălzire, T_s , de 1.460°C.

Implicarea temperaturii de supraîncălzire asupra structurii și proprietăților este strâns legată de structura fontei în stare lichidă.

Structura fontei în stare lichidă diferă după cum temperatura are valori în apropierea liniei lichidus sau mai mari decât aceasta.

În domeniul de temperaturi din apropierea temperaturii corespunzătoare liniei lichidus structura fontei este cea specifică unei soluții coloidale. Soluția coloidală are ca matrice lichidă o soluție de 1...2% C în Fe iar ca fază dispersă pachete cristaline de grafit cu dimensiuni de maximum 100 Å, [2].

Caracterul de soluție coloidală conferă topiturii metalice considerația de topitură eterogenă.

Topitura eterogenă conține grafit remanent.

Fontele industriale conțin pe lângă grafitul remanent și compuși chimici simpli sau complecși (compuși ce respectă legea valenței) și compuși intermetalici (compuși ce nu respectă legea valenței).

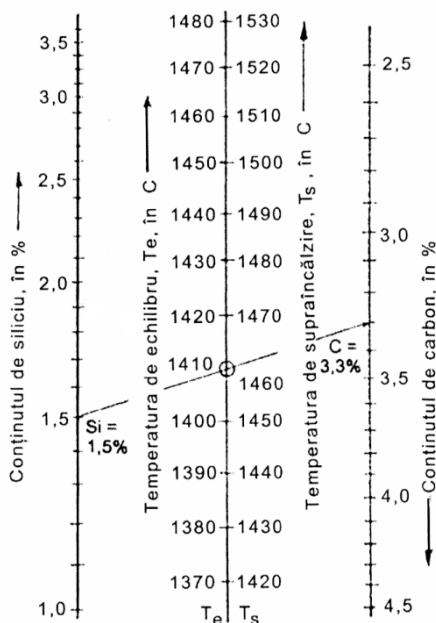


Figura 1/F3. Nomogramă pentru determinarea temperaturii de supraîncălzire a fontei, în stare lichidă, în cazul absenței alierii.

În jurul grafitului remanent viscozitatea topiturii metalice este mai mică decât viscozitatea topiturii metalice din zonele mai îndepărtate de grafitul remanent, ceea ce ar justifica de ce grafitul remanent are o viteză de ascensiune în matricea lichidă mai mare decât cea corespunzătoare legii lui Stokes.

Se consideră că aspectul de soluție coloidală – topitură eterogenă – se întâlnește până la temperaturi din intervalul 1.400...1.410⁰C.

În cazul în care temperatura fontei lichide depășește intervalul menționat anterior, soluția coloidală se transformă în soluție ideală – fonta devine o topitură omogenă.

Soluția ideală este formată din grupări de particule într-o matrice metalică lichidă. Grupările de particule nu reprezintă faze termodinamice bine determinate deoarece particulele respective pot părăsi grupările, trecând într-o stare de mișcare haotică. În același timp, particule cu regim de mișcare total haotică trec în grupările de particule, [3], [4]. O dată cu creșterea temperaturii se mărește numărul de particule ce se mișcă haotic și, în același timp, se schimbă și tipul de ordine din gruparea de particule – în centrul acesteia, la temperaturi apropiate de valorile de demarcație ale celor două tipuri de soluții, ordinea este apropiată (de același ordin de mărime cu cel întâlnit la starea solidă) iar înspre marginea acesteia ordinea apropiată se micșorează. La temperaturi apropiate de cea critică, orice aranjament ordonat de particule dispare, ordinea apropiată dispare iar distribuția particulelor devine haotică.

Cu cât fonta conține mai multe elemente chimice, cu atât dizolvarea pachetelor de grafit este mai dificilă. De exemplu, în cazul sulfurii, se constată adsorbția atomilor pe suprafața pachetelor de grafit și, astfel, mărirea stabilității

respectivelor pachete. Așa, chiar și în cazul unor supraîncălziri avansate (de exemplu, 1.500°C), dacă fonta conține $0,10...0,15\% \text{S}$, se constată existența separărilor de grafit remanent. Grupările de particule poartă denumiri diverse în literatura de specialitate – “clastări”, sibotaxisuri sau chiar “cvasicristale”, [5], [4], [6].

Dizolvarea separărilor de grafit remanent în matricea metalică lichidă se realizează și în timpul menținerii fontei în stare lichidă, indiferent de valoarea temperaturii de supraîncălzire. Astfel, de exemplu, pentru o fontă cu $4,14\% \text{C}$ și $1,04\% \text{Si}$, la temperatura de supraîncălzire de 1.220°C , mărimea separărilor de grafit remanent este de $180...190 \text{ \AA}$, la scurt timp după topire, pentru ca după $5...6$ ore de menținere la această temperatură mărimea să scadă la jumătate iar grafitul remanent să dispară după o menținere de $10...12$ ore.

Pragul de temperatură dintre soluția eterogenă și soluția omogenă depinde de mărimea carbonului echivalent – se mărește o dată cu aceasta.

Temperatura la care soluția eterogenă se transformă în soluție omogenă, în timpul încălzirii, este mai mare decât temperatura la care soluția omogenă se transformă în soluție eterogenă, în timpul răcirii, din cauza cineticii dizolvării grafitului și a separării lui în solvent.

O parte din grafitul remanent se separă la suprafața băii metalice, ceea ce ar justifica dispariția grafitului respectiv după perioada de menținere în stare lichidă a fontei nu prea mari – fenomenul mai poartă denumirea de flotarea grafitului și este foarte accentuat în cazul în care grafitul este nodular (viscozitatea solventului la limita cu grafitul nodular este mai mică decât viscozitatea solventului de la limita cu grafit lamelar).

În cazul soluției omogene s-a constatat existența unor combinații carbonice cu fierul, de tipul Fe_xC_y , aceste combinații nefiind, însă, faze termodinamice, așa cum sunt grupările de grafit remanent din soluția eterogenă. Se apreciază că în cazul temperaturilor mai mari de 1.550°C , combinațiile carbonice cu fierul devin instabile, așa încât denumirea de soluție omogenă este pe deplin justificată.

Prezența magneziului în fonta lichidă determină dezagregarea pachetelor de grafit remanent, așa încât dizolvarea grafitului remanent în matricea metalică lichidă este accelerată, [2].

Analiza unor proprietăți ale topiturii metalice a condus la următoarele concluzii:

- proprietățile topiturii metalice depind de “trecutul” ei, adică, în cazul în care compoziția chimică, conținutul de gaze și conținutul de incluziuni nemetalice sunt aceleași pentru toate probele, totuși, proprietățile probelor depind de tipul materialelor din care a fost alcătuită încărcătura metalică precum și de condițiile de topire;

- instabilitatea în timp a proprietăților și a structurii ordinii apropiate. O dată cu menținerea în stare lichidă, instabilitatea menționată dispare. Dacă temperatura de supraîncălzire nu este mare, durata de menținere în stare lichidă necesară eliminării instabilității menționate este mare – mai mare chiar decât durata obișnuită de elaborare de câteva ori. Dacă menținerea în stare lichidă se realizează la temperaturi de supraîncălzire mari, instabilitatea în discuție dispare

relativ rapid. Se apreciază că eliminarea rapidă a instabilității proprietăților se realizează și prin agitarea intensă a topiturii metalice;

– histerezisul proprietăților. Se constată lipsa de coincidență a proprietăților determinate la încălzirea probelor până la temperaturi situate în intervalul 1.700...1.900°C cu acelea determinate la răcirea probelor (de exemplu, densitatea).

Se apreciază drept cauză pentru cele trei manifestări menționate anterior, referitoare la proprietăți, starea de neechilibru microscopic a topiturilor metalice și mai puțin variația în timp a unor impurități (volatilizarea treptată etc.) sau interacțiunea topitură metalică-căptușeală refractară. Trecerea de la starea de neechilibru microscopic la starea de echilibru microscopic se realizează prin menținerea topiturii metalice la temperaturi de supraîncălzire mari și cu atât mai ușor cu cât topitura este agitată mai puternic – de aici rezultă că din acest punct de vedere, cuptorul electric cu încălzire prin inducție este cel mai indicat pentru elaborarea fontei și pentru elaborarea metalelor și aliajelor metalice, în general.

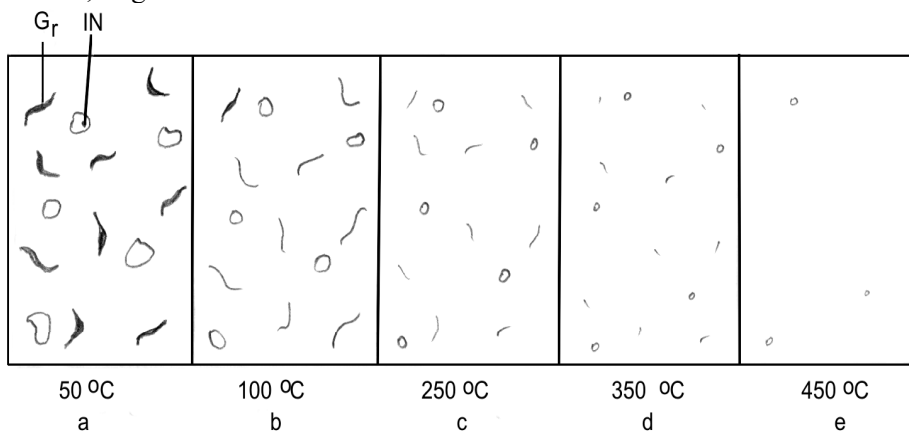


Figura 2/F3. Schema influenței gradului de supraîncălzire asupra structurii fontei lichide fără a lua în considerație natura matricei metalice. G_r – grafit remanent; IN – incluziuni nemetalice.

O dată cu mărirea gradului de supraîncălzire $-\Delta T_s$, pe lângă dizolvarea pachetelor de grafit remanent, are loc și dizolvarea unor compuși chimici și intermetalici, ceea ce înseamnă că supraîncălzirea este un mijloc de purificare a topiturii metalice. În figura 2/F3 se prezintă schema influenței gradului de supraîncălzire asupra conținutului de grafit remanent (G_r) și de incluziuni nemetalice (IN), fără a se lua în considerație matricea metalică. Se observă că la un grad de supraîncălzire de 450°C, grafitul remanent dispare din structură – a fost dizolvat sau s-a separat la suprafața topiturii metalice. Pe măsură ce se mărește gradul de supraîncălzire, dimensiunile separărilor de grafit remanent și de incluziuni nemetalice se micșorează, ceea ce înseamnă că în procesul de cristalizare se vor obține separări de grafit mai fine iar cristalizării eterogene în este luat locul, treptat, de cristalizarea omogenă – în locul germenilor forțați de cristalizare apar germenii instantanei de cristalizare. Așa, în locul grafitului

grosolan din figura 3/F3, reprezentat în secvența a), se obține grafit fin, conform secvențelor b) și c).

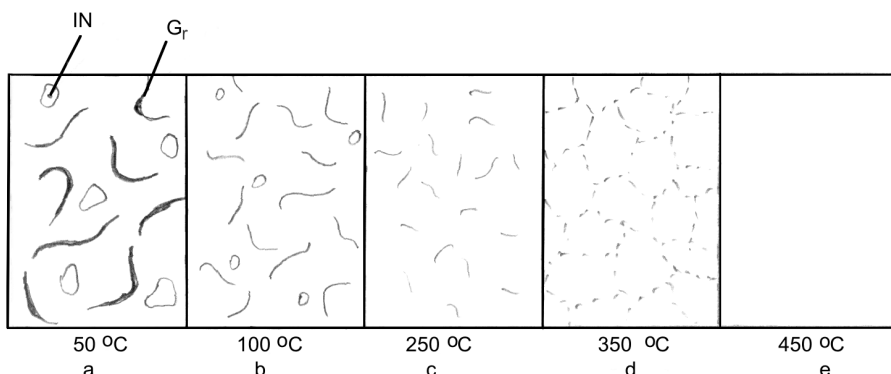


Figura 3/F3. Schema influenței gradului de supraîncălzire asupra structurii secundare a fontei, fără a se lua în considerație natura matricei metalice. Gr – grafit remanent; IN – incluziuni nemetalice.

O dată cu mărirea gradului de supraîncălzire are loc și mărirea gradului de subrăcire, adică, la răcire, transformările structurale nu mai au loc la temperaturile corespunzătoare diagramei de echilibru. Așa, de exemplu, transformarea eutectică nu mai are loc la temperatura de 1.154°C , în cazul fontei cenușii, ci la o temperatură inferioară acestuia și cu atât mai mică cu cât gradul de supraîncălzire este mai mare. În felul acesta, cristalizarea omogenă devine din ce în ce mai predominantă în raport cu cristalizarea eterogenă, mărindu-se numărul de celule eutectice și, astfel, micșorându-se lungimea și grosimea lamelor de grafit, de exemplu, în paralel cu mărirea numărului de separări de grafit – grafitul finisându-se. În figura 3/F3, se observă finisarea grafitului în secvența b) în raport cu a) și în secvența c) în raport cu b), pe măsură ce gradul de supraîncălzire s-a mărit.

În sistemul de cristalizare stabil un mare rol îl are grafitul remanent prin mărirea separărilor și prin numărul de separări. Astfel, prin mărirea gradului de supraîncălzire, în paralel cu micșorarea cantității de grafit remanent are loc micșorarea numărului de separări de grafit remanent, ceea ce înseamnă că la transformarea eutectică vor fi mai puțini germeni de cristalizare a celulelor eutectice, având în vedere că germenele de celulă eutectică este grafitul din care se dezvoltă radial (crește radial) separările de grafit eutectic, dacă grafitul este lamelar (dacă grafitul este nodular, de exemplu, din germenele de grafit se va dezvolta grafitul nodular). Prin urmare, pe măsură ce numărul de separări de grafit remanent se micșorează, o dată cu mărirea gradului de supraîncălzire, se micșorează numărul de celule eutectice. La o valoare critică a gradului de supraîncălzire începe să predomine cristalizarea omogenă, adică se mărește numărul de germeni de grafit datorati intensificării fluctuației atomilor de carbon, rezultatul fiind mărirea numărului de celule eutectice. Așadar, până la o valoare critică a gradului de supraîncălzire numărul de celule eutectice se micșorează o dată cu mărirea gradului de supraîncălzire, iar pentru valori ale

gradului de supraîncălzire mai mari decât valoarea critică, numărul de celule eutectice crește o dată cu mărirea gradului de supraîncălzire – figura 4/F3. În figura 4/F3, până la valoarea critică a gradului de supraîncălzire $-\Delta T_{s\text{cr}}$ – numărul de celule eutectice (CE) se micșorează, după care, la valori mai mari decât $\Delta T_{s\text{cr}}$ se mărește.

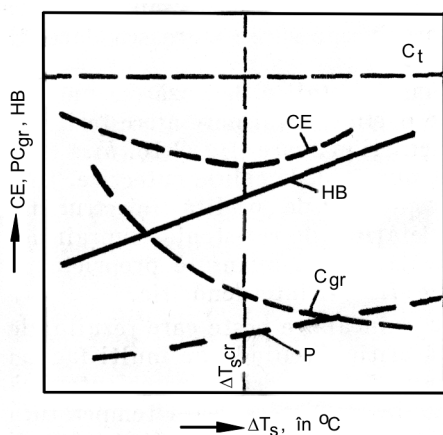


Figura 4/F3. Influența principală a gradului de supraîncălzire a fontei în stare lichidă asupra numărului de celule eutectice, cantității de perlită, cantității de carbon sub formă de grafit și durității. CE – numărul de celule eutectice; P – cantitatea de perlită, în %; C_{gr} – cantitatea de carbon sub formă de grafit, în %; HB – duritatea; C_t – carbonul total, în %; ΔT_s – gradul de supraîncălzire, în °C; $\Delta T_{s\text{cr}}$ – gradul de supraîncălzire critică, în °C.

Pe măsură ce cantitatea de grafit remanent se micșorează, se micșorează și influența grafitizantă a acestuia asupra cristalizării fontei, ceea ce înseamnă mărirea durității fontei (HB în figura 4/F3).

Supraîncălzirea are influență semnificativă și asupra transformărilor structurale din starea solidă a fontei, în timpul răcirii. Concret, o dată cu mărirea gradului de supraîncălzire are loc mărirea gradului de subrăcire și la transformările de la temperaturi subeutectice. Creșterea gradului de subrăcire la transformarea eutectoidă are ca rezultat mărirea stabilității austenitei, frânarea procesului de difuzie a carbonului și, astfel, favorizarea separării perlitite – supraîncălzirea este factor perlitizant. De aceea, în cazul în care se cere obținerea matricelor metalice perlitice sau preponderent perlitice direct din turnare, se recomandă mărirea gradului de supraîncălzire. În figura 4/F3 se observă mărirea cantității de perlită din matricea metalică (P) o dată cu mărirea gradului de supraîncălzire, în cazul unei fontei cenușii.

Mărirea gradului de subrăcire o dată cu mărirea gradului de supraîncălzire înseamnă micșorarea în intensitate a procesului de difuzie a carbonului, atât în matricea metalică lichidă cât și în matricea metalică solidă. Deoarece separarea grafitului și creșterea lui înseamnă difuzia atomilor de carbon prin fondul metalic, rezultă că o dată cu mărirea gradului de supraîncălzire separarea și creșterea grafitului sunt frânate, adică proporția de grafit din structura metalografică se micșorează – figura 4/F3, C_{gr} . În circumstanțele în care carbonul total – C_t , figura 4/F3 – este constant, indiferent de mărirea gradului de supraîncălzire, rezultă că în paralel cu micșorarea cantității de grafit are loc mărirea cantității de carbon sub formă de cementită

sau chiar sub formă de soluție – în cel de-al doilea caz este vorba despre fonta cenușie feritică.

Există două valori critice ale gradului de supraîncălzire. La prima valoare critică a gradului de supraîncălzire în structura metalografică apare cementita liberă, adică fonta se obține pestriță – nu cenușie. La a doua valoare critică a gradului de supraîncălzire în structura metalografică nu se mai obține grafit – fonta obținută este albă (fonta cristalizează în totalitate în sistemul metastabil fier-carbon). Așadar, în practică trebuie cunoscute cele două valori critice ale gradului de supraîncălzire, în caz contrar riscându-se creșterea cheltuielilor pentru corectarea structurii metalografice prin tratament termic sau chiar rebutarea întregii șarje. În cadrul aceleiași compoziții chimice (în realitate există schimbări nesemnificative în condiții industriale de elaborare), supraîncălzirea poate dicta sistemul de cristalizare a fontei – stabil (fontă cenușie) sau metastabil (fontă albă). În condiții industriale, valorile critice ale gradului de supraîncălzire trebuie corelate cu ceilalți factori ce influențează transformările structurale.

Dispariția din matricea metalică lichidă a grafitului remanent reprezintă pericolul ca fonta să cristalizeze în sistemul metastabil chiar dacă structura este finisată într-o măsură avansată. În acest caz, cu scopul ca să se beneficieze de influența supraîncălzirii avansate, fonta este inoculată – este tratată cu elemente puternic grafitizante numite inoculanți dar și modificatori. În practică, se utilizează materiale inoculante puternic grafitizante, cum ar fi FeSi75, SiCa, grafit pur, FeSiCaZr, SiCaZr etc. Utilizarea, de exemplu, a 0,05...0,10% FeSi75, prin adăugare pe jet în timpul evacuării fontei din agregatul de elaborare, cu granulația de 1...10 mm, elimină riscul de albire a fontei chiar și în peretii subțiri ai pieselor, [7]. În figura 3/F3, în secvența e), se sesizează obținerea unei structuri specifice fontei albe – lipsește grafitul.

În cazul fontei cenușii, există un prag critic pentru gradul de supraîncălzire ce determină mărirea gradului de subrăcire, astfel, încât, la transformarea eutectică, faza determinantă devine austenita eutectică ce se contopește cu dendritele de austenită primară, la limita agregatelor complexe de dimensiuni mari separându-se grafitul eutectic interdendritic – figura 3/F3, d). Grafitul interdendritic determină izolații de porțiuni din matricea metalică, ceea ce înseamnă că rezistența la tracțiune se micșorează (grafitul interdendritic poate fi lamelar dar și punctiform dacă supraîncălzirea este foarte mare).

Datorită finisării structurii, mării numărului de celule eutectice și mării cantității de perlită, supraîncălzirea determină mărirea rezistenței la tracțiune, însă, numai până la valoarea critică ce corespunde separării în structură a grafitului interdendritic. Dacă se mărește gradul de supraîncălzire peste valoarea critică corespunzătoare apariției în structură a grafitului interdendritic, rezistența la tracțiune se micșorează. Pentru trei fonte cenușii ce conțin 2,4% C, 3,0% C și 3,6% C se prezintă în figura 5/F3 variația rezistenței la tracțiune, R_m , cu temperatura de supraîncălzire, în variantele neterminate și modificate cu FeSi75. Se observă pragurile critice ale temperaturii de supraîncălzire, începând de la care rezistența la tracțiune se micșorează pe măsură ce supraîncălzirea avansează. Din figura 5/F3 se observă că pe măsură ce

crește conținutul de carbon din fontă se micșorează rezistența la tracțiune din cauza mării cantității de grafit, adică din cauza micșorării suprafeței matricei metalice. Utilizarea acelor domenii hașurate din figura 5/F3 arată creșterea semnificativă a rezistenței la tracțiune prin inoculare cu FeSi75 pentru fontele cenușii cu 2,4%C, respectiv 3,6% C.

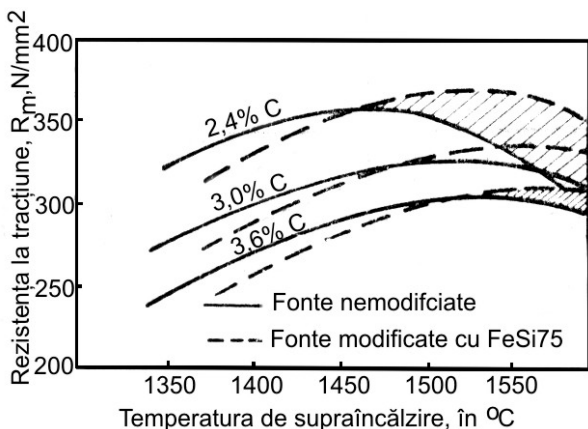


Figura 5/F3. Variația rezistenței la tracțiune cu temperatura de supraîncălzire pentru trei fonte cenușii, în variantele neinoculate (curbele continue) și inoculate cu FeSi75 (curbe discontinue). Domeniile hașurate cu frecvență mică și mare reprezintă mărirea rezistenței la tracțiune pentru fontele cu 2,4% C, respectiv 3,6% C.

Mărirea gradului de subrăcire o dată cu mărirea gradului de supraîncălzire este cu atât mai accentuată cu cât fonta inițială este mai pură și are conținutul de siliciu mai mic.

Efectele obținute prin supraîncălzire nu pot fi eliminate dacă se realizează menținerea fontei în stare lichidă, ulterior, la temperaturi de supraîncălzire mai mici – efectele supraîncălzirii sunt ireversibile.

Dacă o fontă se retopește de mai multe ori, se obțin efectele similare ale supraîncălzirii.

În cazul fontei albe, supraîncălzirea, indiferent de mărimea ei, conduce la mărirea numărului de colonii eutectice, la mărirea gradului de dispersie al perlitului și, deci, la mărirea rezistenței la tracțiune, în paralel cu mărirea dunității.

Pentru fontele nealiate, pe lângă metoda de determinare, a temperaturii de supraîncălzire cu nomograma din figura 1/F3, se poate utiliza și relația 2/F3, [8].

$$T_s = 1.685 - 242 Sc \pm 3, \quad (2/F3)$$

în care T_s – temperatura de supraîncălzire, în °C; Sc – gradul de saturație al fierului în carbon (se calculează cu relația 3/F3).

$$Sc = C_t / C_e, \quad (3/F3)$$

în care C_t – carbonul total (cel ce se determină pe cale chimică, de exemplu), în %; C_e – carbonul eutectic, în % (se calculează cu relația 4/F3).

$$C_e = C_c - 0,3 (Si+P) - 0,4 S + 0,03 Mn - (4,7...6,6)N - 0,11 Cu - 0,05 Ni + 0,075 Cr + 0,15 Ti + 0,10 V - 0,22 Al - 0,115 Sb - 0,11 Sn - 0,026 Co + 0,015 Mo + etc., \quad (4/F3)$$

în care C_c – conținutul de carbon corespunzător punctului C din diagrama Fe-C (sistemul stabil sau sistemul metastabil, după caz), în %; simbolurile elementelor chimice reprezintă cantitățile de elemente chimice respective din fontă, în %, [7].

Gradul de saturație al fierului în carbon, Sc , variază în practică (pentru fontele tehnice) în intervalul 0,7...1,2.

La modul general, temperatura de supraîncălzire trebuie să fie cu maximum 50°C peste temperatura de echilibru a reacției chimice de reducere a bioxidului de siliciu – reacția chimică (5/F3).



Temperatura de echilibru a reacției chimice (5/F3) face referință, în principal, la reacția chimică (6/F3) și se poate determina cu nomograma din figura 6/F3, în funcție de conținuturile de siliciu și de carbon din fonta lichidă sau cu nomograma din figura 1/F3 (pe ordonata din mijloc este reprezentată, pe lângă temperatura de supraîncălzire, și temperatura de echilibru a reacției chimice (6/F3)).

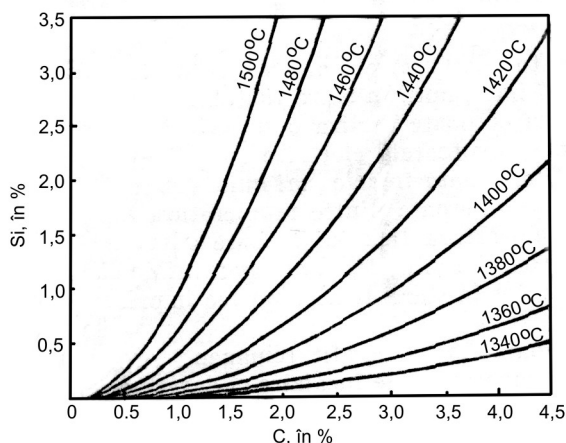
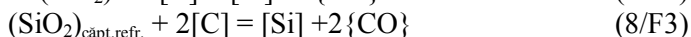


Figura 6/F3. Nomogramă pentru determinarea temperaturii de echilibru a reacției chimice $[\text{SiO}_2] + 2[\text{C}] = [\text{Si}] + 2\{\text{CO}\}$, în funcție de conținuturile de carbon și siliciu din fonta lichidă nealiată.

Reacția chimică (5/F3) se manifestă în cazul supraîncălzirii fontei și sub forma reacțiilor chimice (7/F3) și (8/F3).



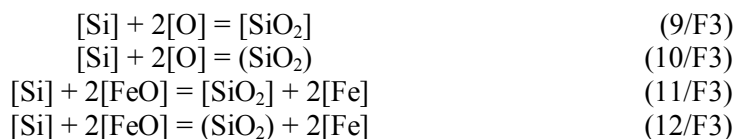
Reacțiile chimice (7/F3) și (8/F3) au loc doar în cazul în care SiO_2 din zgură și din căptușeala refractară este în stare liberă – nelegat chimic.

În cazul particular al reacției chimice (7/F3), pe lângă condiția

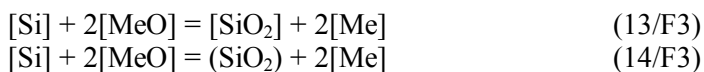
prezentată la aliniatul precedent, se impune și o viscozitate mică a zgurei, adică se impune ca zgura să fie activă din punct de vedere metalurgic.

Deoarece temperatura de supraîncălzire este mai mare decât temperatura de echilibru a reacției chimice (6/F3), înseamnă că la temperatura de supraîncălzire a fontei în stare lichidă reacția chimică (6/F3) se desfășoară de la stânga spre dreapta, această situație însemnând micșorarea conținutului de carbon din topitura metalică și mărirea conținutului de siliciu din aceeași topitură metalică. Așadar, supraîncălzirea înseamnă și afectarea compoziției chimice a fontei lichide. Având în vedere că proporția de SiO₂ din topitura metalică este mică, rezultă că are loc o variație nesemnificativă a compoziției chimice.

Dacă se face referință la reacțiile chimice (6/F3) și (7/F3), rezultă că în timpul încălzirii fontei în stare lichidă, până la temperatura de echilibru, are loc oxidarea siliciului conform reacțiilor chimice (9/F3), (10/F3), (11/F3) și (12/F3).



În timpul încălzirii, siliciul din topitura metalică se poate oxida și conform reacției chimice (13/F3) și (14/F3).



Reacțiile chimice (9/F3)...(14/F3) au loc cu atât mai mult cu cât o dată cu supraîncălzirea în stare lichidă are loc și dizolvarea de oxigen în topitura metalică din incinta agregatului de elaborare.

Reacțiile chimice (9/F3), (11/F3) și (13/F3) sunt utile deoarece bioxidul de siliciu din topitura metalică reprezintă centri suplimentari de cristalizare eterogenă, adică determină finisarea structurii fontei. Înșă, pe de altă parte, aceleași reacții chimice, alături de reacțiile chimice (10/F3), (12/F3) și (14/F3), conduc la micșorarea conținutului de siliciu din topitura metalică.

În cazul temperaturilor de supraîncălzire mai mari decât temperatura de echilibru a reacției chimice (5/F3), reacția chimică (6/F3) se desfășoară de la stânga spre dreapta iar dacă există condiții de desfășurare și a reacțiilor chimice (7/F3) și (8/F3), se poate afirma că în cazul supraîncălzirii până la temperatura de echilibru are loc oxidarea siliciului iar în cazul supraîncălzirii la temperaturi mai mari decât temperatura de echilibru, are loc creșterea conținutului de siliciu din topitura metalică în paralel cu micșorarea conținutului de carbon din aceeași topitură metalică. În cazul în care se desfășoară semnificativ reacția chimică (8/F3) și dacă agregatul de elaborare dispune și de o cantitate suplimentară de zgură acidă (de exemplu, în cazul cubiloului, intervine o cantitate suplimentară de zgură acidă, bogată în SiO₂ ce provine din cenușa rezultată prin arderea

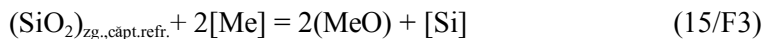
coșului de turnătorie) – se desfășoară și reacția chimică (8/F3) – are loc, la o cotă semnificativă, regenerarea siliciului în topitura metalică, ceea ce înseamnă schimbarea compoziției chimice a fontei, adică schimbarea proprietăților acesteia.

Desfășurarea reacțiilor chimice (6/F3), (7/F3) și (8/F3), în timpul supraîncălzirii topiturii metalice, înseamnă eliminarea din baia metalică a monoxidului de carbon, adică înseamnă eliminarea din aceasta a oxigenului. Prin urmare, în timpul supraîncălzirii se realizează și dezoxidarea fontei lichide.

Eliminarea bulelor de CO din topitura metalică ca urmare a desfășurării reacțiilor chimice (6/F3), (7/F3) și (8/F3), reprezintă fierberea fontei, fierbere sesizabilă în cazul elaborării în cuptoarele electrice etc.

Pentru a se evita efectele negative ale supraîncălzirii, după ce se atinge temperatura de supraîncălzire, urmează menținerea în stare lichidă o perioadă de 15...30 minute, după care se refac germeții de SiO₂ ce au fost distruși ca urmare a desfășurării reacției chimice (6/F3). Refacerea germeților de SiO₂ are la bază oxidarea siliciului din topitura metalică cu oxigenul disponibilizat din baia metalică ca urmare a răcirii brusce a acesteia (la modul general, în timpul încălzirii băilor metalice are loc dizolvarea de gaze iar în timpul răcirii acestora are loc fenomenul de degazare – micșorarea conținutului de gaze). Micșorarea bruscă a temperaturii topiturii metalice se realizează în practică prin introducerea în aceasta de bucăți metalice – de preferință, deșeuri de oțel – sau prin turnarea în oale de turnare reci. Surplusul de oxigen ce apare în afara echilibrului la temperatura la care s-a făcut răcirea bruscă (temperatura la care se face răcirea bruscă trebuie să fie mai mică decât temperatura de echilibru) intră în reacție cu siliciul din topitura metalică, conform reacțiilor chimice (9/F3) și (11/F3), ceea ce înseamnă refacerea germeților de SiO₂ din baia metalică. Însă, desfășurarea reacțiilor chimice (9/F3) și (11/F3) au loc cu micșorarea conținutului de siliciu din topitura metalică, ceea ce reprezintă un inconvenient. De aceea, în practică se recomandă ca răcirea bruscă în agregatul de elaborare să fie precedată de introducerea în topitura metalică de FeSi (rezultatele cele mai bune se obțin cu FeSi75) sau SiCa, în cantitate de 0,1...0,6% și cu mărimea granulelor de 1...5 mm. Dacă răcirea bruscă se realizează prin turnare în oale de turnare reci, FeSi sau SiCa se introduc în jetul de metal în timpul evacuării din agregatul de elaborare. Se recomandă ca temperatura la care se face răcirea bruscă să fie cu 50⁰C sub temperatura de echilibru.

Cu cât temperatura de supraîncălzire a topiturii metalice este mai mare decât temperatura de echilibru, cu atât conținutul de siliciu din baia metalică crește mai mult și cu atât proprietățile fontei obținute se schimbă mai mult, dacă se are în vedere și desfășurarea unor reacții chimice de tipul (15/F3).



în care zg. reprezintă zgura iar căpt. refr. reprezintă căptușeala refractară (la fel ca în cazul reacției chimice (8/F3)).

Desfășurarea reacției chimice (8/F3), cu atât mai mult cu cât temperatura de supraîncălzire este mai mare decât temperatura de echilibru,

denotă surplus de atenție ce trebuie acordată elaborării în cuptoarele electrice cu încălzire prin inducție din cauza pericolului pe care îl reprezintă micșorarea grosimii căptușelii refractare.

Fontele înalt aliate cu siliciu se elaborează, de preferință, în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid, și se supraîncălesc la o temperatură situată în intervalul 1.650...1.700°C. Răcirea topiturii metalice până la temperatura de evacuare se realizează prin menținere sub un strat subțire de zgură ce se formează de la sine (zgura primară se evacuează din cuptor după ce se fluidifică prin adaos de calcar și atunci când temperatura de supraîncălzire se situează în intervalul 1.500...1.550°C), [9]. Cu cât temperatura de supraîncălzire este mai mare, cu atât caracteristicile mecanice de rezistență sunt mai bune datorită descompunerii hidrurilor de siliciu de tipul Si_2H_2 , Si_2H_6 și SiH_4 . În cazul temperaturilor de supraîncălzire mari se mărește solubilitatea carbonului în fontă (de exemplu, de la 0,7% la temperatura de 1.300°C, la 1,3% la temperatura de 1.700°C în cazul unei fonte cu 16% Si), se elimină riscul de separare a grafitului sub formă de fulgi ce micșorează compactitatea pieselor și se elimină sulful ce se află sub formă de SiS și SiS_2 prin volatilizare.

Temperatura de supraîncălzire a fontei aliate cu 28...32% Al este de maximum 1.450°C pentru evitarea formării carburilor grosolane Al_4C_3 .

Fontele înalt aliate cu aluminiu se recomandă să se elaboreze în cuptoare căptușite cu material refractar bazic deoarece la temperaturi specifice de supraîncălzire are loc reacția chimică (16/F3) ce determină mărirea conținutului de siliciu în fontă cu 2...3%, ceea ce la o fontă cu 19...25% Al înseamnă mărirea durității și fragilității. Reacția chimică (16/F3) are loc doar în cazul în care cuptorul electric cu încălzire prin inducție este căptușit cu cuarțită. Aceste fonte se aliază prin introducerea de aluminiu, sub formă de porții, în baia metalică supraîncălzită la o temperatură situată în intervalul 1.450...1.520°C, după fiecare adăugare de porție baia metalică supraîncălzindu-se la temperatura de 1.450...1.520°C.

Fontele înalt aliate cu nichel, în vederea tratării cu modificator NiMg, cu scopul obținerii grafitului nodular, se supraîncălesc la o temperatură de 1.450...1.500°C.

Fontele aciculare mediu aliate cu nichel și molibden se supraîncălesc ca și fontele nealiate.

3. Modul de lucru

Fonta se elaborează într-un cuptor electric cu încălzire prin inducție cu capacitatea de maximum 30 kg de fontă, de medie frecvență.

Se utilizează în încărcătură doar fontă brută cenușie de compoziție chimică cunoscută.

Se calculează temperatura de supraîncălzire cu nomograma din figura 1/F3 sau cu relația (2/F3).

Temperatura topiturii metalice se determină cu pirometrul optic.

Atunci când temperatura topiturii metalice este de circa 1.200°C , se prelevează o probă ce se toarnă sub formă de probă pană (proba I).

Proba II se prelevează la temperatura de circa 1.300°C , de asemenea, turnarea efectuându-se sub formă de probă pană.

Proba III se prelevează la temperatura de supraîncălzire, după menținere la această temperatură timp de circa 10 minute, cu inductorul cuplat la generatorul de frecvență și, apoi, după menținere în stare lichidă timp de circa 5 minute cu inductorul decuplat de la generatorul de frecvență. Proba III se toarnă, de asemenea, sub formă de probă pană.

Din probele pană se prelevează câte o probă necesară analizei structurii metalografice, în variantele cu și fără atac cu reactivi chimici, dar, numai după ce probele pană au fost secționare și au fost analizate macroscopic (sau măsurat lungimile zonelor albe, peștrite și cenușii).

4. Măsurile speciale de asigurare a securității muncii

Oala de turnare trebuie să fie obligatoriu preîncălzită.

Secționarea probelor pană se face într-un spațiu protejat de un paravan metalic, cu un ciocan mare fără defectiuni și prin purtarea obligatorie de ochelari de protecție.

Măsurile obișnuite de asigurare a securității muncii sunt cele specifice elaborării în cuptoare cu inducție și turnării în forme temporare – lucrările F4 și C1.

5. Interpretarea rezultatelor

Se trec datele referitoare la lungimea zonelor din secțiunea probelor pană într-un tabel și se trag concluzii referitoare la implicarea temperaturilor de supraîncălzire.

Se analizează la microscop probele prelevate, se desenează structurile la mărirea de circa $\times 100$ în variantele atacate și neatacate cu reactiv chimic și se trag concluzii privitoare la gradul de finețe al grafitului, cantitatea de grafit, proporția de perlită, gradele de dispersie ale perlitei, cantitatea de incluziuni nemetalice, geometria incluziunilor nemetalice și mărirea grăunților metalografici.

6. Bibliografie

1. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975.

2. Ripoșan, I. și Sofroni, L. Fonta cu grafit vermicular. Editura Tehnică. București. 1984.

3. Oprea, F., Taloi, D., Constantin, I. și Roman, R. Teoria proceselor metalurgice. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1978.

4. Dragomir, I. Teoria proceselor siderurgice. Editura didactică și pedagogică. București. 1985.

5. Tripșa, I., Oprea, F. și Dragomir, I. Bazele teoretice ale metalurgiei extractive. București. Editura Tehnică. 1967.
6. Baum, B.A. Topituri metalice – probleme și ipoteze. Traducere din limba rusă de Dragomir, I. București. Editura Tehnică. 1982.
7. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Editura Samia. Iași. 2003.
8. Sofroni, L., Ripoșan, I., Brădie, V. și Chișamera, M. Turnarea fontei. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1985.
9. Sofroni, L. și Ștefănescu, D.M. Fonte speciale. Editura Tehnică. București. 1974.

F.4. Elaborarea fontei în cuptoarele electrice cu încălzire prin inducție, fără miez (cu creuzet)

1. Scopul

Urmărirea fluxului tehnologic de elaborare a unei fonte și a conducerii elaborării din punct de vedere electric.

2. Considerații generale

În figura 1/F4 se prezintă schița unui cuptor cu inducție fără miez – cu creuzet, [1].

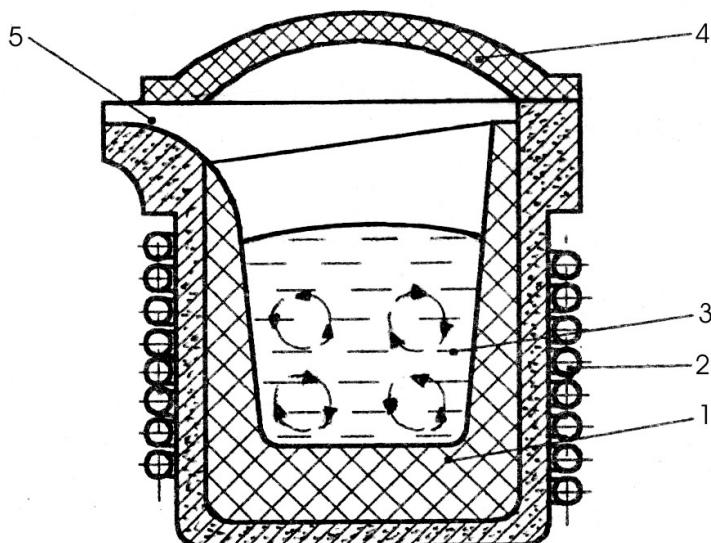


Fig.1/F4. Schița unui cuptor electric cu inducție fără miez – cu creuzet: 1 – creuzet; 2 – baie metalică; 3 – inductor; 4 – capac; 5 – jgheab de evacuare.

Avantajele unui cuptor cu încălzire prin inducție sunt următoarele:

- omogenitate chimică a fontei obținute foarte mare datorită procesului de amestecare electromagnetică;
- omogenitate termică a fontei lichide foarte mare;
- randament de asimilare mare a elementelor chimice introduse în baia metalică sau în încărcătura metalică solidă sub formă de materiale metalice de aliere dar și de materiale nemetalice (de exemplu, carbonul și siliciul din materialele de carburare, deșeurile de carbură de siliciu etc.);
- obținere de fontă lichidă cu temperatură mare;
- reglare facilă a temperaturii băii metalice;
- folosirea unei încărcături metalice foarte variate (inclusiv șpan);
- pierderile prin oxidare sunt mici – 0,5...3,0%;
- condițiile de muncă sunt foarte bune din punctul de vedere al

asigurării securității muncii;

- flexibilitate mare;
- nivelul de zgomot în funcționare este mic – 70...80 dB;
- se emite o cantitate mică de praf în mediul ambiant – 0,2...0,4 kg/t;
- adaptabilitate la elaborare în atmosferă depresurizată;
- se pretează pentru elaborarea fontei sintetice – se realizează o

carburare ușoară;

- se asigură viteze mari de topire;
- se asigură caracteristici mecanice de rezistență mai mari cu 15...20%

decât cele ale fontelor elaborate în alte agregate de elaborare folosite la scară industrială, în circumstanțele utilizării unei încărcături metalice indentice, însă pentru grade de supraîncălzire în stare lichidă de 150...200°C peste temperatura liniei lichidus a diagramei de echilibru termodinamic Fe-C;

– susceptibilitate la fisurare mai mică în cazul pieselor turnate, datorită conținutului de sulf mai mic, deoarece dispăre sursa suplimentară de sulfurare a fazei metalice cauzată de combustibil – cocsul de turnătorie, păcura, chiar electrozii de grafit etc.;

– gradul de albire a fontei de la piesele cu pereți subțiri se micșorează pentru fontele cu gradul de saturație în carbon cu valori cuprinse în intervalul 0,8...1,1, în comparație cu aceleași fonte obținute în cubilou. Astfel, se pot obține piese turnate cu pereți subțiri, din fontă cenușie, fără riscul de "albire";

– micșorarea proporției de piese rebutate datorită gradului mare de uniformitate al proprietăților fizico-mecanice;

– mărirea sensibilă a caracteristicilor de plasticitate ale fontei obținute, datorită micșorării conținutului de mangan ce în cazul fontei elaborate în cubilou trebuie să fie mai mare cu scopul contracarării efectului negativ al sulfului, sulf, ce la rândul lui, micșorează și el caracteristicile de plasticitate ale fontei;

– obținerea de conținuturi foarte mici de sulf și fosfor în cazul elaborării fontei sintetice (utilizându-se în încărcătură doar deșeuri de oțel);

– obținerea de conținuturi mici de incluziuni nemetalice în fonta obținută;

- eliminarea supraîncălzirilor locale ale băii metalice;

– obținerea de fontă cu grad mare de puritate;

– obținerea de fontă cu conținut mic de gaze – 50 ... 110 cm³/kg;

– se obține dizolvarea grafitului remanent;

– fonta se solidifică la un grad de subrăcire mare (mai mare cu 40...50°C decât în cazul cubiloului, ajungându-se la un grad de subrăcire cu valoarea maximă de 170°C);

– obținere de fontă cu o proporție de perlită mai mare în structură (cu o cantitate de carbon legat mai mare). De exemplu, valoarea carbonului legat într-o fontă sintetică, este mai mare cu 0,20...0,25% decât într-o fontă sintetică elaborată în cubilou, la aceeași compoziție chimică;

– obținerea de fontă cu un grad de dispersie al grafitului mare (fontă cu grad de finețe al grafitului mare – lungimea și grosimea separărilor de grafit mici). Explicația rezidă în conținutul de sulf mai mic din fontă. Sulful, ca

element superficial activ, micșorează tensiunea interfazică fontă lichidă-separare de grafit, ceea ce contribuie la formarea unor separări de grafit de dimensiuni mai mari. Absența cocsului de turnătorie (utilizat la cubilou), mărirea proporției de deșeuri de oțel din încărcătura metalică etc., determină obținerea unui conținut de sulf mai mic în fonta elaborată în cuptoarele cu inducție;

- obținerea de fontă din toată gama de mărci;
- obținerea de fontă cu fluiditate mare datorată gradului mare de supraîncălzire în stare lichidă și gradului mare de puritate etc;

- obținerea de compoziții chimice foarte precise – de exemplu, $\pm 0,08\%$ C, $\pm 0,06\%$ Si etc;

- eliminarea eredității metalurgice;

- conducerea foarte ușoară a tehnologiei de elaborare etc.

Avantajele elaborării fontei în cuptoarele cu inducție fără miez prezentate sunt motive suficiente în luarea deciziei de dotare a unei turnătorii cu un asemenea cuptor – există și argumente ce rezidă într-o analiză complexă în luarea unei asemenea decizii, date fiind și unele inconveniente ale elaborării fontei în asemenea cuptoare, dintre acestea prezentându-se următoarele:

- utilizarea de încărcături metalice cu conținuturi mici de P, S, gaze și incluziuni nemetalice;

- investiții, în general, mari – mai mari cu circa 40% decât investițiile pentru un cubilou și mai mari cu circa 17% decât investițiile pentru un cuptor electric cu încălzire prin arc electric, [2]. Cauza rezidă în costurile mari ale surselor de alimentare și ale bateriilor de condensatoare;

- condiții de calitate deosebite pentru materialele refractare ce alcătuiesc căptușeala refractară;

- antrenarea de zgură în baia metalică;

- solicitare mecanică puternică a căptușelii refractare;

- în cazul în care fonta conține o cantitate mare de elemente chimice antigrafitizante – de exemplu, cromul – există riscul de apariție în structură a cementitei libere din cauza valorii mari a gradului de subrăcire;

- risc mare de apariție în structură a grafitului interdendritic din cauza supraîncălzirii avansate și menținerii fontei în stare lichidă la temperaturi foarte mari;

- creșterea conținutului de crom din fonta obținută ca urmare a proporției mai mari de deșeuri de oțel din încărcătură etc.

În funcție de mărirea frecvenței curentului există cuptoare cu frecvența industrială (de exemplu, 50 Hz în Europa și 60 Hz în S.U.A. etc.), frecvența medie (100...10.000 Hz) și frecvența mare (10 kHz...10 MHz sau chiar mai mare).

Există mai multe criterii de clasificare a cuptoarelor cu inducție fără miez, dintre acestea amintindu-se următoarele: sursa electrică de alimentare (cicloconvertor cu tiristoare, multiplicator feromagnetic de frecvență, generator rotativ de medie frecvență, convertor cu tiristoare, multiplicator feromagnetic de frecvență, generator rotativ de medie frecvență, convertor cu tiristoare, generator ionic, generator electronic), schema de alimentare cu

energie electrică a inductorului (montaj trifazat și monofazat), natura atmosferei din spațiul de lucru (normală și depresurizată), natura chimică a căptușelii refractare (acidă, neutră și bazică), modul de răcire al inductorului (cu apă, cu aer, fără agent de răcire), tipul creuzetului (mobil și fix), procedeul de executare a creuzetului (uscat – folosește ca liant acidul boric – și umed – folosește ca liant un amestec de șamotă și silicat de sodiu), mecanismul de basculare (hidraulic și electromecanic), natura conductoarelor (rigide, flexibile și prize multiple), modul de golire (cu golire totală și cu golire parțială – cu baie metalică remanentă), sistemul de avertizare a străpungerii căptușelii de către metalul lichid (electrozi implantați, marcatori radioactivi etc.), geometria secțiunii transversale a inductorului (circulară, pătrată, elipsoidală, dreptunghiulară, dublu dreptunghiulară etc.), gradul de constantă al inductorului (număr de spire constant și variabil – este conform cu impedanța încărcăturii metalice), modul de evacuare a metalului din creuzet (prin basculare și prin orificiul amplasat la partea inferioară a creuzetului), gradul de constantă al frecvenței curentului (cu frecvență constantă și cu frecvență variabilă – frecvență medie în timpul topirii și frecvență industrială în timpul menținerii în stare lichidă a metalului) etc.

Cuptorul cu inducție fără miez – fig 1/F4 – 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.

Încărcătura metalică din creuzet reprezintă un secundar în scurt-circuit, ceea ce înseamnă mari pierderi de energie electrică, aceste pierderi reprezentând o mare cantitate de căldură ce se degajă, [3].

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).

Inductorul este alimentat cu curent alternativ și creează în jurul său un câmp electromagnetic variabil care induce în încărcătura metalică curenți turbionari – Foucault – care, prin efect Joule-Lentz, încălzesc încărcătura metalică, o topesc și o supraîncălzesc în stare lichidă.

Din cauza rezistenței electrice relativ mari la contactul dintre bucățile de metal ale încărcăturii metalice, curenții induși tind să se limiteze la fiecare bucată în parte.

Adâncimea de pătrundere a undelor electromagnetice în încărcătura metalică depinde de rezistivitatea electrică a încărcăturii (crește o dată cu aceasta) și de permeabilitatea magnetică relativă a încărcăturii împreună cu frecvența curentului (scade o dată cu creșterea acestora).

2.1. Fluxul tehnologic de elaborare a fontei

1. pregătirea încărcăturii;
2. pregătirea cuptorului cu inducție fără miez;
3. încărcarea;
4. topirea;
5. supraîncălzirea;
6. tratamente metalurgice ale băii metalice;
7. menținerea topiturii în creuzet cu inductorul scos din circuitul electric ;
8. evacuarea;
9. tratamente metalurgice ale fontei lichide în afara cuptorului cu inducție;
10. turnarea;
11. corectarea structurii metalografice prin tratament termic.

2.1.1. Pregătirea încărcăturii

Înainte de utilizare în încărcătură, fonta veche și deșeurile de oțel trebuie sortate din punctul de vedere al calității. Astfel, 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 (piesele emailate conțin bor, plumb, lagărele conțin arseniu, stibiu și plumb), 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 1/F4 se prezintă influența încărcăturii puternic oxidate asupra durabilității căptușelii acide.

Tabelul 1/F4

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

Mărimea bucăților metalice din încărcătură depinde de frecvența

curentului de alimentare a inductorului. În tabelul 2/F4 se prezintă dependența dintre mărimea minimă a bucăților de metal din încărcătură și frecvența curentului de alimentare.

Tabelul 2/F4

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 proeminente 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.

Încărcătura se poate utiliza la temperatura mediului ambiant și preîncălzită.

Se recomandă utilizarea încărcăturii preîncălzite, având în vedere următoarele efecte:

- eliminarea riscului de explozie. Acest risc există în cazul utilizării cuptoarelor ce funcționează la frecvența rețelei – asemenea cuptoare nu dispun de evacuarea completă a fontei din creuzet, în creuzet mai rămânând circa o treime din fonta elaborată. Astfel, umiditatea excesivă – ca de altfel și uleiurile, emulsiile etc. – este exclusă;

- eliminarea degajărilor de gaze ce are loc la introducerea încărcăturii metalice în baia remanentă la cuptoarele ce funcționează la frecvența rețelei, dar și în cazul în care cuptoarele funcționează cu frecvențe mari;

- mărirea productivității cuptorului cu inducție;

- micșorarea consumului de energie electrică necesară topirii încărcăturii metalice;

- mărirea durabilității căptușelii refractare datorită micșorării duratei de topire;

- încărcătura metalică se tasează în instalațiile de preîncălzire;

- eliminarea metalelor și aliajelor neferoase ușor fuzibile din încărcătura metalică;

- micșorarea conținutului unor impurități din încărcătura metalică;

- eliminarea noxelor ce s-ar fi degajat la introducerea încărcăturii metalice în baia metalică remanentă dar și în creuzetul gol;

- micșorarea costului fontei elaborate;

- micșorarea cantității de zgură;

- mărirea fluidității. De exemplu, fluiditatea crește de la 274 mm la 310 mm (lungimea probei tip spirală), la temperatura fontei lichide de 1.450°C, datorită creșterii gradului de puritate, pentru o fontă dată;

- mărirea rezistenței la tracțiune, de exemplu, de la 163 N/mm² la 195 N/mm², datorită mării purității, pentru o fontă dată;
- mărirea rezistenței la încovoiere, de exemplu, de la 686 N/mm² la 872 N/mm², pentru o fontă dată, etc.;
- mărirea randamentului termic al cuptorului etc.

Temperatura de preîncălzire a încărcăturii metalice variază între limitele 430...650⁰C, iar eficiența depinde de capacitatea calorică a combustibilului utilizat, randamentul instalației de preîncălzire și al cuptorului cu inducție, costul combustibilului și al energiei electrice etc. Preîncălzirea se realizează în bene, cuptoare rotative, instalații de preîncălzire consacrate etc. Trebuie să se ia în calcul și pierderile de metal în timpul preîncălzirii, pierderi ce se prezintă în tabelul 3/F4 sub formă de Fe₂O₃ și în procente de masă.

Tabelul 3/F4

Pierderile de Fe sub formă de Fe₂O₃ și pierderile de masă ale încărcăturii metalice în funcție de temperatura de preîncălzire.

Temperatura de preîncălzire a încărcăturii metalice, în ⁰ C	260	400	550	650	750	850
Fe ₂ O ₃ , în %	0,1	0,2	0,6	3,3	15,0	37,0
Pierderi de masă, în %	0,0	0,0	1,0	3,0	14,0	28,0

În cazul elaborării fontelor cenușii – SR ISO 185 –, pentru stabilirea compoziției chimice se recomandă utilizarea relațiilor lui Patterson care stabilesc legătura dintre proprietățile mecanice (rezistența la tracțiune – R_m, în daN/mm² – și duritatea – HB, în HB) și compoziția chimică exprimată cu gradul de saturație în carbon al fontelor – S_C, relația (1/F4) –, relațiile (2/F4) și (3/F4), [4].

$$S_C = \frac{\%C_{total}}{4,26 - \frac{1}{3}(Si + P)}, \quad (1/F4)$$

în care, % C_{total} reprezintă cantitatea de carbon total din fontă (cea determinată pe cale chimică, de exemplu) – proporția; Si și P – proporțiile de Si și P din fonta propusă să fie elaborată.

$$R_m = R.R.(100,6 - 80 \cdot S_C), \quad (2/F4)$$

în care R.R. reprezintă rezistența relativă (coeficient de fidelitate).

$$HB = R.H. (100 + 4,3 R_m), \quad (3/F4)$$

în care R.H. reprezintă duritatea relativă.

Pentru fontele cenușii nemodificate R.R. = 0,7 ... 0,6 și R.H. = 0,6 ... 1,2 iar pentru fontele cenușii modificate R.R. = 0,80...1,00 și R.H. = 0,90 ... 1,08.

Coeficienții R.R. și R.H. se consideră, de obicei, cu valorile de la șarjele anterioare.

Pentru un calcul mai riguros, se recomandă pentru calculul gradului de saturație în carbon relația (4/F4).

$$S_C = \frac{\%C_{\text{total}}}{4,26 - \frac{1}{3}(\text{Si} + \text{P}) + 0,03\text{Mn} - 0,4\text{S}}, \quad (4/F4)$$

în care Mn și S reprezintă proporțiile de Mn, respectiv S din fonta propusă să se elaboreze (celelalte simboluri au semnificația din relația (1/F4)).

Standardul SR ISO 185 nu reglementează compoziția chimică, ci doar caracteristicile mecanice, motiv pentru care se apelează la relațiile lui Patterson pentru determinarea conținutului de carbon.

Calculul încărcăturii metalice are în vedere disponibilul de sorturi metalice de la baza de șarjare și poate lua în considerație o mare varietate de scheme de încărcătură ce se poate alcătui din fontă brută (de afinare cu conținut mic sau mare de fosfor, de turnătorie – cu grafit lamelar, cu grafit nodular și conținut mare de mangan, cu conținut mic de carbon și grafit lamelar etc. –, aliate – cu mangan, denumite Spiegel, siliciu, crom, molibden, nichel, titan, vanadiu și wolfram), fontă veche, deșeuri proprii, feroaliaje, prealiaje, elemente brute de aliene, elemente rafinate de aliene, dar și șpan, burete de fier și chiar fontă lichidă. Calculul proporțiilor de sorturi în încărcătură se face prin metode analitice, grafice dar și prin tatonare, [5]. Încărcătura metalică poate conține și sorturi metalice care conțin nichel și cupru, dacă este cazul.

Pentru micșorarea conținutului de oxizi de fier din zgură se recomandă utilizarea în încărcătură de deșeuri de carbură de siliciu (80...85% SiC; 8...15% Al₂O₃; 1...3% FeO, 2...3% C; 1...2% SiO₂; 1...2% alți componenți) în amestec cu alte materiale, formând, de exemplu, următorul amestec: 75...95% SiC, 5...15% CaO, 5...15% CaF₂ (acest amestec se calculează cu relația (5/F4).

$$G_{\text{am}} = \frac{\langle \text{FeO} \rangle \cdot 3 M_{\text{SiC}}}{6 M_{\text{FeO}}} \cdot \frac{100}{\langle \text{SiC} \rangle}, \quad (5/F4)$$

în care, G_{am} reprezintă cantitatea de amestec reducător, în %; $\langle \text{FeO} \rangle$ – conținutul de FeO din încărcătura metalică, în %; M_{SiC} și M_{FeO} – masele moleculare ale SiC, respectiv FeO; $\langle \text{SiC} \rangle$ – conținutul de SiC din amestec, în %.

Utilizarea amestecului reducător de la aliniatul anterior, determină următoarele efecte:

- micșorarea cantității de zgură cu până la 25%;
- micșorarea conținutului de ferosiliciu cu 60...65%;
- micșorarea consumului de material de carburare cu 10...15%;
- mărirea productivității cuptorului, în medie cu 10%;
- micșorarea conținutului de gaze din fontă;
- mărirea rezistenței la tracțiune cu 10...15%;
- micșorarea durtății fontei, în medie, cu 15%;

- micșorarea tendinței de albire a fontei;
- mărirea scoaterii de metal, în medie, cu 1% etc.

În cazul lipsei de deseuri de carbură de siliciu se pot utiliza pentru reducerea oxizilor de fier și deseuri de electrozi de grafit, grafit (1% grafit reduce 6% FeO din zgură) etc.

În vederea calculării cantității elementelor chimice din încărcătură, se consideră că pierderile prin oxidare, în timpul topirii și supraîncălzirii băii metalice în stare lichidă, notate cu A, se pot calcula cu relația (6/F4).

$$A = X + Y \cdot \tau, \quad (6/F4)$$

în care X reprezintă pierderile de element chimic, prin oxidare, în %, în timpul topirii și supraîncălzirii până la temperatura de 1.350°C; Y – pierderile de element chimic, prin oxidare, în timpul supraîncălzirii și menținerii la temperaturi cuprinse în intervalul 1.350...1.550°C, în %; τ – timpul de menținere, în h. Pentru C, Si, Mn și Cr, valorile pentru X și Y sunt prezentate în tabelul (4/F4).

Tabelul 4/F4

Valorile pentru X și Y în cazul elementelor chimice C, Si, Mn și Cr.

Temperatura de supraîncălzire, în °C	Pierderile de element chimic prin ardere, în %							
	C		Si		Mn		Cr	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1.350	4,3	0,15	4,4	0,00	1,4	0,58	4,1	1,21
1.400	4,3	0,73	4,1	0,00	1,4	0,61	4,4	1,27
1.450	4,6	2,25	4,1	-0,39	1,4	0,61	4,4	1,48
1.500	4,9	5,00	4,6	-1,52	1,4	1,35	4,4	2,57
1.550	5,4	8,00	4,8	-3,77	1,4	1,82	4,4	2,82

La modul general, pierderile totale, prin oxidare, în timpul elaborării, pentru C, Si și Mn, în funcție de calitatea încărcăturii metalice (neoxidată și oxidată) sunt prezentate în tabelul (5/F4).

Tabelul 5/F4

Pierderile de C, Si și Mn, prin oxidare, în funcție de calitatea încărcăturii metalice (neoxidată și oxidată).

Calitatea încărcăturii metalice (maximum 60% șpan)	Pierderi prin oxidare, în %		
	C	Si	Mn
Neoxidată	10,7	8,2	6,3
Oxidată	23,0	21,5	18,0

Dintre elementele chimice de aliere, în încărcătura metalică solidă se recomandă să se introducă doar nichelul, randamentul de asimilare considerându-se 96...97%.

2.1.2. Pregătirea cuptorului

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, coeficientul de conductibilitate termică mic etc.

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 magnezită, a cărei refractaritate poate depăși temperatura de 2.000°C . Căptușeala bazică 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 exemplu, 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).

Dacă se constată, după evacuarea băii metalice goluri în căptușeală care nu afectează integritatea căptușelii – nu sunt evidențiate de sistemele de avertizare a riscului de perforare a căptușelii de metalul lichid – acestea se pot repara (elimina) cu un amestec format din cuarțită și silicat de sodiu, a cărui consistență trebuie să determine aderarea la căptușeala deteriorată.

2.1.3. Încărcarea

Încărcarea se poate efectua manual, la cuptoarele de capacitate mică

(capacitatea, în principiu, mai mică de 3 tone) și mecanizat, la cuptoarele de capacitate mare, prin intermediul benelor.

Se recomandă ca întâi să se încarce sorturile metalice ce reprezintă fonta (fonta brută, fonta veche și deșeurile proprii).

2.1.4. 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 tot timpul topirii, temperatura băii metalice trebuie să fie mai mică decât temperatura de echilibru, a reacției chimice (7/F4).



Temperatura de echilibru se determină din nomograma prezentată în figura 2/F4, 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 figura 2/F4, pentru conținuturile de 1,5% Si și 3,3% C, temperatura de echilibru este de 1.410°C).

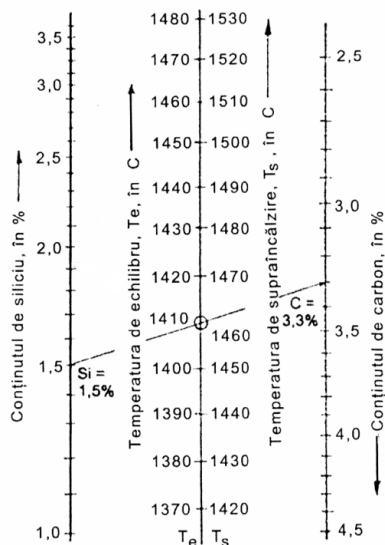


Fig.2/F4. Nomogramă pentru determinarea temperaturilor de echilibru, T_e, și de supraîncălzire, T_s, ale băii metalice, în funcție de conținuturile de carbon și de siliciu din baia metalică.

Dacă temperatura băii metalice depășește temperatura de echilibru, fonta lichidă interacționează cu căptușeala refractară acidă (carbonul, de

exemplu, dar și Fe, Mn, Mg, Al, Cr etc., interacționează cu SiO₂ din căptușeala acidă).

Dacă este cazul, după topire, se pot introduce materiale de aliere care conțin nichel, molibden, siliciu, vanadiu, wolfram și cupru.

Nisipul sinterizat de pe suprafața deșeurilor proprii (conține 85% SiO₂ și 15% Al₂O₃), oxizii existenți la suprafața bucăților de încărcătură metalică (FeO, MnO etc.), căptușeala refractară (SiO₂), oxizii rezultați din oxidarea unor elemente chimice din încărcătura metalică în timpul topirii și ulterior acesteia (FeO, MnO, SiO₂ și oxizi ai elementelor chimice de aliere), materialele de adaos (carbide, sodă calcinată, sodă caustică, var nestins, minereu de fier, calcar, fluorină, deșuri de carbură de siliciu, materiale de carburare etc.) etc., determină formarea unei zguri care la finalul elaborării are compoziția ce este prezentată în tabelul 6/F4.

Tabelul 6/F4

Compoziția chimică a zgurii finale, în cazul elaborării fontei în cuptoare cu inducție căptușite acid.

Compoziția chimică, în %			
SiO ₂	FeO+Fe ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃
45,0...70,0	5,0...30,0	2,0...20,0	0,2...20,0

La finalul topirii se prelevează o probă din baia metalică pentru determinarea compoziției chimice.

2.1.5. Supraîncălzirea în stare lichidă

Temperatura de supraîncălzire se determină, pentru fontele nealiate, din nomograma prezentată în figura 2/F4.

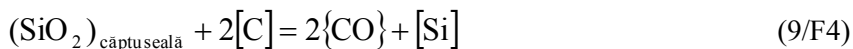
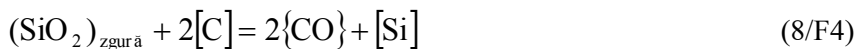
Supraîncălzirea în stare lichidă urmărește, în principal, următoarele două scopuri :

– dezactivarea germenilor eterogeni ce au o influență necontrolată asupra structurii metalografice a fontei ;

– crearea unei structuri a fontei lichide ce să determine la transformarea eutectică obținerea unui număr mare de celule eutectice cu grafit fin și uniform repartizat în matricea metalică.

Fonta se menține la temperatura de supraîncălzire timp de 15...30 min.

În timpul menținerii la temperatura de supraîncălzire se desfășoară reacția chimică (7/F4) dar și reacțiile chimice (8/F4), (9/F4) și (10/F4).



în care, Me, de exemplu, reprezintă un element chimic bivalent din baia metalică.

Desfășurarea reacțiilor chimice (7/F4), (8/F4) și (9/F4) arată că se realizează o dezoxidare a fontei iar prin eliminarea bulelor de CO și o degazare a fontei.

2.1.6. Alierea

Materialele de aliere – care conțin elemente chimice de aliere – se introduc în încălzătură (în timpul topirii), în baia metalică după topire și în baia metalică cu puțin timp înainte de evacuarea fontei din cuptor, așa cum se prezintă în tabelul 7/F4.

Tabelul 7/F4

Momentele optime ale introducerii materialelor de aliere în cuptorul cu inducție fără miez.

Elementul chimic de aliere principal din materialul de aliere	Perioada de introducere în cuptor*		
	În încălzătura metalică solidă	În baia metalică după topire	În baia metalică, cu puțin timp înainte de evacuare
P	–	–	+
Ni	+	+	+
Mo	–	+	+
Cr	–	–	+
Mn	–	–	+
Si	–	+	+
V	–	+	+
Ti	–	–	+
W	–	+	+
Al	–	–	+
Cu	+	+	+

* + = perioadă optimă de introducere în cuptor ; – = perioadă neindicată de introducere în cuptor (pierderi mari de elemente chimice de aliere prin oxidare).

Pierderile de elemente chimice, prin oxidare, în timpul elaborării în cuptorul cu inducție fără miez, căptușit acid, ce utilizează încălzătura metalică solidă, sunt prezentate în tabelul 8/F4.

Tabelul 8/F4

Pierderile de elemente chimice prin oxidare, în timpul elaborării în cuptorul cu inducție fără miez căptușit acid.

Elementul chimic	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Mo	V	W	Cu
Arderea, în %	5 ...	0 ...	10 ...	5 ...	0	25 ...	0	20 ...	0	0
	10	7	30	7		35		30		

Randamentele de asimilare, orientative, ale principalelor elemente chimice de aliere sunt prezentate în tabelul 9/F4.

Tabelul 9/F4

Randamentele de asimilare, orientative, ale elemente chimice de aliere în baia metalică.

Elementul chimic	P	Ni	Mo	Cr	Mn	Si	V	Ti	W	Al	Cu
Randamentu l de asimilare, în %	85 ... 90	96 ... 97	96 ... 97	88 ... 90	97 ... 98	94 ... 97	98 ... 99	20 ... 30	98 ... 99	70 ... 90	96 ... 97

Cantitatea de material de aliere ce se adaugă în baia metalică se calculează cu relația (11/F4).

$$Q_M = \frac{[\%E] - \langle \%E \rangle \left(\frac{100 - \%a_E}{100} \right)}{\%E_M \cdot \eta_E} \cdot 10^2, \quad (11/F4)$$

în care, Q_M reprezintă cantitatea de material de aliere, în kg/100 kg fontă ; $[\%E]$ – proporția de element de aliere E din fonta propusă să fie obținută (din fonta finală) ; $\langle \%E \rangle$ – proporția de element chimic de aliere E din încărcătură, respectiv cantitatea de element chimic de aliere E adusă de sorturile metalice din încărcătură ; $\% a_E$ – proporția de element chimic de aliere E adus în încărcătură de către sorturile metalice din încărcătură ce se pierde prin oxidare în timpul elaborării – tabelul 8/F4 ; $\%E_M$ – proporția de element chimic de aliere din materialul de aliere ; η_E – randamentul de asimilare al elementului chimic de aliere, din materialul de aliere, de către baia metalică, în procente – tabelul 9/F4.

De exemplu, calculul necesarului de FeCr cu 40% Cr, pentru obținerea unei fonte ce are 14% Cr, în cazul în care randamentul de asimilare al cromului din FeCr este de 67%, pierderile de crom din încărcătură în timpul elaborării sunt de 7% iar cromul din încărcătură (adus de către sorturile metalice din încărcătură) este 3%, este următorul :

$$Q_{FeCr} = \frac{14 - 3 \left(\frac{100 - 7}{100} \right)}{40 \cdot \frac{67}{100}} \cdot 10^2 = 41,38 \text{ kg FeCr/100 kg fontă .}$$

2.1.7. Carburarea

Ca materiale de carburare se pot utiliza deșeuri de electrozi de grafit, cocs de gaz, cocs de petrol, antracit, cocs special, deșeuri de carbură de siliciu etc.

Se recomandă ca materialul de carburare să se introducă la suprafața băii metalice.

Randamentul de asimilare a carbonului depinde de structură, conținutul de cenușă, porozitate, mărimea granulației, umiditate, conținutul de sulf,

conținutul de substanțe volatile, toți acești parametri referindu-se la materialul de carburare, temperatura, compoziția chimică și gradul de agitare electromagnetică, ale băii metalice, momentul introducerii în cuptor (durata de contact material de carburare-fază metalică) etc.

2.1.8. Desulfurarea

Desulfurarea se realizează prin introducerea agentului desulfurant la suprafața băii metalice.

Ca agenți desulfuranți se utilizează carbidul (consumul este de 1,7...2,0%, durata de desulfurare este de 3...10 min, temperatura de început de desulfurare este de 1.300...1.350°C, temperatura de final de desulfurare este de 1.420...1.450°C), cianamida de calciu industrială, amestecul format din 74...77% cianamidă de calciu, 18...20% silicat de sodiu și 5...6% fluorină (în cantitate de 0,8...1,0 kg/100 kg fontă, perioada de menținere de 25...30 min) etc.

Se realizează, la modul general, grade de desulfurare de 60...80%.

2.1.9. Defosforarea

Defosforarea se poate realiza, eficient, numai în cazul căptușelii bazice.

Practic se menține fonta sub un strat de zgură bazică și oxidică, în condiții în care se utilizează plasmatroanele, eficiența defosforării fiind mare.

Agenții defosforanți sunt, în principal, varul și minereul de fier, alături de fluorină ca fluidificator pentru zgură.

După ce amestecul defosforant (53% hematită, 42% calcar și 5% fluorină) s-a adăugat la suprafața băii metalice fără zgură și supraîncălzită, se însuflă oxigen în baia metalică. Timpul de menținere a băii metalice sub zgura defosforantă este în funcție de gradul de defosforare propus – momentul stopării menținerii fontei sub zgura defosforantă este indicat de rezultatul analizelor conținuturilor de fosfor din probele prelevate din baia metalică.

În cuptorul cu inducție fără miez, căptușit acid, se poate realiza defosforarea dacă se menține baia metalică sub un strat de zgură format din sulfat de sodiu de compoziție industrială, sodă de rufe (conține Na_2CO_3) și reducători.

2.1.10. Dezoxidarea în cuptor

Dezoxidarea în cuptor se realizează prin micșorarea bruscă a temperaturii băii metalice provocată prin introducerea în aceasta de bucăți de deșeuri de oțel într-o cantitate ce reiese dintr-un calcul de bilanț termic. Temperatura până la care se realizează răcirea trebuie să fie mai mică decât temperatura de echilibru. Prin răcirea bruscă, în baia metalică apare un surplus de oxigen – în afara echilibrului – ce intră în reacție cu siliciul introdus în baia metalică sub formă de FeSi (de preferință FeSi75) sau CaSi, în proporție de 0,1...0,6% și cu mărimea granulației de 1...5 mm (în absența introducerii de FeSi sau SiCa, oxigenul în exces interacționează cu siliciul din baia metalică.

2.1.11. Degazarea

Degazarea se realizează prin barbotarea fontei lichide cu un gaz inert – argon pur – sau cu gaz activ – clor (clorul formează combinații chimice insolubile în baia metalică cu gazele din fonta lichidă).

Gazul inert se insuflă în baia metalică timp de câteva minute, printr-o țevă cu diametrul de 12...25 mm, cu o presiune de 4...5 at, cu un consum de 2...3 m³/t de fontă – atomii de hidrogen și, în mică măsură, atomii de azot, pătrund în bulele de argon, de exemplu.

2.1.12. Desilicierea și demanganizarea

Desilicierea și demanganizarea se realizează numai atunci când este cazul și se execută prin diluare și prin tratarea băii metalice cu agenți de desiliciere și demanganizare.

Diluarea fontei în siliciu sau mangan se face prin adăugarea în baia metalică de deșeuri de oțel. De regulă, după diluare, se execută un proces de carburare din cauza micșorării conținutului de carbon din baia metalică (deșeurile de oțel au conținutul de carbon mic).

Ca agenți de desiliciere și demanganizare se utilizează oxigenul gazos insuflat și minereul de fier, când temperatura fontei este mai mică decât temperatura de echilibru – în cazul cuptoarelor cu inducție cu căptușeală bazică.

Desilicierea este posibilă în cuptorul cu inducție căptușit acid prin provocarea răcirii brusce a băii metalice, adăugând deșeuri de oțel în baia metalică.

Demanganizarea în cuptorul cu inducție căptușit acid se realizează prin insuflarea în baia metalică de tetraclorură de carbon preîncălzită, prin intermediul azotului sub presiune (consumul specific de CCl₄ este de 5...20 kg/t de fontă lichidă).

2.1.13. Menținerea topiturii în creuzet cu inductorul scos din circuitul electric

Scopul menținerii fontei în stare lichidă în creuzet cu inductorul scos din circuitul electric, este de separare la suprafața băii metalice a incluziunilor nemetalice. Timpul respectiv de menținere este în funcție de masă, gradul de supraîncălzire, compoziția chimică etc. De exemplu, pentru o topitură cu masa de 3 t, se recomandă o durată de menținere de circa 5 min.

2.1.14. Evacuarea

Pentru ca dezoxidarea fontei prin răcire provocată să aibă eficiența maximă, se provoacă răcirea fontei cu puțin timp înainte de evacuare, după care se introduce FeSi75 sau CaSi (0,1...0,6%) pe jetul de evacuare. Dezoxidarea se poate realiza și prin evacuarea fontei într-o oală de turnare rece – se realizează răcirea provocată – după care, în timpul transvazării în oala de turnare preîncălzită se adaugă FeSi75 sau CaSi pe jetul de transvazare.

Dezoxidarea fontei se poate realiza și prin introducerea de materiale dezoxidante în oala de turnare sau în rețeaua de turnare din formă. Ca materiale dezoxidante se utilizează ferosiliciu cu 75% siliciu, silicocalciu simplu sau aliat cu zirconiu și hafniu, prealiaj Si-Mn-Zr, carbid de compoziție eutectică (1,5...2,0%) etc. Efectul dezoxidării fontei este maxim după 2...3 min de la

introducerea materialului dezoxidant în baia metalică.

2.1.15. Tratamente metalurgice ale fontei lichide în afara cuptorului cu inducție

După evacuare, fonta lichidă este susceptibilă de multiple tratamente metalurgice care nu constituie obiectul acestei lucrări.

Astfel, se pot efectua următoarele tratamente metalurgice: desulfurare, carburare, decarburare, demanganizare, eliminarea unor impurități, aliere, rafinare, vibrare, tratare cu ultrasunete, tratare în atmosferă depresurizată, inoculare (a se vedea lucrarea F22), modificare (a se vedea lucrările F1 și F2) etc.

2.1.16. Turnarea

Turnarea se referă la un ansamblu de măsuri ce se întreprind în vederea turnării fontei în formă și obținerii pieselor în stare brut turnată.

2.1.17. Corectarea structurii metalografice prin tratament termic

Corectarea structurii metalografice se face numai cu scopul obținerii caracteristicilor mecanice de rezistență prevăzute de standarde sau convenite între producător și beneficiar pe bază contractuală.

În principal, se apelează la recoacerea de grafitizare (pentru transformarea cementitei libere în grafit și fier, transformarea perlititei în ferită și grafit eutectoid, transformarea feritei în perlită, eliminarea cementitei libere etc.) și la normalizare (pentru transformarea feritei în perlită și pentru mărirea numărului de graunți metalografici etc.).

3. Modul de lucru

Fonta se elaborează conform instrucțiunilor prezentate la paragraful 2.

Elaborarea se efectuează într-un cuptor cu capacitatea de circa 30 kg fontă.

Dimensiunile creuzetului sunt $\phi 160 \times 340$ mm.

Grosimea căptușelii refractare este de circa 40 mm – peretele vertical – și de circa 60 mm – partea inferioară a creuzetului.

Căptușeala refractară acidă are următoarea compoziție : 43% cuarțită, 32,7% praf de cuarț, 23,6% nisip cuarțos, 0,5% acid boric.

Conducerea din punct de vedere electric se realizează prin intermediul unui tablou electric ce este reprezentat schematic în figura 3/F4.

Instalația de răcire are ca agent de răcire apa de la rețeaua orașului. Deoarece există riscul și al sistării distribuirii apei, se verifică pentru început presiunea apei cu ajutorul unui manometru instalat pe peretele din spatele cuptorului. Dacă se constată tendința de scădere a presiunii apei, nu se conectează la rețea cuptorul (de asemenea, dacă presiunea este mică).

Se încarcă creuzetul cuptorului cu bucățile de fontă brută și deșeuri proprii (rețele de turnare, maselote, rebuturi, adaosuri tehnologice) în așa fel încât să se asigure un grad de compactitate cât mai mare. Nu se va forța încărcarea prin lovituri deoarece există riscul de deteriorare al căptușelii

refractare granulare și, astfel, și riscul de perforare a căptușelii de către fonta lichidă.

Se introduce instalația electrică ce deservește cuptorul cu inducție sub tensiune prin comutarea unei pârghii aflate în camera din spatele cuptorului unde accesul personalului neinstruit este interzis. Confirmarea punerii sub tensiune este semnalată de semnalizatorul 5.

Se introduce în circuitele de răcire apa prin intermediul unor robineti aflați în incinta din spatele cuptorului.

Se introduce în circuit generatorul de medie frecvență prin simpla apăsare a contactorului 23.

Se așteaptă timp de circa 40 secunde (timp fixat de către un temporizator), timp după scurgerea căruia se realizează trecerea montajului din stea la montajul în triunghi, confirmarea făcându-se prin semnalizatoarele 8 și 10.

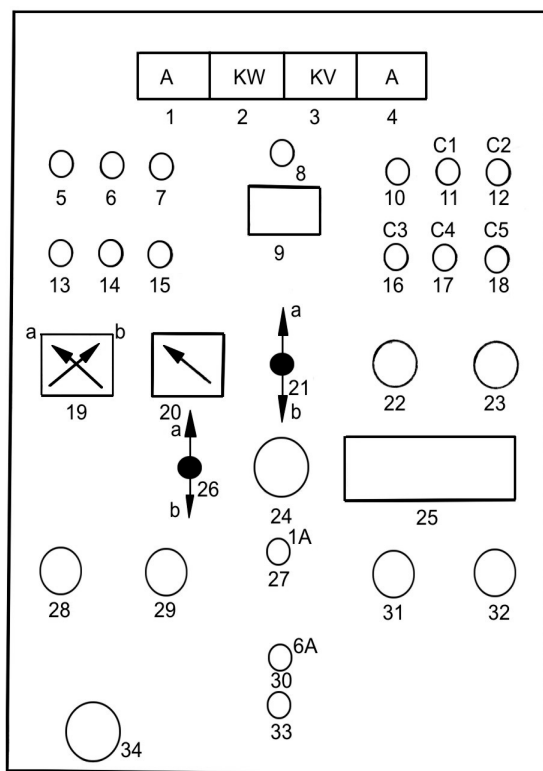


Figura 3/F4. Schema tabloului electric de conducere a cuptorului din punct de vedere electric: 1 – ampermetru pentru măsurarea curentului de excitație; 2 – kilowattmetru pentru măsurarea puterii absorbite de către motorul trifazat de antrenare a generatorului; 3 – voltmetru pentru măsurarea tensiunii din inductor (la ieșirea din generator); 4 – ampermetru pentru măsurarea intensității curentului din inductor; 5 – semnalizator luminos de confirmare a cuplării întrerupătorului general trifazat; 6 – semnalizator luminos de confirmare a existenței curentului de excitație a generatorului în vederea obținerii câmpului electromagnetic variabil necesar creării tensiunii de medie frecvență; 7 – semnalizator luminos de depășire a tensiunii

de 0,8 KV – tensiunea limită ce se admite în inductor; 8 – semnalizator luminos ce confirmă funcționarea motorului trifazat în triunghi; 9 – ceas ce cronometrează funcționarea generatorului de medie frecvență; 10 – semnalizator luminos ce confirmă existența tensiunii curentului de medie frecvență; C1, C2, C3, C4 și C5 – baterii de condensatoare (asocierea semnalizatoarelor luminoase cu bateriile de condensatoare); 11, 12, 16, 17 și 18 – semnalizatoare luminoase ce confirmă existența în circuit a bateriilor de condensatoare C1, C2, C3, C4, respectiv C5; 13, 14 și 15 – semnalizatoare luminoase ce confirmă prezența apei de răcire în inductor, bateriile de condensatoare,

respectiv generatorul de medie frecvență; 19 – comutator rotativ pentru comanda releului de scurtcircuitare a bateriilor de condensatoare: comutarea în poziția "a" reprezintă baterii de condensatoare decuplate; comutarea în poziția "b" reprezintă baterii de condensatoare cuplate; 20 – modul neactiv; 21 – comutator de cuplare a bateriilor de condensatoare: comutarea în poziția "a" reprezintă cuplarea manuală a bateriilor de condensatoare iar comutarea în poziția "b" reprezintă cuplarea automată a bateriilor de condensatoare; 22 – întrerupător de oprire a motorului asincron al generatorului de medie frecvență; 23 – cheie pentru pornirea motorului asincron al generatorului de medie frecvență; 24 – întrerupător general de avarie; 25 – cosφ-metru (indică factorul de putere); 26 – întrerupător care în poziția "a" cuplează bobina de excitație iar în poziția "b" scoate din circuit bobina de excitație; 27 – siguranță pe circuitul de alimentare a tabloului electric general; 28 – întrerupător de rearmare a releului de protecție la supratensiune; 29 – întrerupător de scoatere din circuit a claxonului de avertizare a depășirii tensiunii maxime de lucru (0,8 KV); 30 – siguranță pentru "etajul" de reglare și controlul electronic al tensiunii de excitație; 31 – comutator de scoatere din circuit a bateriilor de condensatoare; 32 – comutator de introducere în circuit a bateriilor de condensatoare; 33 – modul inactiv; 34 – cursor rotativ al unui autotransformator reglabil pentru comanda manuală a curentului de excitație a bobinei.

Se introduce în circuit inductorul prin comutarea pârgھیilor 26 și 19 din pozițiile a în b, în ordinea enumerată.

Se introduc în circuit bateriile de condensatoare prin intermediul contactorului 32. Bateriile de condensatoare C1...C5 intră în circuit după o schemă programată în prealabil, în diverse combinații, prin apăsări consecutive pe contactorul 32. Se introduc în circuit atâtea baterii de condensatoare câte sunt impuse de regimul termic – la început se lucrează cu un regim termic mai puțin intens ca să nu se introducă tensiuni în căptușeala refractară. Intensitatea regimului termic este pusă în evidență de tensiunea indicată de către voltmetrul 3 – regimul termic maxim corespunde la circa 0,7 kV.

Intensitatea curentului de excitație și tensiunea indicate de către ampermetrul 1, respectiv voltmetrul 3 se reglează și prin intermediul reostatului rotativ 34 – la rotirea în sens trigonometric negativ tensiunea și intensitatea cresc. Se va avea în atenție ca intensitatea curentului de excitație să nu depășească 4A iar intensitatea curentului indicată de către ampermetrul 4 să nu depășească 120 A.

După ce se topesc cele două sorturi metalice, în baia metalică, se adaugă deșeurile de oțel în mod treptat până la asimilarea totală (se realizează astfel și topirea prin dizolvare). Bucățile de oțel (în special resturi de tablă) trebuie ca în mod obligatoriu să fie preîncălzite prin menținerea deasupra băii metalice sau cu ajutorul unui arzător mobil cu gaz metan.

În timpul topirii încărcăturii metalice, temperatura fontei lichide trebuie să fie mai mică decât temperatura de echilibru (T_c) determinată din nomogramă.

După topire se verifică compoziția chimică și dacă este cazul se corectează elementele C, Mn și Si prin adaosurile de cocs de petrol, feromangan și, respectiv, ferosiliciu.

După curățirea zgurii ce se formează, are loc turnarea unei probe până și a unei probe pentru analiza incluziunilor nemetalice, precum și supraîncălzirea fontei lichide până la temperatura T_s , menținându-se la această temperatură 15...30 minute. Supraîncălzirea determină dezoxidarea și distrugerea nucleelor

de cristalizare de dimensiuni mari, ceea ce determină creșterea gradului de subrăcire și astfel obținerea unei structuri mai fine.

Urmează deconectarea inductorului prin comutarea pârghiilor 19 și 26 din pozițiile b în a, în ordinea enumerată.

Se prelevează 5 probe pentru analiza incluziunilor nemetalice, în următorul regim: prima probă se prelevează după eliminarea zgurii, a doua după decuplarea inductorului și celelalte trei la intervalele de 2 minute, 2 minute și respectiv 1 minut de la decuplarea menționată.

După deconectarea inductorului se menține fonta lichidă în creuzet timp de circa 5 minute, timp necesar pentru decantarea incluziunilor nemetalice endogene și exogene.

Urmează scoaterea din circuit a bateriilor de condensatoare prin intermediul contactorului 31 (scoaterea se face în ordinea inversă intrării) după care se scoate din circuit generatorul de medie frecvență prin intermediul întrerupătorului 22.

Dacă se elaborează fontă în continuare, atunci se va scoate din circuit doar inductorul.

Cele 5 probe pentru analiza incluziunilor nemetalice se prelevează cu ajutorul unei linguri din oțel în prealabil preîncălzită, turnarea efectuându-se în formă clasică (diametrul probelor este de circa 20 mm iar înălțimea este de circa 25 mm).

După trecerea celor 5 minute de menținere se evacuează fonta, prin bascularea cuptorului, în oala de turnare ce este pregătită (preîncălzită la temperatura de circa 700°C cu ajutorul unui arzător mobil de gaz metan și prevăzută cu 0,5% FeSi75 cu mărimea granulației de 0,1... 0,3 mm). FeSi 75 are rol de modificador (crește numărul de celule eutectice și de grafit).

Are loc în continuare turnarea în forme a următoarelor probe:

- proba pană (2 bucăți) – una după eliminarea zgurii și una în final;
- proba pentru determinarea rezistenței la tracțiune.

Înainte de evacuarea din creuzet se prelevează și o probă pentru analiza structurii secundare.

Analiza structurii secundare a fontei finale se face pe proba ce provine de la epruveta de determinare a rezistenței la tracțiune.

4. Măsurile speciale de asigurare a securității muncii

În timpul elaborării se ține sub observație continuă stratul izolator de textolit sub aspectul culorii – dacă se observă tendința de înroșire se evacuează urgent fonta lichidă (dacă există) într-o oală de avarie ce trebuie să fie pregătită (preîncălzită la temperatura de circa 700°C) și amplasată în vecinătatea cuptorului începând cu momentul apariției fazei lichide.

Dacă se sesizează tendința de scădere a presiunii apei de la rețea și scăderea acesteia este sub valoarea critică, se evacuează urgent fonta din cuptor (dacă aceasta există).

Este interzisă atingerea cu mâna a inductorului în timpul cât este sub tensiune – dacă se dorește controlul temperaturii apei, prin palpare, a

inductorului, atunci se va scoate din circuit inductorul după care se va introduce din nou în circuit, prin manevrele menționate în prezenta lucrare.

Dacă apar defecțiuni la instalația electrică, atunci, intră automat în funcțiune instalația de avertizare sonoră. La auzul acesteia se întrerupe avertizarea sonoră prin apăsare pe întrerupătorul 29, se remediază defecțiunea după care se introduce în circuit instalația de avertizare sonoră prin apăsare pe contactorul 28.

În caz de perforare accidentală a căptușelii refractară granulară, fonta lichidă ajunge la inductorul de cupru, are loc topirea cuprului și în urma contactului cu apa rece are loc o explozie ce se manifestă prin expulzarea cu forță mare a fontei lichide în jur, putând pricinui accidente foarte grave.

5. Interpretarea rezultatelor

Se trasează graficul $Q_i = f(\tau_m)$, în care Q_i reprezintă cantitatea de incluziuni nemetalice; τ_m – timpul de menținere în stare lichidă după ce s-a "atins" temperatura de supraîncălzire T_s .

Se analizează dependența $T_s = f(h_a)$, în care h_a reprezintă înălțimea zonei albe din secțiunea probei până.

Se trag concluzii asupra structurii secundare a fontei, înainte și după inocularea cu FeSi75, în variantele cu și fără atac chimic.

6. Bibliografie

1. Amza, G., Dumitru, G.M. și Rândașu, V.O. Tehnologia materialelor. Editura Tehnică. București, 1997;
2. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Editura Samia, Iași. 2003;
3. Tripșa, I. Berceanu, E., Vacu, S. și Butnaru, I. Lucrări practice de metalurgia oțelului. Institutul Politehnic București. 1975;
4. Ripoșan, I. și Cernat, C. Elaborarea și turnarea fontelor de turnătorie. Institutul Politehnic București. 1976;
5. Cojocaru, V. Elaborarea și turnarea aliajelor feroase. Institutul Politehnic Iași. 1987.

F5. Elaborarea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin arc, cu căptușeală refractară de natură chimică acidă

1. Scopul

Scoaterea în evidență a particularităților elaborării fontei în cuptoare electrice cu arc, căptușite cu material refractar de natură chimică acidă și calitatea fontei obținută în asemenea agregate de elaborare.

2. Considerații generale

Fluxul tehnologic de obținere a unei fonte, la modul general, este prezentat în figura 1/F5.

Elaborarea fontei în cuptoarele cu arc electric căptușite cu material refractar de natură chimică acidă se adoptă datorită următoarelor particularități în raport cu varianta de căptușeală de natură chimică bazică a aceluiași tip de cuptor:

- încărcătura metalică trebuie să aibă un grad de puritate mai mare;
- pierderile prin oxidare de elemente chimice sunt relativ mici (2 ...3%);
- productivitatea este mai mare;
- pierderile prin oxidare de siliciu din încărcătura metalică sunt nule;
- zgura nu poate avea caracter chimic bazic, ceea ce înseamnă că nu se pot efectua unele tratamente metalurgice de interfață zgură-baie metalică;
- fonta se obține cu un conținut mai mic de gaze deoarece încărcătura are un grad de puritate mare, se utilizează o cantitate mai mică de fondanți, zgura cu un conținut mare de SiO_2 are permeabilitate mică la gaze, în tot timpul elaborării conținutul de oxigen din topitura metalică este mai mic datorită efectului dezoxidant al siliciului și al legării FeO cu SiO_2 din zgură și căptușeala refractară și datorită folosirii unei cantități mai mici de adaosuri dezoxidante;
- căptușeala refractară de natură chimică acidă este mai ieftină;
- fonta nu se poate desulfura și defosfora;
- durata de elaborare este mai mică;
- consumul specific de energie electrică este mai mic etc.

În continuare se prezintă aspectele mai importante ale fluxului tehnologic de elaborare, [1], [2], [3].

Pregătirea încărcăturii

Alegerea componentelor încărcăturii metalice trebuie să țină seama de mai multe considerente, unul dintre acestea fiind ereditatea metalurgică. Prin ereditate metalurgică se înțelege transmiterea de către fonta brută a unor caracteristici fontei ce se elaborează, caracteristicile constând în următoarele aspecte:

- particularități structurale (se transmite natura matricei metalice, gradul de finețe al grafitului etc.);
- conținutul de gaze;

Elaborarea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin arc, cu căptușeală refractară de natură chimică acidă

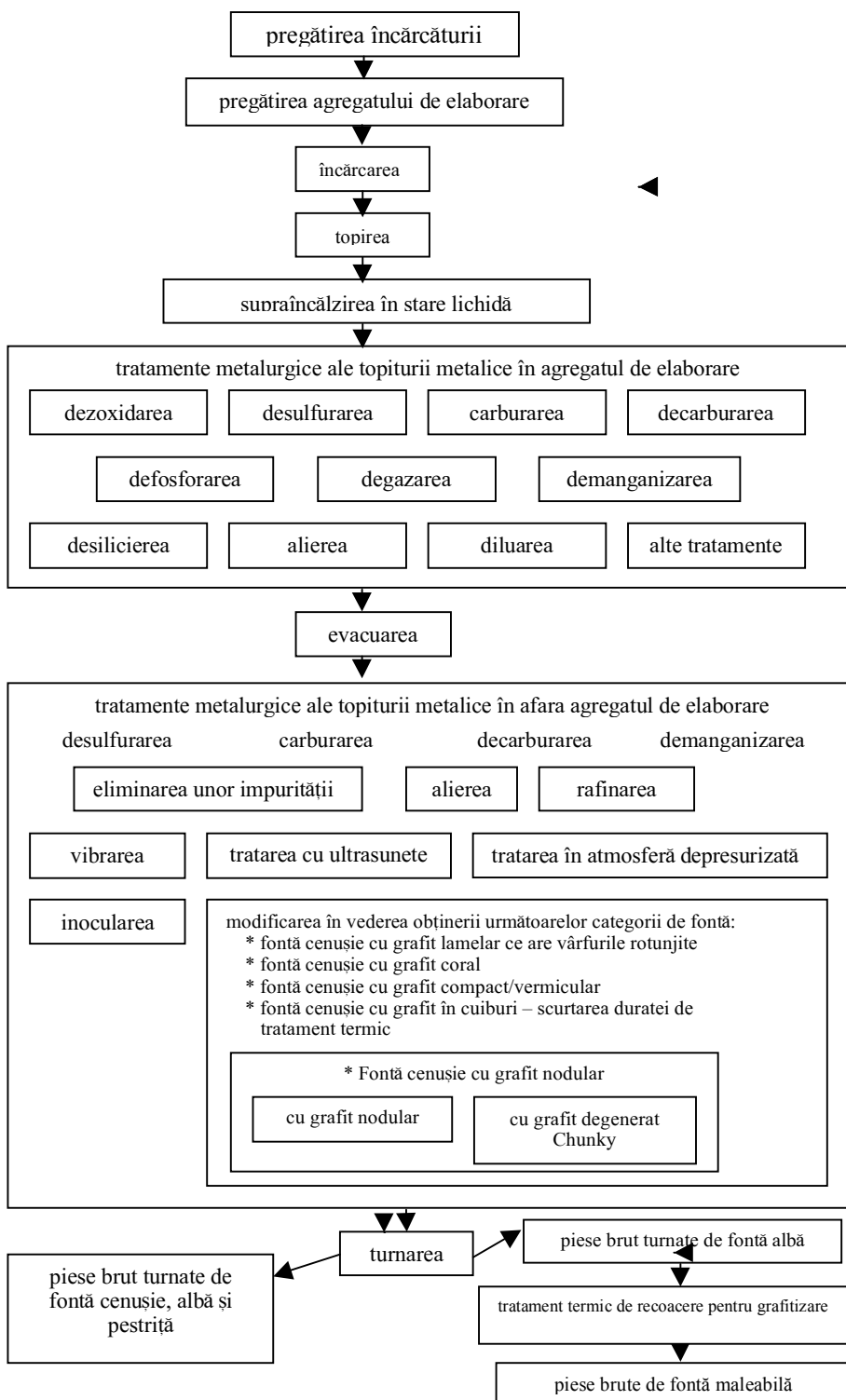


Figura 1/F5. Schema bloc a fluxului tehnologic general de elaborare a unei fonte.

- conținutul de incluziuni nemetalice;
- conținutul de impurități;
- tendința de formare a crăpăturilor;
- tendința de formare a retasurilor;
- fluiditatea;
- influența transformării eutectoide etc.

Fontele brute se aleg în așa fel încât să corespundă calitativ prin prisma fenomenului de ereditate metalurgică, în vederea eliminării efectului negativ al unor sorturi de fontă brută, utilizându-se fonte brute elaborate în furnal ce funcționează cu mangal, fontă brută de afinare etc. Efectul negativ al unor fonte brute se poate diminua și prin utilizarea de deseuri de oțel etc.

Există trei categorii de sorturi metalice din punctul de vedere al dimensiunilor, acestea fiind de dimensiuni mici (până la 100x100x100 mm), dimensiuni medii (100x100x100 ... 250x250x200 mm) și dimensiuni mari (250x250x200 mm ... 600x350x200 mm). În tabelul 1/F5 se prezintă corelația dintre capacitatea cuptorului și cantitatea de sorturi metalice din încărcătură în funcție de categoria de dimensiuni.

Tabelul 1/F5

Corelația relativă dintre capacitatea cuptorului și categoria de dimensiuni ale sorturilor metalice din încărcătură.

Capacitatea cuptorului, în t	Dimensiuni mari, în %	Dimensiuni medii, în %	Dimensiuni mici, în %
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 sub aspect dimensional se realizează prin tăiere cu flacăra oxiacetilenică, foarfece tip ghilotină sau tip aligator, prin balotare – pentru deseuri de oțel –, prin fragmentare cu sonete, zdrobitoare cu bile, mijloace pirotehnice etc.

Sorturile metalice trebuie sortate avându-se în vedere eliminarea într-o măsură cât mai avansată a pământului, zgurii, ruginii, betonului, zidăriei, metalelor și aliajelor neferoase, componentelor aliate, pieselor emailate ce conțin bor și plumb, lagărelor ce conțin arseniu, stibiu și plumb, uleiului, emulsiilor, oxizilor, pieselor de proveniență militară fără autorizații de utilizare, apei, zăpezii, lemnului, materialelor plastice și textile – materialelor nemetalice, în general –, pieselor ce conțin incinte etanșe etc.

În general, aranjamentul spațial al componentelor încărcăturii este asigurat în bena de încărcare și trebuie avute în vedere următoarele măsuri:

– pe vatră se amplasează sorturi metalice de dimensiuni mici cu scopul protejării vetrei la încărcare împotriva șocurilor componentelor cu proeminențe ascuțite ce ar putea perfora vatra și ar crea potențial mare de accidente;

– peste sorturile de dimensiuni mici se încarcă bucățile de dimensiuni mari, după care se încarcă sorturile de dimensiuni medii iar deasupra se încarcă sorturi de dimensiuni mici;

– pentru stabilizarea arcului electric se introduc deasupra încărcăturii, în zona de sub electrozi, strunjituri de oțel sau de fontă sau cocs mărunț;

– partea de deasupra a încărcăturii se recomandă să fie sub formă de emisferă – convexă;

– materialele nemetalice din încărcătură nu trebuie să formeze un strat continuu deoarece rezistivitatea termică a încărcăturii trebuie să fie cât mai mică, motiv pentru care aceste materiale nu trebuie să se amplaseze deasupra încărcăturii (straturile continue determină întreruperea arcelor electrice etc.);

– bucățile de metal de dimensiuni mari nu se amplasează deasupra încărcăturii deoarece electrozii nu pot pătrunde în ele (arcul electric rămâne descoperit o perioadă mai mare de timp, iradiind o cantitate mare de căldură către peretele cuvei și boltă, adică nu spre încărcătura metalică) și, în plus, există riscul de prăvălire și, astfel, de rupere a electrozilor;

– dacă încărcătura metalică nu este compactă, electrozii pătrund cu ușurință în ea și ajung la vatră, deteriorând-o –topind-o parțial etc.

Încărcătura metalică poate fi compusă dintr-un sort sau mai multe, în funcție de marca de fontă propusă a fi elaborată, calitatea sorturilor, disponibilul existent în stocul societății comerciale, considerente dictate de crize economice sau de altă natură, fenomenul de ereditate metalurgică etc.

Greutatea specifică a încărcăturii metalice, în vrac, este de 3,0...4,5 t/m³. Dacă greutatea specifică are valori sub 2 t/m³, este nevoie de mai multe încărcări pentru a se ajunge la capacitatea nominală a cuptorului.

Calculul încărcăturii metalice se realizează prin metode consacrate – analitică, grafică și prin tatonare.

Încărcătura se poate utiliza și preîncălzită, în mod curent temperatura de preîncălzire variind în intervalul 430...650°C.

Eficiența preîncălzirii încărcăturii depinde de capacitatea calorică a combustibilului utilizat, randamentul instalației de preîncălzire, costul combustibilului, costul energiei electrice etc.

Încărcătura se poate preîncălzi în coșul de încărcare ce se amplasează într-o carcasă consacrată prevăzută cu arzător de gaz, sau păcură, motorină etc., în bene de încărcare de construcție adecvate acestui scop, dar și în cuptor (se utilizează două cuptoare prevăzute cu bolți rabatabile în plan orizontal, una având în dotare electrozi și cealaltă un arzător, cele două cuptoare sincronizându-se în sistemul elaborare-preîncălzire, temperatura de preîncălzire ajungând până la valoarea de 1.000°C etc.).

Materialele nemetalice din încărcătură sunt consacrate formării zgurii și sunt formate din nisip cuarțos în proporție de 1...2% și calcar sau var nestins, în proporție de 0,1...0,3%. Calitatea de materiale nemetalice o au și materialele de carburare (deșeuri de electrozi de grafit ce dispun de un randament de asimilare a carbonului de 65...70%, de exemplu, cocs sau antracit – randamentul de asimilare de maximum 60% – etc.) dar și materialele ce au ca scop micșorarea conținutului de oxizi de fier din zgură în cazul în care încărcătura metalică este

puternic ruginită (deșeuri de carbură de siliciu în amestec cu var nestins și fluorină – 75...95% deșeuri SiC, 5...15% var nestins și 5...15% fluorină – cantitatea de amestec calculându-se prin intermediul formulelor consacrate sau al nomogramelor, în funcție de conținutul de FeO din încărcătură, în principal) etc.

Pregătirea agregatului de elaborare

Pentru elaborare se utilizează cuptoare cu arc electric de tip Héroult, cu capacitatea de 0,5...60,0 t.

În figura 2/F5 se prezintă schema de principiu a unui cuptor electric trifazat ce se utilizează în prezent pentru elaborarea fontei și a oțelului, [4]. 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).

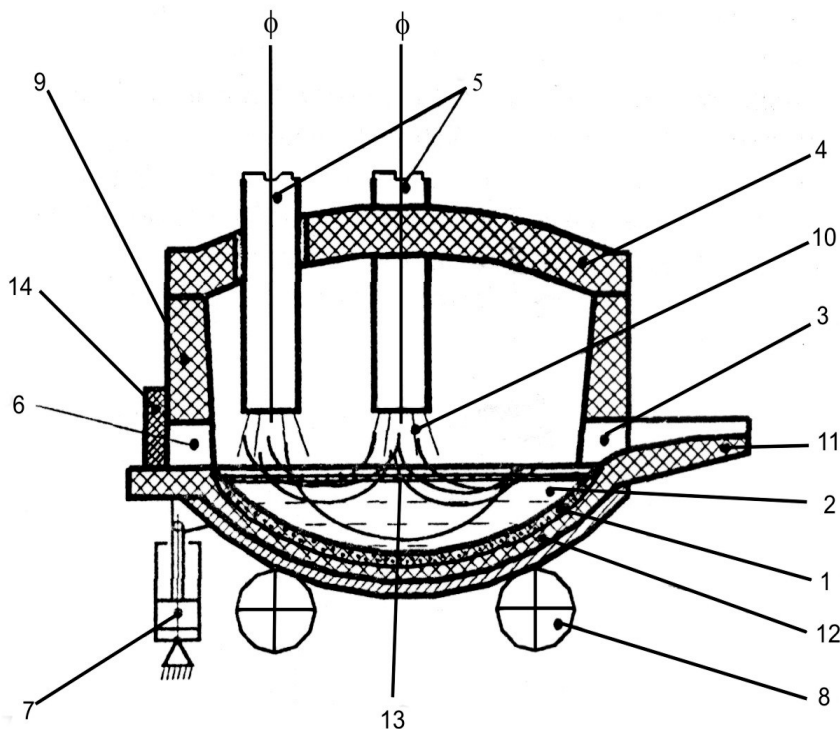


Figura 2/F5. Schema de principiu a unui cuptor electric trifazat. 1 – masă refractară granulară de ajustare; 2 – baie metalică; 3 – orificiu de evacuare; 4 – boltă; 5 – electrozi; 6 – ușă de lucru; 7 – sistem hidraulic de basculare; 8 – role de basculare; 9 – cuvă; 10 – arc electric; 11 – jgheab de evacuare;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

La scară industrială totdeauna 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 – jgheabul 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).

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 suportți de prindere a electrozilor, etc.

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 refăce – 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 fritându-se prin coborârea electrozilor incandescenti în apropierea vetrei – grosimea unui strat de ajustare este de circa 50 mm.

Încărcarea

Încărcarea constă în introducerea încărcăturii în cuptor, urmărindu-se obținerea unui aranjament spațial corespunzător, a unei greutatei volumice adecvate, realizarea unei perioade de încărcare minimă etc.

Încărcarea se poate realiza manual (pentru capacități de 500...1.000 kg) și mecanizat.

În figura 3/F5 se prezintă, schematic, variantele de încărcare consacrate – a = încărcare manuală; b = încărcare cu troacă acționată mecanizat; c = încărcare cu jgheab acționat de către podul rulant; d = încărcare cu benă/coș, [5].

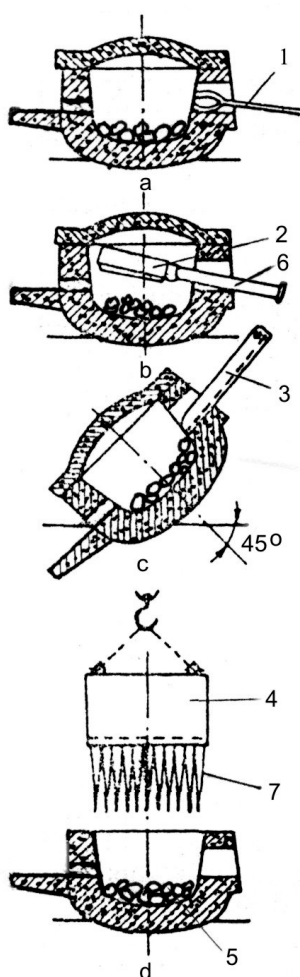


Figura 3/F5. Schița tehnicilor de încărcare consacrate. a – încărcare normală; 1 – lopată profilată; b – încărcare cu troacă acționată mecanizat; 2 – jgheab metalic; 6 – braț de manevrare; c – încărcare cu jgheab metalic; d – încărcare cu benă/coș; 4 – benă; 7 – lanțuri; 5 – încărcătură.

Secvența a) – figura 3/F5 – arată încărcarea manuală. Pe lângă introducerea bucăților metalice prin aruncare, în vederea amplasării spațiale adecvate, se apelează la o lopată metalică (1), pe partea de lucru a acesteia amplasându-se bucata sau bucățile de metal. Prin intermediul lopoții, bucata sau bucățile de metal se amplasează în cuptor în zona dorită. Secvența b) arată încărcarea mecanizată prin intermediul unei troci metalice (2) ce este acționată în sensul rotirii în jurul axei de simetrie longitudinală a brațului de manevrare (6) de către respectivul braț de manevrare. Brațul de manevrare este antrenat electric, mecanic, pneumatic etc. și este susținut de un sistem tip vehicul. Secvența c) reprezintă încărcarea mecanizată cu jgheab metalic (3), acest jgheab fiind acționat de către macaraua unui pod rulant, după

ce cuptorul a fost basculat înspre în față cu circa 45 de grade. Secvența d) reprezintă încărcarea mecanizată cu bena ce este formată dintr-o benă propriuzisă (4) ce este prevăzută la partea inferioară cu niște lanțuri (7) sau plăci metalice articulate și lanțuri legate inițial la partea inferioară cu o frânghie groasă (de exemplu, cu o frânghie ce are diametrul de 15...20 mm). În timpul încărcării, la o distanță critică de vatră, frânghia ia foc și, astfel, întreaga încărcătură se descarcă în cuptor, aranjamentul spațial al componentelor încărcăturii din benă/coș, relativ, păstrându-se și după descărcare (frânghia poate fi înlocuită și prin dispozitive mecanice de închidere-deschidere acționate de la distanță prin intermediul unei bare sau cablu etc.).

Există și bene consacrate încărcării ce se acționează din macaraua podului rulant și în care se realizează și preîncălzirea încărcăturii.

Topirea

Topirea constă în transformarea încărcăturii metalice din starea de agregare solidă în starea de agregare lichidă în principal.

În figura 4/F5 se prezintă, schematic, poziția unui electrod în timpul etapei de topire.

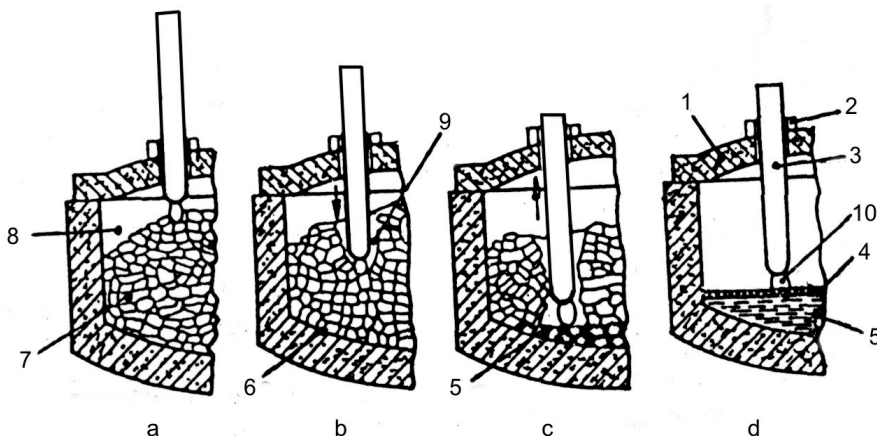


Figura 4/F5. Schema poziției unui electrod în timpul etapei de topire. 1 – boltă; 2 – cap de prindere; 3 – electrod; 4 – zgură; 5 – baie metalică; 6 – vatră; 7 – încărcătură; 8 – cuvă; 9 – crater; 10 – arc electric; a – începutul topirii; b – începutul formării craterelor; c – terminarea formării craterelor; d – finalul topirii.

În timpul topirii se consumă cea mai multă energie electrică în raport cu celelalte etape din fluxul tehnologic de elaborare (până la 80% din consumul total de energie electrică).

În vederea începerii topirii se coboară electrozii în apropierea încărcăturii și se conectează, apoi, cuptorul la rețeaua electrică. În mod obligatoriu trebuie introdusă în circuit și bobina de șoc.

În cazul în care arc 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.

În cazul în care arcul electric nu este stabil, se lucrează cu tensiune mică și în regim de reglare manuală a electrozilor, luându-se în considerație și introducerea de cocs mărunț sau strunjituri (de fontă sau oțel) pe suprafața încărcăturii, în zonele de sub electrozi.

Din figura 4/F5 se observă că se disting patru etape în ceea ce privește poziția unui electrod față de încărcătură, acestea fiind următoarele:

– 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;

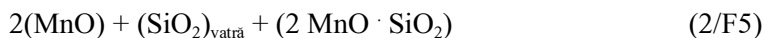
– etapa a II-a. Electrozii (3) încep să pătrundă în încărcătură (în prealabil, pătrund prin boltă acționați de bare port-electrod și capuri de prindere (2)) – se conturează apariția craterelor (9). Arcul electric începe să fie treptat acoperit. Tensiunea se mărește în intervalul 80...100% față de valoarea 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 subtire;

– 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;

– 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).

Cu scopul formării zgurii, așa cum s-a prezentat deja, încărcătura conține nisip cuarțos și var nestins, adică SiO_2 și CaO , printre altele.

Înainte ca încărcătura metalică să înceapă să se topească, zgura primară (zgura primară este zgura ce se formează la începutul topirii iar zgura finală este zgura ce se evacuează din cuptor înainte de evacuare) conține o cantitate mare de FeO și MnO , picăturile de FeO și MnO , în drumul lor spre vatră, interacționând cu SiO_2 din nisipul sinterizat de pe suprafața bucăților de deșeuri proprii, cu SiO_2 din nisipul introdus pentru formarea zgurii și cu SiO_2 rezultat din oxidarea siliciului din încărcătura metalică. În mare parte, însă, picăturile de FeO și MnO interacționează cu SiO_2 din vatră formând ortosilicatul de fier – reacția chimică 1/F5 – și ortosilicatul de mangan – reacția chimică 2/F5.



Reacțiile chimice (1/F5) și (2/F5) determină mărirea conținutului de SiO_2 din zgură, ceea ce înseamnă micșorarea temperaturii liniei lichidus din diagramele de echilibru binar SiO_2 -FeO – figura 5/F5 (săgețile din figura 5/F5 indică respectiva micșorare) – și SiO_2 -MnO Din figura 5/F5 se observă că se parcurg două compoziții eutectice, urmând ca la temperatura de circa 1.450°C , conținutul de SiO_2 din sistemul binar SiO_2 -FeO să atingă valoarea de circa 40% (săgețile indică și creșterea conținutului de SiO_2 o dată cu mărirea temperaturii).

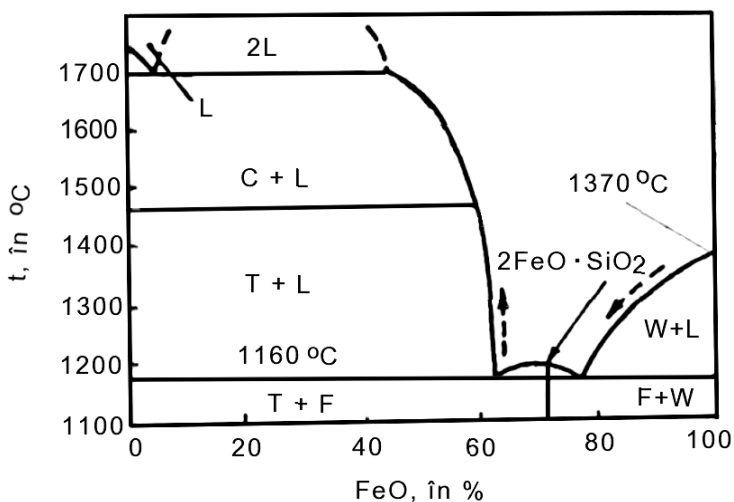


Figura 5/F5. Diagrama de echilibru SiO_2 -FeO. t – temperatură; L – lichid; W – wüstită; F – fayalită; T – tridimită; C – cristobalită.

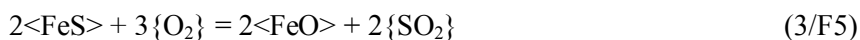
Sursele de formare a zgurii primare, în timpul topirii, sunt următoarele: nisipul sinterizat de pe suprafața deșeurilor proprii, oxizii existenți la suprafața bucăților din încărcătura metalică, căptușeala refractară granulară, oxidarea unor elemente chimice din faza metalică și din materialele de adaos introduse în încărcătură cu diverse scopuri.

Compoziții principale ai zgurii la finalul etapei de topire sunt SiO_2 , FeO, MnO și CaO.

Pierderile de siliciu, prin ardere, se încadrează în intervalul 7...15%.

Pierderile de mangan, prin ardere, sunt cuprinse în intervalul 15...30%.

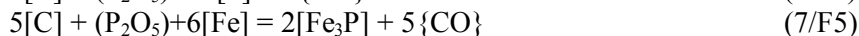
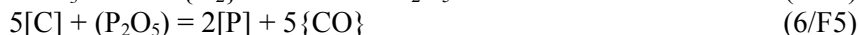
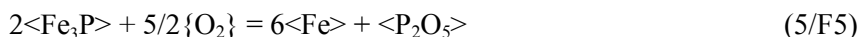
În timpul topirii, circa 50% din catitatea de sulf din încărcătură se oxidează conform reacției chimice (3/F5).



De asemenea, în timpul topirii, are loc reacția chimică exotermă (4/F5), MnS rezultat fiind insolubil în baia metalică. În baia metalică MnS, se află sub formă de suspensii ce trec în zgură, o parte, și formează soluții cu FeS.



Deși, în timpul topirii, fosforul din încărcătura metalică se oxidează cu oxigenul din faza gazoasă a cuptorului, conform reacției chimice (5/F5), iar P_2O_5 ce ajunge în zgură este redus de către carbonul din baia metalică, în conformitate cu reacțiile chimice (6/F5) și (7/F5), oxidarea fosforului este neînsemnată.



Pierderile de carbon prin ardere se situează în intervalul 10...25%.

În timpul etapei de topire, conținutul de gaze (oxigen, hidrogen și azot, în principal) se mărește în faza metalică, depinzând de următorii factori:

- durata de topire. Cu cât durata de topire este mai mare, cu atât o cantitate mai mare de gaze se dizolvă în faza metalică din cauza disocierii moleculelor ca urmare a ciocnirilor cu faza metalică, conform reacțiilor chimice (8/F5), (9/F5) și (10/F5);



- temperatura. Procesele (8/F5), (9/F5) și (10/F5) sunt endoterme, adică temperatura, prin creștere, accelerându-le;

- compoziția chimică a fazei metalice – elementele chimice precum Cr, Mn, V etc. favorizează dizolvarea de hidrogen și azot;

- coeficientul de aciditate. Cu cât coeficientul de aciditate al zgurei acide este mai mare (cu cât proporția de SiO_2 din zgură este mai mare) cu atât conținutul de gaze din faza metalică este mai mic;

- consumul de fondanți. Cu cât consumul de fondanți este mai mare, cu atât conținutul de gaze din fontă este mai mare. În cazul procedurii acid de elaborare consumul de fondanți este mai mic decât în cazul procedurii bazic de elaborare;

- gradul de puritate al încărcăturii metalice – cu cât acesta este mai mare cu atât conținutul de gaze din fontă este mai mic. În cazul procedurii acid de elaborare gradul de puritate al încărcăturii este mai mare decât în cazul procedurii bazic;

- gradul de calcinare al materialului de adaos – nemetalic și metalic. Prin preîncălzire, o parte din gaze se elimină din materialele nemetalice și metalice;

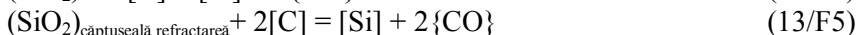
– natura materialelor de formare a zgurii. Dacă în loc de var se utilizează, pentru formarea zgurii, calcar, bioxidul de carbon ce rezultă din disocierea CaCO_3 conținut de calcar poate determina o degazare sensibilă etc.

Supraîncălzirea

Temperatura maximă a băii metalice ce se poate realiza este de 1.500...1.600°C.

Particularitățile supraîncălzirii prin prisma proceselor ce au loc sunt analizate la lucrarea F3.

Deoarece bioxidul de siliciu se află în căptușeală și în zgură în stare liberă, nelegată chimic, procesele chimice (11/F5), (12/F5), (13/F5) și (14/F5) se desfășoară într-o măsură avansată, în funcție de temperatura de supraîncălzire – cu cât este mai mare decât temperatura de echilibru a acestor reacții chimice – și durata de menținere în stare lichidă – cu cât este mare la o temperatura mai mare decât temperatura de echilibru a acestor reacții de echilibru.



În figura 6/F5 se prezintă variațiile de siliciu și carbon din baia metalică, în funcție de temperatura de supraîncălzire și pentru un regim de menținere în stare lichidă dat – se observă micșorarea conținutului de siliciu din topitura metalică până la temperatura de circa 1.375°C, creșterea conținutului de siliciu în cazul temperaturilor de supraîncălzire mai mari de 1.375°C și micșorarea conținutului de carbon, indiferent de mărimea temperaturii de supraîncălzire.

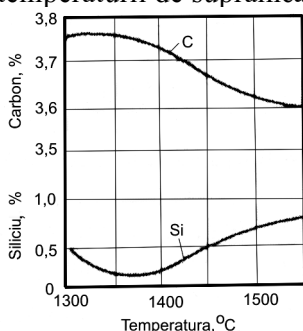


Figura 6/F5. Variația cu temperatura de supraîncălzire a conținuturilor de siliciu și carbon din topitura metalică, pentru o fontă dată și un regim de menținere în stare lichidă constant.

Tratamente metalurgice ale topiturii metalice în cuptorul cu arc căptușit acid

În cuptorul electric cu arc, căptușit cu material refractar de natură

chimică acidă se pot efectua următoarele tratamente metalurgice, în principiu: carburare, decarburare, degazare, demanganizare, desiliciere, aliere, dezoxidare etc.

Carburarea

Procesul de carburare este un proces endoterm.

Efectul caloric al procesului de carburare depinde de natura materialului de carburare, respectiv grafit, cocs de gaz, cocs de petrol, antracit, cocs de diferite calități, deseuri de carbură de siliciu etc.

Se recomandă ca materialul de carburare să se introducă la suprafața băii metalice, după care are loc ruperea de macroparticule din materialul de carburare, descompunerea macroparticulelor și trecerea carbonului în soluție, prin difuzie.

Mărirea cu un procent a conținutului de carbon în baia metalică conduce la micșorarea temperaturii topiturii metalice cu circa 50°C.

Randamentul de asimilare a carbonului este cu atât mai mare cu cât sunt asigurate următoarele condiții:

- materialul de carburare este cristalin – în cazul materialelor de carburare amorfe, energia de asimilare a carbonului de către fierul lichid este mare;

- conținutul de cenușă al materialului de carburare este mai mic;

- porozitatea materialului de carburare este mai mică. Dacă porozitatea este mare, crește suprafața de contact cu oxigenul și, astfel, se măresc pierderile de carbon prin oxidare. Se recomandă o porozitate de maximum 30%;

- mărirea granulației materialului de carburare este cuprinsă în intervalul 2 ... 30 mm. Dacă dimensiunile granulelor de material de carburare sunt prea mici se măresc pierderile de carbon prin oxidare iar dacă sunt prea mari crește durata de carburare;

- materialul de carburare are un conținut de apă cât mai mic. Excesul de apă generează mărirea pericolului de explozie, mărirea conținutului de hidrogen din fonta lichidă, apariția defectului denumit porozitate tip sită, albirea fontei etc;

- conținutul de sulf din materialul de carburare este mai mic. Se recomandă un conținut de sulf al materialului de carburare de maximum 1%. O parte din cantitatea de sulf al materialului de carburare trece în baia metalică;

- materialul de carburare conține maximum 1% substanțe volatile – materialele volatile poluează atmosfera și prezintă pericol de explozie;

- temperatura topiturii metalice să fie cât mai mare. Se recomandă ca temperatura minimă a topiturii să fie de 1.450°C;

- agitarea băii metalice este cât mai mare. În cazul în care fonta este supraîncălzită peste temperatura de echilibru a reacției chimice (11/F5), degajarea de monoxid de carbon generează o agitare a băii metalice, agitarea conducând la mărirea suprafeței de contact dintre topitura metalică și materialul carburant. În plus, dacă un cuptor este prevăzut și cu un agitator electromagnetic, randamentul de asimilare a carbonului crește semnificativ;

Elaborarea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin arc, cu căptușeală refractară de natură chimică acidă

– compoziția chimică a băii metalice este favorabilă. Elemente chimice ca Ni, Co, Cu, Sn, Sb, Al, S, Si, P etc. micșorează solubilitatea carbonului în fierul lichid, în timp ce Mo, Mn, Cr, V etc. măresc respectiva solubilitate. Concentrația maximă de carbon din fonta lichidă la care se poate ajunge se calculează cu relația (15/F5).

$$\%C = 1,30 + 2,57 \cdot 10^{-3} \cdot T + \sum_{i=1}^n m_i x_i, \quad (15/F5)$$

în care %C reprezintă concentrația maximă de carbon la care se poate ajunge în topitura metalică, în %; T – temperatura medie a băii metalice în timpul carburării, în °C; m_i – coeficient ce reprezintă modul de influențare a solubilității carbonului în fierul lichid de un procent de element chimic însoțitor al fierului și carbonului în fonta lichidă – tabelul 1/F5 –; x_i – conținutul de elemente chimice însoțitoare ale fierului și carbonului, în baia metalică – proporția. Astfel, de exemplu, dacă fonta lichidă ar conține doar 2% Si, 1% Mn și în rest Fe și C, concentrația maximă de carbon ce ar putea fi atinsă de către topitura metalică ar fi $1,30 + 2,57 \cdot 10^{-3} \cdot 1.450 - 0,3 \cdot 2 + 0,03 \cdot 1 = 4,45\%$;

Tabelul 1/F5

Valori ale coeficientului m_i pentru câteva elemente chimice însoțitoare ale fierului și carbonului în baia metalică.

Elementul chimic i	Si	P	S	Mn	N	Cu	Ni	Cr	Ti	V	Al	Sb	Sn	Co	Mo
Valorile lui m_i	-0,300	-0,300	+0,400	+0,030	+4,700...6,60	-0,110	-0,050	+0,075	+0,150	+0,100	-0,220	-0,115	-0,110	-0,026	+0,015

– materialul de carburare se introduce în baia metalică după ce în aceasta s-au introdus elementele chimice ce micșorează solubilitatea carbonului în fierul lichid – dacă este cazul de corecție. În practică, carburarea se efectuează înaintea corectării prin adăugarea siliciului;

– durata de contact material de carburare –baie metalică este mai mare.

Deoarece la cuptoarele cu arc electric zgura are temperatură mare

datorită arcului electric și datorită faptului că odată introduse în cuptor materialele de carburare, acestea se află de fapt în zgură, activitatea termodinamică a carbonului în zgură este mare, ceea ce înseamnă și un proces de difuzie a carbonului în baia metalică intens.

Din cauza arcului electric, pierderile de carbon din materialele de carburare sunt mari.

Se apreciază că randamentul de asimilare a carbonului este de maximum 60%, în cazul utilizării de cocs, și de 70...75%, în cazul utilizării de spărturi de electrozi de grafit.

Decarburarea

Decarburarea se poate realiza prin insuflarea în baia metalică de oxigen.

Oxigenul se insuflă prin intermediul lăncilor răcite cu apă, accesul lăncilor în cuptor făcându-se prin boltă – figura 7/F5 – și 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, [5], [6].

În cazul în care se utilizează lănci răcite cu apă, acestea pătrund perpendicular pe suprafața băii metalice (6), prin boltă (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.

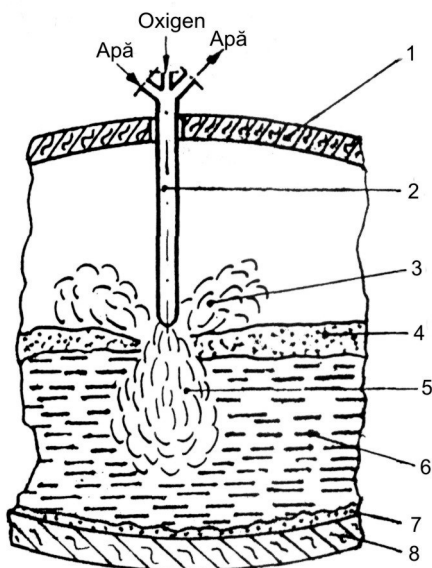


Figura 7/F5. Schița modului de insuflare de oxigen prin lance răcită cu apă și prin boltă cuptorului: 1 – boltă; 2 – lance răcită cu apă; 3 – gaze și oxigen; 4 – zgură; 5 – oxigen; 6 – topitură metalică; 7 – masă refractară granulară de ajustare; 8 – vatră.

Oxigenul insuflat interacționează, conform legii acțiunii maselor, cu fierul din topitura metalică și formează FeO – reacția chimică (16/F5). Ulterior, oxidul feros din topitura metalică interacționează chimic cu elemente chimice

din baia metalică ce au afinitatea chimică față de oxigen mai mare decât a fierului, în circumstanțele în care respectivele elemente chimice se află dizolvate în fierul lichid – reacția chimică (17/F5).



Dacă temperatura băii metalice este mare, elementul chimic predominant E ce se va oxida conform reacției chimice (17/F5) este carbonul – reacția chimică (18/F5).



Dacă se apelează la diagrama de dependență variația de entalpie liberă (ΔG^0) - temperatură (T) a reacțiilor de formare a oxizilor, rezultă că dacă temperatura topiturii metalice este mai mare decât $1.550^{\circ}C$, elementul chimic carbon se va oxida înaintea siliciului iar în cazul în care temperatura topiturii metalice este mai mare decât circa $1.450^{\circ}C$, carbonul se va oxida înaintea manganului (situația menționată este valabilă pentru cazul în care elementele chimice sunt în stare pură sau formează soluții saturate iar oxigenul este în stare liberă, moleculară) [7]. În practică, elementele chimice carbon, siliciu și mangan și, de asemenea, SiO_2 și MnO se află sub formă de soluții nesaturate, ceea ce conduce la lipsa de protejare a carbonului față de acțiunea oxigenului la temperaturi mai mari de $1.400 \dots 1.450^{\circ}C$ – la asemenea temperaturi fonta se decarburează.

În timpul insuflării oxigenului ia naștere o mare cantitate de gaze, de exemplu, $2.500 \dots 5.000 \text{ m}^3 \text{ N}$ gaze la o tonă de fontă.

În cazul în care insuflarea oxigenului se face prin intermediul țevilor nerăcite cu apă și prin ușa de lucru – figura 8/F5 – țeava consumabilă (1), de exemplu, este protejată de căptușeala refractară (2) la capătul dinspre țeava suport (3) ce este răcită cu apă. Țeava (1) are o înclinație față de suprafața băii metalice și determină o viteză de oxidare a carbonului mică dacă nu este imersată în baia metalică (este imersată în zgură sau în afara ei la începutul insuflării) și o cantitate mare de FeO precum și o viteză de oxidare a carbonului mare în cazul în care este imersată în baia metalică.

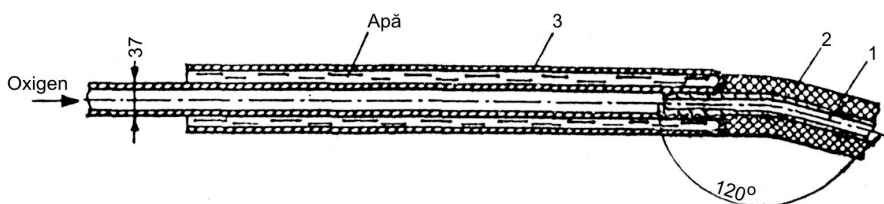


Figura 8/F5. Exemplu de schiță de țeavă de oțel utilizată la insuflarea oxigenului prin ușa de lucru: 1 – țeavă de oțel cu conținut mic de carbon; 2 – căptușeală refractară; 3 – țeavă suport răcită cu apă.

Degazarea

Degazarea se poate realiza, în principiu, prin însuflarea în baia metalică a unui gaz inert, la presiuni de 4...5 at., prin intermediul țevilor cu diametrul de 12...25 mm. Se apreciază că se elimină, în special, hidrogenul, atomii de hidrogen pătrunzând în bulele de gaz inert și formând molecule ce părăsesc baia metalică o dată cu bulele de gaz inert.

Cel mai utilizat gaz inert este argonul.

Consumul specific de argon este de 2...3 m³/t de fontă în cazul unei degazări obișnuite.

Durata de însuflare a gazului inert este de câteva minute.

În timpul barbotării băii metalice cu gaz inert temperatura acesteia se micșorează.

Demanganizarea și desilicierea

În principiu, demanganizarea și desilicierea – micșorarea conținuturilor de mangan și de siliciu – se realizează prin însuflarea de oxigen în baia metalică, așa cum s-a prezentat la decarburarea fontei.

În cazul în care se urmărește oxidarea avansată a siliciului față de oxidarea manganului, se recomandă răcirea băii metalice prin introducerea în baia metalică de deșuri de fontă sau oțel reci (puterea de dezoxidare a băii metalice de către siliciu crește semnificativ în timpul răcirii băii metalice).

Dacă în timpul oxidării siliciului și manganului conținutul de carbon a scăzut, afectând compoziția chimică a fontei, se face o carburare a fontei.

Dacă se cer demanganizări avansate, se însuflă în baia metalică tetraclorura de carbon preîncălzită, în stare lichidă, utilizându-se ca gaz purtător azotul sub presiune, reacția chimică de demanganizare estimată fiind de tipul (19/F5).



Tetraclorura de carbon are și efect dezoxidant deoarece o parte din carbonul dizolvat în baia metalică conform reacției chimice (19/F5) este oxidată de către oxidul ferros dizolvat în baia metalică, conform reacției chimice (20/F5).



Consumul specific de CCl₄ este de 5...20 kg/t de fontă lichidă și este în funcție de compoziția chimică a fontei, cantitatea de mangan propusă a fi eliminată, temperatura băii metalice, temperatura tetraclorurii de carbon etc.

Reacția chimică (19/F5) este exotermă, astfel că scăderea temperaturii băii metalice cauzată de barbotare este relativ compensată de respectivul efect termic exoterm.

Metoda de demanganizare prin intermediul tetraclorurii de carbon creează probleme tehnice generate de manipularea lăncii (tevi) de însuflare, de aceea, recomandându-se acest mod de demanganizare în afara agregatului de elaborare – într-o oală de turnare de construcție consacrată, prevăzută cu capac,

dop poros și hotă de aspirație a gazelor.

Dezoxidarea

Dezoxidarea constă în micșorarea conținutului de oxigen din fonta lichidă.

Dezoxidarea fontei se impune în cazul în care încărcătura metalică este excesiv de ruginită iar materialele reducătoare din încărcătură sunt neutralizate.

Prin excelență, încărcătura metalică nu trebuie să conțină componente ruginite, deoarece, așa cum s-a prezentat, oxizii de fier, în timpul topirii, se infiltrează în vatră unde formează $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ce se topește la temperatura de 1.205°C , accentuându-se uzura vetrei (nisipul cuarțos din încărcătură, întotdeauna în absența minereului de fier, în cazul procedurii acid de elaborare, diminuează efectul agresiv al ruginii asupra vetrei). Într-o asemenea situație, dezoxidarea nu se justifică. În caz contrar, dezoxidarea trebuie obligatoriu desfășurată din cauza efectelor negative generate de oxigenul în exces.

Dezoxidarea se realizează prin următoarele două moduri:

– supraîncălzirea fontei în stare lichidă, temperatura de supraîncălzire fiind mai mare decât temperatura de echilibru a reacțiilor chimice (11/F5), (12/F5), (13/F5) și (14/F5) – oxigenul este eliminat din baia metalică sub formă de CO și MeO (a se vedea supraîncălzirea – lucrarea F3).

– introducerea în baia metalică de materiale reducătoare. Ca materiale reducătoare se recomandă silicocalciul de compoziție eutectică (62% siliciu). Deoarece efectul dezoxidării este maxim după 2...3 minute de la introducerea materialului dezoxidant în baia metalică, nu se recomandă dezoxidarea în cuptor ci în oale de turnare prevăzute cu canal de evacuare tip sifon sau în formă (în practică se utilizează ca material dezoxidant și silicocalciu ce conține zirconiu, în această situație obținându-se micșorarea din fontă a conținuturilor de hidrogen, azot și sulf, prealiaj Si-Mn-Zr, carbid de compoziție eutectică, ferosiliciu ce conține 75% Si etc.).

Alierea

Alierea se poate manifesta în următoarele două moduri:

- mărirea conținutului unor elemente chimice în fontă;
- introducerea unor elemente chimice în fontă.

În ambele moduri de manifestare alierea se realizează prin intermediul materialelor de aliere.

Ca materiale de aliere se utilizează feroaliaje, prealiaje, elemente brute de aliere, elemente rafinate de aliere, oxizi simpli, oxizi complecși, compuși chimici etc.

Elementele chimice de aliere se introduc de către materialele de aliere în cuptor o dată cu încărcătura metalică sau în baia metalică, momentul introducerii depinzând de afinitatea chimică față de oxigen. În funcție de afinitatea chimică față de oxigen, elementele chimice de aliere se împart în următoarele trei categorii:

– elemente chimice care nu se oxidează semnificativ, din această categorie făcând parte Ni, Cu, Mo etc.;

– elemente chimice care au o afinitate chimică față de oxigen de același ordin de mărime cu al fierului, cum ar fi Mn, Cr, Si, W, V etc.;

– elemente chimice care au afinitatea chimică față de oxigen mai mare decât cea a fierului, cum ar fi Ti, Al, Mg etc.

Elementele chimice de aliere ce nu se oxidează semnificativ au afinitatea chimică față de oxigen mult mai mică decât cea a fierului iar materialele de aliere ce le conțin se pot introduce în cuptor odată cu încărcătura metalică sau după etapa de topire. Cantitatea de material de aliere se poate calcula fără a se lua în considerație pierderi prin oxidare. Materialele de aliere au, în general, un conținut apreciabil de hidrogen, ceea ce impune ca după introducerea în baia metalică să se realizeze o barbotare a acestora cu gaze inerte în vederea eliminării hidrogenului.

Ca particularități de aliere, se prezintă în continuare câteva cazuri.

Nichelul

Nichelul se introduce sub formă de nichel metalic – nichel primar ce conține 97,6 ...99,99% Ni dar și sub formă de oxid de nichel (NiO), în acest de al doilea caz NiO fiind redus de către fier sau carbon.

Există pierderi de nichel prin vaporizare în zona arcului electric ce trebuie luate în calcul dacă baia metalică se menține o perioadă mai mare de timp în cuptor.

Cuprul

Pierderile de cupru prin vaporizare sunt ne semnificative.

Cuprul se introduce sub formă de cupru primar cu diverse grade de puritate dar și sub formă de prealiaje pe bază de cupru – CuFe ce conține 90...95% Cu etc.

Molibdenul

Afinitatea chimică față de oxigen a molibdenului este mai mică decât cea a fierului, însă în apropierea acestuia, ceea ce determină, însă, oxidarea în mică măsură a molibdenului în timpul topirii sub formă de MoO_2 (deoarece zgura conține o cantitate mică de FeO liber, nelegat chimic, nu se produce oxidarea molibdenului sub formă de MoO_3 , așa cum se întâmplă în cazul procedurii bazic de elaborare – MoO_3 are temperatura de topire 791°C iar temperatura de fierbere de 1.280°C , ceea ce determină o vaporizare ușoară sub influența arcului electric).

Molibdenul se introduce în cuptor sub formă de feromolibden ce conține 50...65% Mo, molibdat de calciu (conține CaMoO_4), oxid de molibden (MoO_3) și chiar molibdenită (conține MoS_2) în cazul în care conținutul de molibden impus este de 0,3...0,5% – în acest din urmă caz molibdenul rezultă dintr-un proces de reducere, materialul de aliere fiind format dintr-un amestec cum ar fi, de exemplu, varianta formată din 1 kg de molibdenită, 0,50 kg de var nestins, 0,17 kg de cocs, 0,17 kg de fluorină și 0,66 kg de FeSi75 etc. (amestecul menționat se introduce în cuptor în zona de sub electrozi).

Elementele chimice de aliere ce se oxidează în mod asemănător fierului se oxidează parțial în funcție de condițiile de aliere, câteva particularități de aliere prezentându-se în continuare.

Manganul

Manganul se introduce în cuptor, în baia metalică, după supraîncălzire, cu puțin timp înainte de evacuare, sub formă de feromangan ce conține 65...80% Mn, silicomangan, fontă brută aliată cu mangan (fontă oglindă) etc.

Pierderile de mangan prin oxidare se pot neglija.

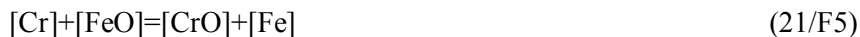
Cromul

Cromul se introduce în cuptor sub formă de ferocrom ce conține 60...65% Cr, după ce fonta este supraîncălzită.

Ferocromul se calcinează timp de 3 ore la temperatura de 850°C (calcinarea reprezintă o preparare termică în absența aerului).

Pierderile de crom prin oxidare sunt de 4...6% în cazul în care conținutul de crom din fontă este de 4...6% și de 15...20% în cazul conținutului de crom din fontă este mai mare.

Din cauză că există o cantitate mică de FeO liber în zgură, cromul trece în zgură, din baia metalică, prin intermediul reacțiilor chimice (21/F5) și (22/F5), reacția chimică (22/F5) fiind accelerată de prezența arcului electric.



În cazul temperaturilor mari, trecerea cromului din baia metalică în zgură scade foarte mult în intensitate și este favorizată de reducerea trioxidului de crom din zgură de către fierul din baia metalică, conform reacției chimice (23/F5).



Se menționează că în cazul procedurii bazic de elaborare Cr_2O_3 este legat în zgură sub formă de $x\text{CaO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ și $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$, viscozitatea zgurii se mărește foarte mult, Cr_2O_3 se reduce foarte greu iar în cazul în care cantitatea de Cr_2O_3 din zgură este mai mare de 8% zgura devine inactivă din punct de vedere metalurgic.

Siliciul

Se recomandă alierea cu siliciul prin intermediul ferosiliciului cu 25...92% Si, însă, nu sunt excluse și alte materiale de aliere ce conțin siliciu în cantitate mare.

Randamentul de asimilare a siliciului maxim se obține dacă se introduce ferosiliciul în baia metalică înainte cu 15...20 min de evacuare.

Nu se recomandă introducerea ferosiliciului în baia metalică înainte de 30 min de evacuare.

Ferosiliciul se utilizează în stare calcinată (temperatura de calcinare recomandată este de 1.150°C).

Ferosiliciul are greutatea specifică mai mică decât a fontei lichide, ceea ce determină plutirea. Din cauza plutirii ferosiliciului, cresc semnificativ

pierderile de siliciu prin oxidare. Diminuarea pierderilor de siliciu prin oxidare se realizează prin amestecarea băii metalice cu o bară de oțel, la suprafață.

Wolframul

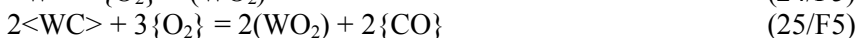
Wolframul se introduce în baia metalică sub formă de ferowolfram ce conține 65...80% W dar și ca atare etc.

Greutatea specifică a ferowolframului este mai mare decât a fontei în stare lichidă, ceea ce determină depunerea pe vatră (la partea inferioară a băii metalice). Eliminarea riscului de depunere pe vatră se realizează prin următoarele două căi:

- amestecarea băii metalice imediat după ce s-a introdus ferowolframul;
- introducerea de ferowolfram sub formă de porții mici – de exemplu, 3,5% din baia metalică – și la intervale de circa 15 min.

Se recomandă ca ferowolframul să se introducă în baia metalică înainte de introducerea ferocromului și ferovanadiului în aceasta.

Dacă încărcătura metalică conține fontă veche aliată cu wolfram, din cauză că zgura conține o cantitate mică de FeO liber, se formează o cantitate mică de WO₃ în zgură iar formarea wolframului de calciu ca rezultat al interacțiunii dintre WO₃ și CaO din zgură este puțin probabilă (zgura acidă nu conține CaO liber, nelegat chimic). Pierderile de wolfram prin oxidare au loc în timpul topirii, prin intermediul oxigenului din atmosfera cuptorului, conform reacțiilor chimice (24/F5) și (25/F5) (până la 90% din wolframul din încărcătură se oxidează în timpul topirii).



Ca principiu, se precizează că în scopul micșorării pierderilor de elemente chimice de aliere în timpul topirii, o dată cu încărcătura metalică se introduc în cuptor și materiale reducătoare ce au rolul de reducere a oxizilor de fier din zgură. Astfel, se utilizează deșeurile de electrozi de grafit, grafit, cocs etc. Cantitatea de materiale reducătoare se calculează în așa fel încât conținutul de oxizi de fier din zgură să nu depășească 2...3%. Calculul necesarului de material reducător se face stoechiometric, luându-se în considerație cantitatea de oxizi de fier ce rezultă în funcție de regimul încălzirii metalice. De exemplu, dacă încărcătura metalică este foarte ruginită, cantitatea de oxizi de fier din zgură poate depăși 10%. La cantitatea de material de reducere rezultată din calcul stoechiometric se adaugă o cantitate suplimentară în funcție de compoziția chimică a materialului de reducere și randamentul de reacție.

Vanadiul

Vanadiul se introduce în baia metalică sub formă de ferovanadiu ce conține 40...75% vanadiu, vanadiualuminiu ce conține 85% V etc.

În cazul utilizării ferovanadiului, acesta se introduce în baia metalică cu 8 min înainte de evacuare, însă, în varianta împachetată în cutii de tablă de oțel.

Dacă fonta ce trebuie elaborată conține până la 1% vanadiu, pierderile prin oxidare de vanadiu se situează în intervalul 5...10% (în cazul în care se cer grade de aliere mai mari de 1%, pierderile de vanadiu prin oxidare ajung până la 35%, pierderile respective fiind apreciable dacă ferovanadiul nu se utilizează în stare împachetată).

Dacă în încărcătura metalică există componente aliate cu vanadiu, în timpul topirii are loc oxidarea vanadiului cu oxigenul din atmosfera cuptorului, obținându-se V_2O_3 în zgură – reacțiile chimice (26/F5) și (27/F5) – iar după topire, o cantitate mică de vanadiu se oxidează cu FeO din zgură rezultând V_2O_5 , de asemenea, în cantitate mică (interacțiunea pentaoxidului de vanadiu cu CaO din zgură este nesemnificativă deoarece majoritatea oxidului de calciu este legat chimic cu bioxidul de siliciu) – reacția chimică (28/F5).



Din categoria elementelor chimice de aliere ușor oxidabile se prezintă în continuare alierea cu titan și aluminiu.

Titanul

Titanul se introduce în baia metalică sub formă de ferotitan ce conține minimum 20% Ti, aluminiutitan ce conține 4...10% Ti, cuprutitan ce conține 4...30% Ti, deșeuri de titan (table, țevi etc.), burete de titan ce conține circa 96% Ti, brichete de deșeuri de pulbere de titan ce conțin 99,2...99,7% Ti etc.

Se preferă materialele de aliere ce au greutatea specifică mare, în acest caz randamentul de asimilare a titanului fiind mai mare.

Ferotitanul se introduce în baia metalică cu puțin timp înainte de evacuare, fiind necesară în mod obligatoriu agitarea băii metalice, în caz contrar existând riscul ca în fontă să rămână cristale de ferotitan (acest risc este iminent dacă ferotitanul se introduce pe jetul de fontă lichidă în timpul evacuării fontei în oala de turnare chiar dacă există agitarea fontei lichide datorată turnării în oală).

Pierderile de titan prin oxidare sunt de maximum 50% dacă ferotitanul se introduce în baia metalică din cuptor și de 30...40% dacă ferotitanul se introduce pe jetul de fontă lichidă.

Aluminiul

Dacă încărcătura metalică are în componență sorturi metalice aliate cu aluminiu, în timpul topirii are loc oxidarea în totalitate a aluminiului – aluminiul trece ireversibil în zgură (nu poate fi recuperat).

Aluminiul se introduce în baia metalică sub formă de aluminiu tehnic și înainte de evacuarea din cuptor cu 5...10 min sau se introduce în stare lichidă în oala de turnare în timpul evacuării.

La modul general, pierderile de elemente chimice de bază și de aliere prin oxidare sunt cele prezentate în tabelul 2/F5.

Tabelul 2/F5

Pierderile prin oxidare ale unor elemente chimice de aliere și de bază în cazul elaborării fontei în cuptoare cu arc.

Elementul chimic	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Mo	V	W	Cu
Pierderile prin oxidare, în %	10... 25	10... 15	15... 30	2...7	0...4	30... 50	0...2	5... 10	5... 10	0

Cantitatea de material de aliere necesară alierii cu elementul de aliere E se calculează cu relația (29/F5).

$$Q_M = \frac{[\%E] - \langle \%E \rangle \left(\frac{100 - \%a_E}{100} \right)}{\%E_M \cdot \eta_E} \cdot 10^2, \quad (29/F5)$$

în care Q_m reprezintă cantitatea de material de aliere, în kg/100 kg de fontă; $[\%E]$ – proporția de element de aliere E din fonta propusă a fi elaborată; $\langle \%E \rangle$ – proporția de element de aliere E din încărcătură; $\%a_E$ – proporția de element de aliere E ce se pierde prin oxidare în timpul elaborării; $\%E_M$ – proporția de element de aliere E din materialul de aliere; η_E – randamentul de asimilare a elementului de aliere E din materialul de aliere de către baia metalică, în %.

Pentru exemplificare, în cazul în care se folosește ca material de aliere FeCr cu 40% Cr, conținutul de crom din fonta propusă spre elaborare este de 14%, proporția de crom din încărcătură este de 3%, proporția de crom ce se pierde prin oxidare în timpul elaborării este de 7% iar randamentul de asimilare a cromului din FeCr este de 67%, cantitatea de FeCr necesară alierii (Q_{FeCr}) se calculează cu relația (30/F5).

$$Q_{FeCr} = \frac{14 - 3 \left(\frac{100 - 7}{100} \right)}{40 \cdot \frac{67}{100}} \cdot 10^2 = 41,38 \text{ kg/100 kg fontă lichidă} \quad (30/F5)$$

În cazul în care încărcătura metalică nu conține elementul de aliere E, cantitatea de material de aliere ce se introduc în baia metalică se calculează cu relația (31/F5).

$$Q_M = \frac{[\%E] \cdot 10^2}{\%E_M \cdot \eta_E} \quad (31/F5)$$

Diluarea

Prin diluare se înțelege operația de micșorarea a conținutului unuia s-au mai multor elemente chimice din fonta lichidă și se realizează prin introducerea în baia metalică a materialului de diluare.

Materialul de diluare este un material metalic – fontă sau oțel – ce conține elementul chimic propus a i se micșora conținutul din fonta lichidă într-o porție mult mai mică decât fonta propusă a fi diluată.

Dacă se notează cu E elementul chimic a cărei proporție trebuie micșorată în fonta lichidă inițială (F.L.I.) și cu M.D. materialul de diluare, proporția de fontă lichidă inițială % x și proporția de material de diluare % y din amestecul final se calculează prin rezolvarea sistemului (32/F5).

$$\begin{cases} \frac{\%E_{F.L.I.}}{100} \cdot \%x + \frac{\%E_{M.D.}}{100} \cdot \%y = \%E_{F.F.} \\ \%x + \%y = 100 \end{cases} \quad (32/F5)$$

în care %E_{F.L.I.} reprezintă proporția de element chimic E din fonta lichidă inițială; % E_{M.D.} – proporția de element chimic E din materialul de diluare; % E_{F.F.} – proporția de element chimic E din fonta finală (după diluare).

Materialul de diluare poate fi în stările de agregare solidă sau lichidă.

Defosforarea și desulfurarea

Operațiile de desulfurare și defosforare se realizează cu materialele de natură chimică bazică și cu participarea zgurelor bazice ce conțin CaO și FeO în stare liberă, nelegată chimic, condiții ce nu pot fi asigurate în cuptoarele electrice cu încălzire prin arc electric căptușite cu material refractar de natură chimică acidă.

Căptușeala refractară de natură chimică acidă nu permite tratarea băii metalice sub zgură bazică.

Din motivele arătate anterior se impune ca încărcătura metalică să aibă conținuturile de fosfor și sulf mai mici decât conținuturile respective ale fontei propuse să fie elaborate, din cauză că nu este posibil să se conducă procese de desulfurare și defosforare și că unele materiale ce se introduc în cuptor conțin sulf și fosfor, contribuind la mărirea conținuturilor celor două elemente chimice în fonta lichidă.

În concluzie, în cuptoarele cu arc electric acide, nu se pot conduce procese de desulfurare și defosforare.

Alte tratamente

Baia metalică din cuptor poate fi agitată electromagnetic prin prevederea cuptorului cu arc electric, la partea inferioară, sub vatră, cu un agitator inductiv (agitarea electromagnetică determină mărirea suprafeței de contact dintre zgură și baia metalică, mărirea randamentului de asimilare a elementelor de aliere, intensificarea procesului de carburare etc.), poate fi

barbotată cu gaze inerte sau cu oxigen (cu oxigen se realizează afinarea iar cu gazele inerte se realizează degazarea, agitarea băii metalice etc.) etc.

Evacuarea zgurii

Înainte de evacuarea fontei din cuptor se realizează evacuarea zgurii din acesta.

În vederea evacuării zgurii din cuptor, se înclină cuptorul în spate, adică înspre ușa de încărcare și de lucru, până când partea superioară a stratului de zgură ajunge la nivelul pragului ușii de încărcare și de lucru. Ulterior, cu ajutorul sculelor consacrate este evacuată zgura din cuptor într-o cochilă metalică ce se află amplasată în apropierea ușii de încărcare și de lucru.

Evacuarea fontei lichide

În vederea evacuării fontei lichide se dezobturează orificiul de evacuare a fontei și apoi se înclină cuptorul în față – înspre jgheabul de evacuare a fontei.

În timpul evacuării fontei din cuptor, pe jetul de fontă se pot introduce materiale de aliere și inoculanți cu ajutorul unor buncăre prevăzute cu sistem de dozare, amplasate pe platforma de lucru și care acționează în urma rabaterii în zona de deasupra jgheabului de evacuare.

3. Modul de lucru

Lucrarea se efectuează la o societate comercială ce utilizează pentru elaborare cuptor electric cu încălzire prin arc electric căptușit cu căptușeală refractară de natură chimică acidă.

Practic se asistă la elaborarea fontei, urmărindu-se următoarele aspecte:

- notarea etapelor din fluxul tehnologic de elaborare ce se desfășoară;
- cronometrarea duratelor etapelor;
- notarea rezultatelor analizelor compoziției chimice;
- calculul materialelor de aliere;
- aprecierea cantității de zgură ce se evacuează;
- componența încărcăturii metalice;
- evoluția zgurii din punct de vedere cantitativ.

4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii

– părțile cuptorului ce se află sub tensiune trebuie să fie vopsite în culoare roșie și să fie prevăzute cu săgeți și inscripții contra atingerilor;

– manevrarea ușii de lucru trebuie să se facă mecanizat;

– arcul electric trebuie să fie stabilizat (să nu aibă întreruperi) într-o perioadă de timp minimă, cu scopul reducerii nivelului de zgomot;

– pentru protejarea personalului de lucru de radiația termică puternică a zgurii în timpul evacuării acesteia din cuptor prin ușa de lucru, se folosește un paravan de protecție căptușit cu plăci de azbest;

– după terminarea evacuării zgurii în cochilă se acoperă zgura cu un

strat de bauxită cu scopul micșorării intensității radiațiilor termice;

– ușa cuptorului este deschisă doar atât timp cât se fac intervenții asupra băii metalice;

– se acordă o mare atenție sortării materialelor metalice ce urmează a fi introduse în cuptor și ce ar exploda, cum ar fi proiectile, focoase, butelii, recipiente cu lichid inflamabil, vase închise etc.;

– înclinarea cuptorului ce conține baie metalică se realizează cu viteză mică;

– operația de prelungire a electrozilor se execută, în mod obligatoriu, cu cuptorul deconectat de la rețeaua electrică;

– în cazul întreruperii apei de răcire a inelelor de etanșare, cuptorul trebuie deconectat de la rețeaua electrică;

– alimentarea electrică a cuptorului trebuie făcută printr-un transformator ce să separe galvanic circuitul de alimentare al electrozilor de circuitul legat la rețeaua electrică;

– tensiunea maximă posibilă între electrozi nu trebuie să depășească valoarea de 250 V;

– conductoarele de alimentare a electrozilor împreună cu piesele de susținere trebuie să fie îngrădite împotriva atingerilor;

– înainte de bascularea cuptorului se verifică dacă mecanismul de basculare nu riscă să fie blocat de bucăți metalice;

– construcția metalică a cuptorului trebuie folosită drept conductor de protecție;

– în cazul introducerii uneltelor în cuptor, scula metalică se sprijină de o bară metalică orizontală fixată de construcția metalică a cuptorului și legată electric de construcția metalică a cuptorului;

– mânerul pentru reglarea manuală a electrozilor se leagă electric la pământ și trebuie acoperit cu un material electroizolant. Platforma pe care stă personalul care manipulează mânerul pentru reglarea electrozilor trebuie să fie izolată;

– construcția metalică a cuptorului se leagă prin sudură, în cel puțin două locuri, de instalația de legare la pământ a halei etc.

5. Interpretarea rezultatelor

Se trag concluzii asupra următoarelor aspecte:

– durata de elaborare;

– variația conținutului elementelor chimice ale fazei metalice de-a lungul duratei de elaborare;

– particularitățile fluxului tehnologic de elaborare față de varianta prezentată în referat.

6. Bibliografie

1. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și

Pedagogică. București. 1975.

2. Sofroni, L.Ripoșan, I., Brabie, V. și Chișamera, M. Turnarea fontei. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1985.

3. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Editura Samia. Iași. 2003;

4. Amza, Gh., Dumitru, G.M. și Rândașu, V.O. Tehnologia materialelor – vol. I. Editura Tehnică. București. 1997;

5. Brabie, V., Bratu, C. și Chira, I. Tehnologia elaborării și turnării oțelului. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1979.

6. Vacu, S., Dragomir, I. și Oprea, S. Metalurgie generală. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;

7. Tripsa, I., Oprea, F. și Dragomir, I. Bazele teoretice ale metalurgiei extractive. Editura Tehnică. București. 1967.

F6. Elaborarea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin arc cu căptușeala refractară de natură chimică bazică

1. Scopul

Scoaterea în evidență a particularităților elaborării fontei în cuptoare electrice cu arc căptușite cu material refractar de natură chimică bazică și calitatea fontei obținute în asemenea agregate de elaborare.

2. Considerații generale

Schema bloc a fluxului tehnologic de elaborare a fontei este identică cu schema bloc a fluxului tehnologic de elaborare a fontei în cuptorul electric cu arc căptușit acid prezentată la lucrarea F5 – figura 1/F5.

Caracteristicile elaborării fontei în cuptoarele cu arc electric bazice în raport cu cuptoarele căptușite acid sunt următoarele:

- încărcătura metalică este ieftină;
- se realizează desulfurare avansată;
- se pretează pentru elaborarea fontei cu grafit nodular deoarece se pot obține fonte lichide cu un conținut mic de sulf și fosfor;
- se pot realiza zguri cu proprietăți diferite. Astfel, se pot forma zguri oxidante și zguri dezoxidante, respectiv baia metalică se poate desulfura, defosfora și afina. De asemenea, poate fi condusă o topire reducătoare, situație în care se recuperează unele elemente de aliere;
- căptușeala refractară este mai scumpă;
- durabilitatea zidăriei pereților și bolții este mai mică;
- consumul specific de energie electrică este mai mare;
- durata elaborării este mai mare;
- fonta elaborată este mai scumpă;
- elaborarea necesită o atenție mai mică deoarece orice greșală în compunerea încărcăturii sau în compoziția chimică a fontei se poate elimina prin numărul mare de procese ce se pot desfășura;
- din cauza rezistenței electrice mai mici a zgurii bazice, temperatura fontei lichide obținute este mai mică, fluiditatea fontei este mai mică, ceea ce înseamnă că fonta se pretează mai puțin turnării de piese cu pereții subțiri;
- nu este posibilă regenerarea siliciului din zgură în baia metalică;
- zgura are permeabilitatea mai mare la gaze, ceea ce înseamnă că fonta se obține cu un conținut mai mare de gaze. La conținutul mai mare de gaze contribuie și gradul de puritate mai mic al încărcăturii metalice, consumul mai mare de fondanți etc;
- în tot timpul elaborării, conținutul de oxigen din fontă este mai mare din cauza prezenței unei cantități mai mari de FeO în zgură (FeO liber, nelegat chimic);
- pierderile de siliciu din încărcătura metalică în timpul topirii sunt foarte mari, [1], [2], [3], [4].

În continuare se prezintă etapele din fluxul tehnologic de elaborare.

Pregătirea încărcăturii

În principiu, pregătirea încărcăturii se realizează după aceleași considerente ca ale procedurii acid de elaborare – lucrarea F 5. Se precizează doar că gradul de puritate al încărcăturii metalice poate fi mai mic decât cel întâlnit la procedeul acid de elaborare datorită faptului că procedeul bazic de elaborare dispune de posibilitatea conducerii proceselor de defosforare, desulfurare, afinare etc.

Pregătirea agregatului de elaborare

Principala operație ce se execută este ajustarea ce reprezintă repararea căptușelii refractare a vetrei și peretelui cuvei, căptușeală ce a fost deteriorată în timpul elaborării interioare.

Ajustarea se realizează imediat după evacuarea fontei din cuptor, după aceleași reguli ale procedurii acid de elaborare ce au fost prezentate la lucrarea F 5.

Ca masă de ajustare, în practică, se utilizează următoarele variante, de exemplu:

- mortar de magnezită granulată preparat cu 10% var stins (stingerea varului se poate realiza chiar în amestecul refractar de bază) pentru căptușeala din planul zgurii – zona cea mai afectată, în timpul elaborării, din cauza interacțiunii dintre zgură și căptușeala refractară; în timpul topirii, de exemplu, SiO_2 ce ia naștere prin oxidarea siliciului din încărcătura metalică interacționează chimic cu MgO sau CaO din masa de ajustare – și zonele din vecinătatea stâlpilor ușii de lucru;

- mortar de 33,3% dolomită granulară și 66,6% magnezită granulară, amestec refractar de bază preparat cu 10% var stins pentru căptușeala din planul zgurii;

- mortar de magnezită granulară preparat cu silicat de sodiu pentru părțile cu pantă mare;

- magnezită granulată pentru vatră (părțile cu pantă mică și orizontale);

- dolomită granulată pentru vatră (părțile cu pantă mică și orizontale);

- magnezită granulară în amestec cu 10% liant carbonic (liantul carbonic este format din 85...90% smoală de cărbune deshidratată și 10...15% gudron din huilă) pentru părțile de căptușeală cu pantă mare etc., [5].

Materialul refractar de bază are mărimea granulației de 4...10 mm.

Se recomandă ca ajustarea să nu dureze mai mult de 10 min și să înceapă imediat după evacuarea șarjei anterioare.

Încărcarea

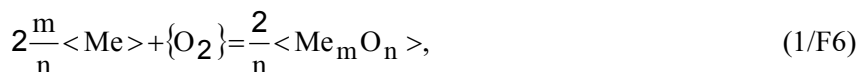
Se realizează conform aceluiași modalități ca ale procedurii acid de elaborare, prezentate la lucrarea F 5.

Topirea

Regimul termic al etapei de topire este identic cu regimul termic întâlnit la procedeul acid de elaborare – lucrarea F 5.

În timpul etapei de topire, din cauză că temperatura încălzirii metalice este cea mai mică în raport cu etapele ulterioare topirii din fluxul tehnologic de elaborare, sunt influențate, în sensul accelerării, procesele de oxidare a unor elemente chimice din încălzătura metalică, în special a acelor ce au afinitatea chimică față de oxigen mare.

La suprafața bucăților din încălzătura se formează o peliculă de oxizi, în special de SiO_2 , P_2O_5 , MnO , FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 etc., reacțiile de oxidare fiind de tipul (1/F6).



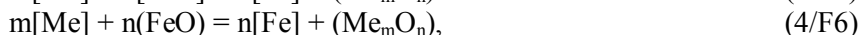
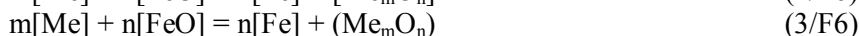
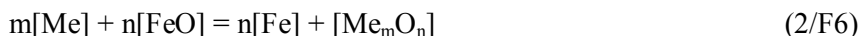
în care Me reprezintă elementul chimic din încălzătura metalică iar O_2 reprezintă oxigenul din atmosfera cuptorului.

Din pelicula de oxizi se desprind picături ce se acumulează pe vatra cuptorului.

În măsură ce se atinge temperatura solidus a încălzătării metalice solide, în funcție de natura componentului încălzătării metalice, se desprind picături de metal ce, în drumul lor, spre vatra cuptorului, dizolvă FeO din încălzătura. O parte din FeO se oxidează la formele superioare de oxizi de fier – Fe_3O_4 și Fe_2O_3 .

Toți oxizii ce nu se dizolvă în baia metalică trec în zgură, adică este vorba despre Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , MnO , P_2O_5 , SiO_2 , oxizii din rugină, oxizii materialelor pământoase aduse de încălzătura (nisip sinterizat, pământ propriuzis etc.) și oxizii sau compușii chimici din materialele de adaos (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO etc.).

O dată cu avansarea topirii încălzătării metalice, procesul de oxidare a unor elemente chimice din topitura metalică continuă cu o viteză din ce în ce mai mică pe măsură ce temperatura băii metalice se mărește, agentul oxidant fiind oxidul feros dizolvat în baia metalică – reacțiile chimice (2/F6) și (3/F6) – și oxidul feros din zgură – reacția chimică (4/6).



în care Me reprezintă elementul chimic din baia metalică, ce se oxidează. După ce baia metalică se saturează în oxizi de tipul $[\text{Me}_m\text{O}_n]$, are loc procesul de trecere a acestora din baia metalică în zgură – reacția chimică (5/F6).



Zgura ce se obține în timpul topirii se numește zgură primară și este formată, în principal, din următorii oxizi: FeO , MnO , SiO_2 și P_2O_5 .

Zgura primară își schimbă compoziția chimică în funcție de natura adaosului din încărcătură.

Pentru definitivarea zgurii, în funcție de scopul acesteia, se adaugă pe suprafața ei minereu de fier, var și fluorină.

Minereul de fier reglează puterea oxidantă a zgurii, întâlnindu-se în practica de elaborare trei categorii de zgură, acestea fiind următoarele:

- zgură neoxidantă – conține 2...3% FeO;
- zgură slab oxidantă – conține 3...10% FeO;
- zgură puternic oxidantă – conține 10...25% FeO.

Varul se adaugă pe suprafața zgurii cu scopul măririi bazicității acesteia, în practică utilizându-se 1...3% var.

Fluorina, ce conține CaF_2 , se utilizează cu scopul măririi fluidității zgurii, adică pentru mărirea activității metalurgice, cantitatea ce se adaugă fiind de ordinul 0,1...1%.

Compoziția chimică a zgurii finale se încadrează între limitele prezentate în tabelul 1/F6, în cazul în care fonta ce se elaborează nu este aliată.

Tabelul 1/F6

Compoziția chimică a zgurii finale în cazul procedurii bazice de elaborare în cuptorul electric cu arc și valoarea coeficientului de bazicitate, în circumstanțele unei fonte nealiate.

Compoziția chimică, în %							Coeficientul de bazicitate
SiO ₂	CaO	FeO+ Fe ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO	
6...20	30...65	2...25	1...15	1...3	max.3	7...10	2,0...2,5

O zgură bazică face parte din sistemul ternar SiO₂-CaO-FeO.

Dacă fonta ce se elaborează este aliată, și cu atât mai mult cu cât încărcătura metalică conține sorturi metalice aliate, zgura finală conține și oxizi ai elementelor chimice de aliere, după caz.

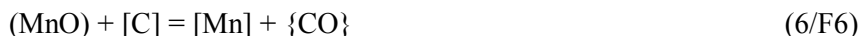
Într-o zgură bazică se pot întâlni următorii compuși chimici complecși: $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ și $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$. O importanță aparte are compusul chimic ortosilicatul de calciu – $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. În vecinătatea saturării zgurii în CaO, se formează cristale solide de ortosilicat de calciu ce micșorează accentuat fluiditatea zgurii, făcând-o inactivă din punct de vedere metalurgic – în acest caz procesele de desulfurare și defosforare sunt frânate. În scopul evitării unei asemenea situații cu consecințe negative, varul se adaugă sub formă de porții, adică treptat, pe măsură ce crește temperatura. Adaosuri mai mari de var, fără să fie afectată fluiditatea zgurii, sunt posibile în circumstanțele în care, în zgură, se adaugă în prealabil fluorină.

În timpul topirii, pierderile de siliciu prin oxidare sunt foarte mari. De exemplu, la o bazicitate a zgurii de valoare 2, conținutul de siliciu scade de la 2%, cât era în încărcătură, la 0,8%, spre finalul etapei de topire.

MnO ce rezultă în urma oxidării manganului din baia metalică cu oxigenul din atmosfera cuptorului și cu FeO din zgură, este insolubil în baia

metalică, separându-se în zgură sub formă de particule solide (temperatura de topire a MnO este de 1.780°C). În zgură, MnO formează cu FeO soluții de tipul $m \text{MnO} \cdot n \text{FeO}$ ce au temperatura de topire cu atât mai mică cu cât proporția de FeO din soluție este mai mare (temperatura de topire a soluției $m \text{MnO} \cdot n \text{FeO}$ variază în intervalul 1.370...1.785°C).

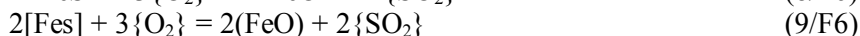
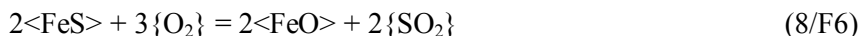
În cazul temperaturilor mari, MnO din zgură poate fi redus de către carbonul și fierul din baia metalică, conform reacțiilor chimice (6/F6) și (7/F6), însă în cazul rapoartelor mari (MnO)/(FeO).



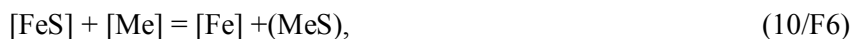
Pierderile de mangan prin oxidare sunt cuprinse în intervalul 15...30% iar viteza de oxidare a manganului este circa 0,08% Mn/h.

În timpul topirii, carbonul se oxidează cu oxigenul din atmosfera cuptorului și cu oxidul feros din zgură, viteza de oxidare a carbonului fiind de circa 4,8%/h.

În timpul topirii are loc un proces de desulfurare, 50% din cantitatea de sulf din încărcătură oxidându-se conform reacției chimice (8/F6) dar și reacției chimice (9/F6).



Elementele chimice din baia metalică ce au afinitatea chimică față de sulf mai mare decât a fierului, determină micșorarea conținutului de sulf din fonta lichidă, conform unor reacții chimice de tipul (10/F6).

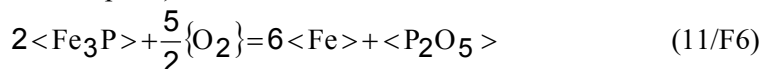


în care Me reprezintă elementul chimic din baia metalică ce are afinitatea chimică față de sulf mai mare decât a fierului (se acceptă că în baia metalică sulful se află sub formă de FeS). Pentru fontele obișnuite nealiate, elementul chimic mangan este cel ce determină desulfurarea fontei lichide conform reacției chimice (10/F6), în acest caz reacția (10/F6) fiind exotermă și atenționând asupra faptului că are loc cu atât mai intens cu cât temperatura băii metalice este mai mică, adică în timpul topirii (MnS ce se formează conform reacției chimice (10/F6) parțial dizolvă FeS, formând soluții în baia metalică și parțial trece în zgură). Deoarece conținutul de mangan este restrictiv, în cazul multor categorii de fontă, nu se contează pe elementul chimic mangan în procesul de desulfurare.

Elementele chimice din baia metalică ce au afinitate chimică față de oxigen mare determină micșorarea solubilității sulfurului în fonta lichidă.

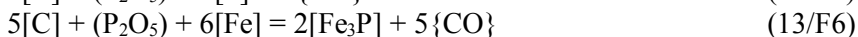
În timpul topirii, circa 5% din cantitatea de sulf din încărcătură trece în zgură.

Elementul chimic fosfor este al doilea element chimic după siliciu ce se oxidează în timpul topirii cu oxigenul din atmosfera cuptorului – reacția de oxidare fiind (11/F6) (în fonta solidă se consideră că fosforul se află sub formă de Fe_3P în cea mai mare parte).



În fonta lichidă fosforul se află în soluție – sub formă de Fe_3P (după unii autori se află sub formă de Fe_2P).

După apariția zgurei primare lichide, P_2O_5 din zgură este redus de către elementul chimic carbon din baia metalică conform reacțiilor chimice (12/F6) și (13/F6), baia metalică refosforându-se.



În condiții normale de lucru, defosforarea băii metalice este neînsemnată, pentru defosforare fiind nevoie de zgură cu proprietăți speciale, așa cum se va prezenta în continuare.

Variația conținutului de gaze din faza metalică în timpul topirii, este asemănătoare celei prezentate la procedeul acid de elaborare.

În cazul în care încărcătura metalică conține sorturi aliate, pierderile de elemente chimice de aliere prin oxidare, în timpul topirii, sunt mai mari decât cele prezentate în cazul procedeului acid de elaborare (prezentate la lucrarea F5), din cauza conținutului mai mare de oxid feros liber în zgura bazică.

Supraîncălzirea în stare lichidă

Temperatura maximă la care se poate supraîncălzi fonta în stare lichidă este de 1.500...1.600°C.

Randamentul termic la supraîncălzire în stare lichidă variază între limitele 15...25%, adică are valori mici, ceea ce înseamnă că o dată cu mărirea gradului de supraîncălzire, se mărește și consumul specific de energie electrică.

Supraîncălzirea urmărește în principal următoarele două aspecte:

– dezactivarea germenilor eterogeni ce au o influență necontrolată asupra structurii metalografice a fontei. În timpul supraîncălzirii, particulele solide de oxizi, sulfuri, nitruri, boruri, carburi, compuși chimici complecși și grafit ce au mărirea sub 10 μm se dizolvă parțial în matricea metalică lichidă sau se separă în zgură și datorită fenomenului de coagulare (unirea a două sau mai multe particule solide);

– crearea unei structuri a fontei lichide ce să determine la transformarea eutectică obținerea unui număr mare de celule eutectice cu grafit fin și uniform repartizat în matricea metalică.

Efectele concrete ale supraîncălzirii în stare lichidă sunt prezentate la lucrarea F 3.

Cu cât temperatura de supraîncălzire este mai mare, cu atât o cantitate

mai mare de oxigen trece, prin intermediul zgurii, din atmosfera cuptorului în baia metalică. Pe măsură ce crește puterea de oxidare a zgurii (proportia de oxid feros liber) cu atât mai mult oxigen este transferat din atmosfera cuptorului în baia metalică.

Cu cât temperatura de supraîncălzire este mai mare, zgura devine mai oxidantă deoarece reacția chimică (14/F6) se desfășoară cu atât mai mult de la stânga spre dreapta, conținutul de oxigen din baia metalică scade cu atât mai mult, ceea ce înseamnă că este îndeplinită cu atât mai mult inegalitatea (15/F6) – o zgură este cu atât mai oxidantă cu cât inegalitatea (15/F6) este mai mult îndeplinită.



în care $a_{(\text{O})}$ reprezintă activitatea termodinamică a oxigenului în zgură iar $a_{[\text{O}]}$ reprezintă activitatea termodinamică a oxigenului în baia metalică.

Tratamente metalurgice ale topiturii metalice în agregatul de elaborare

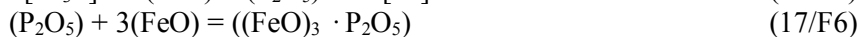
Operațiile de dezoxidare, carburare, decarburare, degazare, demanganizare, desiliciere, aliere, diluare și alte tratamente se realizează în mod similar cu cele de la procedeul acid de elaborare.

Defosforarea

În cazul cuptorului căptușit bazic există toate condițiile de defosforare avansată a fontei lichide, atât la temperaturi mici – în timpul topirii – cât și la temperaturi mari – în timpul supraîncălzirii în stare lichidă.

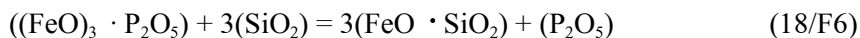
Defosforarea se realizează prin intermediul zgurii cu putere de oxidare mare (10...25% FeO) și bazice (bazicitatea, b, trebuie să aibă valori în intervalul 1,5...2,5).

Fosforul din baia metalică este oxidat de către FeO din zgură rezultând P_2O_5 în zgură – reacția chimică (16/F6) – după care P_2O_5 din zgură interacționează cu FeO din zgură formând fosfat triferos – reacția chimică (17/F6).



Creșterea puterii oxidante a zgurii se realizează prin adăugarea pe suprafața ei de minereu de fier.

Dacă zgura nu are bazicitate mare, fosfatul triferos, fiind instabil din punct de vedere chimic, este redus de către SiO_2 liber din zgură – reacția chimică (18/F6).

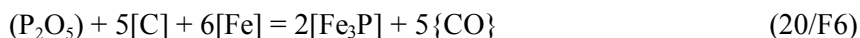


Conform reacției chimice (18/6) pentaoxidul de fosfor este eliberat în

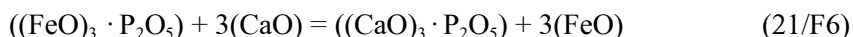
zgură și este redus ușor de către carbonul din baia metalică – reacția chimică (19/F6) – astfel, realizându-se refosforarea băii metalice.



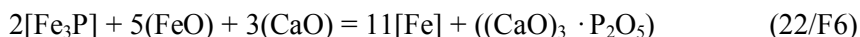
Reacția chimică (19/F6) poate avea loc și sub forma (20/F6).



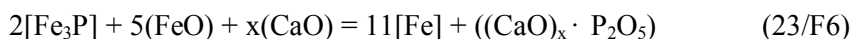
Dacă zgura are bazicitate mare, fosfatul triferos este redus de către CaO din zgură, liber, formându-se fosfat tricalcic și oxid feros, în zgură – reacția chimică (21/F6).



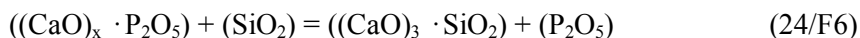
Formarea fosfatului tricalcic poate fi observată și prin adunarea reacțiilor chimice (16/F6), (17/F6) și (21/F6), aplicându-se legea lui Hess, astfel, obținându-se reacția chimică (22/F6).



În funcție de mărimea bazicității zgurei, în realitate, reacția chimică (22/F6) are forma (23/F6).



Reducerea $(CaO)_x \cdot P_2O_5$ din zgură de către SiO_2 liber din zgură poate avea loc chiar și în cazul în care x are valoarea 4 – în cazul fosfatului tetracalcic –, reacția chimică (24/F6) având loc cu atât mai ușor cu cât x are valori mai mici (pentru cazul în care $x = 2$, reacția chimică (24/F6) are loc foarte ușor).



Cazul $x = 4$ corespunde zgurelor suprabazice ce se pot obține doar în cazul gradelor de supraîncălzire foarte mari.

Din cauza desfășurării reacției chimice (24/F6), se recomandă ca pe măsură ce reacția chimică (23/F6) se desfășoară, zgura să se elimine din cuptor, în acest fel eliminându-se și riscul de desfășurare a reacțiilor chimice (24/F6) și (19/F6), respectiv (20/F6), adică riscul de refosforare a băii metalice.

În mod curent, după terminarea topirii și supraîncălzirea la temperatura de maximum 1.400°C, zgura se elimină din cuptor, o dată cu aceasta eliminându-se și $(CaO)_x \cdot P_2O_5$, adică eliminându-se și fosforul din cuptor – din baia metalică.

Procesul de oxidare a fosforului este exoterm, adică are loc cu atât mai intens cu cât temperatura este mai mică. Prin urmare, defosforarea are

intensitate maximă doar în timpul topirii.

Cazul practic de defosforare se recomandă să fie condus pentru valoarea 3 a lui x , conform reacției chimice (23/F6).

Se recomandă ca încărcătura metalică ce urmează să fie supusă operației de defosforare să nu conțină sorturi aliate deoarece există riscul de pierdere de elemente chimice de aliere ale căror oxizi s-ar elimina din cuptor o dată cu zgura.

În cazul temperaturilor foarte mari, dacă în fonta lichidă s-ar insufla oxigen, ar fi posibilă defosforarea băii metalice conform procesului (25/F6), [6].



Desulfurarea

În principal, desulfurarea se realizează prin intermediul zgurii, dar poate avea loc și prin intermediul elementelor chimice desulfurante din baia metalică.

Datorită faptului că fonta are conținutul de carbon mare, coeficientul de activitate termodinamică a sulfului în fonta lichidă are valoare mare, ceea ce determină o desulfurare avansată a fontei și cu viteză mare.

Desulfurarea se bazează pe afinitatea chimică față de sulf mai mare a unor elemente chimice în raport cu fierul. Asemenea elemente chimice sunt Mn, Ca, Mg, Ce etc. În cazul cuptorului cu arc bazic, se realizează eficient desulfurarea prin intermediul elementului chimic calciu.

Calciul se utilizează sub formă de CaO ce se introduce în zgură sub formă de var nestins, cunoscut în tehnică sub denumirea de var.

Procesul de desulfurare este unul de interacțiune zgură-baie metalică, ceea ce înseamnă că ar trebui să asigure o suprafață de contact dintre cele două faze cât mai mare. Agitarea băii metalice – vehicularea ei – se poate realiza prin utilizarea unui inductor ce se amplasează sub cuptor. În lipsa unui asemenea inductor, desulfurarea are la bază difuzia sulfului prin baia metalică, conform legilor difuziei, concret de la partea inferioară a băii metalice spre suprafața acesteia.

Reacția chimică, de bază, de desulfurare este (26/F6).



Reacția (26/F6) decurge cu pierderea de fier din baia metalică, ceea ce nu este convenabil și, în plus, reacția aceasta este frânată pe măsură ce crește conținutul de FeO în zgură. Constanta de echilibru a reacției chimice (26/F6) are valoarea (27/F6).

$$K = \frac{a_{(CaS)} \cdot a_{(FeO)}}{a_{[FeS]} \cdot a_{(CaO)}} = \frac{f_{(CaS)} \cdot (CaS) \cdot f_{(FeO)} \cdot (FeO)}{f_{[FeS]} \cdot [FeS] \cdot f_{(CaO)} \cdot (CaO)}, \quad (27/F6)$$

în care f reprezintă coeficientul de activitate termodinamică; a – activitatea

termodinamică, (CaS), (FeO) și (CaO) – concentrațiile de CaS, FeO și respectiv de CaO din zgură; [FeS] – concentrația de FeS din baia metalică; K – constanta de echilibru a reacției chimice (26/F6).

Raportul de repartiție a sulfului – L_S – poate fi scris sub forma (28/F6).

$$L_S = \frac{(CaS)}{[FeS]} = \frac{K \cdot f_{[FeS]} \cdot f_{(CaO)} \cdot (CaO)}{f_{(CaS)} \cdot f_{(FeO)} \cdot (FeO)}, \quad (28/F6)$$

În circumstanțele unor comportări ideale ale soluțiilor sau într-o primă aproximare, coeficienții de activitate termodinamică sunt egali cu unitatea, L_S devenind (29/F6).

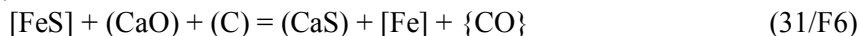
$$L_S = K \frac{(CaO)}{(FeO)} \quad (29/F6)$$

Procesul de desulfurare este cu atât mai avansat cu cât L_S are valori mai mari, adică cu cât conținutul de CaO din zgură este mai mare și cu cât conținutul de FeO din zgură este mai mic. Conținut mare de CaO în zgură se obține prin adaos de var iar conținut mic de FeO în zgură se obține prin reducerea acestuia cu carbon conform reacției chimice (30/F6).



Carbonul din zgură se obține prin adaosul pe suprafața acesteia de cocs.

Deoarece reacțiile chimice (26/6) și (30/6) fac parte dintr-un mecanism de reacție, conform legii lui Hess, se pot aduna, rezultând reacția chimică (31/F6).



Deoarece CO părăsește spațiul de reacție, reacția chimică (31/F6) este ireversibilă, desfășurându-se numai de la stânga spre dreapta.

Procesul (26/F6) este endoterm, relația (29/F6) arătând că un raport de repartiție a sulfului mare se obține atunci când K este mare, adică atunci când temperatura este mare. Practic, după etapa de topire și după supraîncălzirea băii metalice la temperaturi din intervalul 1.400...1.450°C, se elimină din cuptor zgura, după care se realizează o zgură nouă ce trebuie să fie bazică, să aibă un conținut mic de FeO și să fie activă din punct de vedere chimic (să fie fluidă). O asemenea zgură activă de desulfurare se realizează în cantitate de 2...5% din fonta lichidă supusă desulfurării prin adaos de var, fluorină și cocs în proporția (32/F6).

$$\text{var: fluorină: cocs} = (6... 12) : (2...3) : (1...4) \quad (32/F6)$$

Desulfurarea fontei se realizează prin menținerea băii metalice sub zgura desulfurantă timp de 0,2...1,0 h.

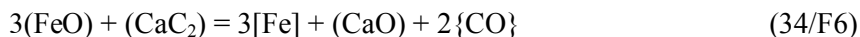
În mod curent, zgura desulfurantă se obține prin adaosurile următoare: 12... 14 kg var, 4...6 kg fluorină și 2...4 kg cocs.

Fluorina ce se adaugă pentru formarea zgurii are rol de a mări acesteia fluiditatea, dar și bazicitatea.

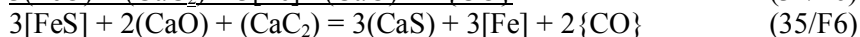
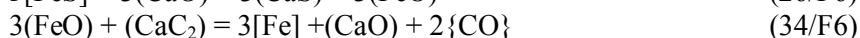
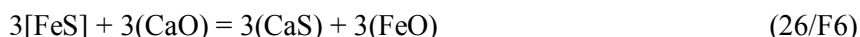
Carbonul din cocsul introdus, pentru formarea zgurii, are rolul de reducere a FeO, dar interacționează și cu CaO, sub influența arcului electric, formând CaC₂ conform reacției chimice (33/F6).



CaC₂ format contribuie la reducerea FeO din zgură conform reacției chimice (34/F6).



Adunând reacțiile chimice (26/F6) și (34/F6), în situația în care fac parte din același mecanism de reacții chimice, se obține procesul de desulfurare cu participarea CaC₂ – (35/F6).



Formarea de CaC₂, prin intermediul reacției chimice (34/F6), contribuie la micșorarea conținutului de FeO din zgură până la 0,1...0,2%. O asemenea zgură ce conține și 2...3% CaC₂ se numește zgură carbidică după denumirea substanței carbid ce conține în principal CaC₂ și CaO.

Datorită procesului (35/F6) o zgură carbidică accelerează procesul de desulfurare a fontei.

Se apreciază un consum de energie electrică în timpul desulfurării de 20...60 kWh/t.

Mentținerea băii metalice o perioadă mai mare de timp sub zgura desulfurată prezintă riscul resulfurării băii metalice conform reacției chimice (36/F6).



Dacă în cuptorul cu arc se asigură o atmosferă reducătoare, reacția chimică (36/F6) nu are condiții să se desfășoare. Atmosfera reducătoare se obține chiar de către cocsul cu care se formează zgura prin CO la care dă naștere. În atmosfera cuptorului, CO are condiții termodinamice să interacționeze cu O₂ formând CO₂, ceea ce înseamnă un disponibil mai mic de O₂ ce să conducă la desfășurarea reacției de resulfurare a băii metalice. De aceea, în cuptorul cu arc electric bazic se pot realiza adevărate performanțe în ceea ce privește obținerea de conținuturi foarte mici de sulf și, așa cum s-a prezentat anterior, și de fosfor, adică se poate elabora o fontă ce se supune modificării în vederea obținerii fontei cu grafit nodular sau alte fonte speciale.

Evacuarea

Se face în mod asemănător ca la procedeul acid de elaborare.

3. Modul de lucru

Lucrarea se efectuează la o societate comercială ce utilizează pentru elaborarea fontei cuptor electric cu încălzire prin arc electric căptușit cu căptușeală refractară de natură chimică bazică.

Practic se asistă la elaborarea fontei, urmărindu-se următoarele aspecte:

– notarea etapelor din fluxul tehnologic de elaborare ce se desfășoară efectiv;

– notarea rezultatelor analizelor compoziției chimice;

– calculul materialelor de aliere;

– aprecierea cantității de zgură ce se evacuează din cuptor;

– componenta încărcăturii metalice;

– evoluția zgurii din punct de vedere cantitativ.

4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii

Măsurile speciale de asigurare a securității muncii sunt identice cu acelea prezentate la lucrarea F5.

5. Interpretarea rezultatelor

Se trag concluzii asupra următoarelor aspecte:

– durata de elaborare;

– variația conținutului elementelor chimice ale fazei metalice de-a lungul duratei de elaborare;

– particularitățile fluxului tehnologic de elaborare aplicat față de varianta prezentată în referat.

6. Bibliografie

1. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Iași. Editura Samia. 2003;
2.Sofroni, L.Ripoșan, I., Brabie, V. și Chișamera, M. Turnarea fontei. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1985.

3.Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975.

4.Brabie, V., Bratu, C. și Chira, I. Tehnologia elaborării și turnării oțelului. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1979.

5.Rău, A. și Tripsa, I. Metalurgia oțelului. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1973.

6.Vacu, S. ș.a. Elaborarea oțelurilor aliate. Editura Tehnică. Vol. I. București. 1980.

F8. Elaborarea fontei în cubiloul clasic

1. Scopul

Scoaterea în evidență a particularităților elaborării fontei în cubilou și a calității fontei obținute în asemenea agregat de elaborare.

2. Considerații generale

În figura 1/F8 se prezintă schematic principiul de funcționare a cubiloului.

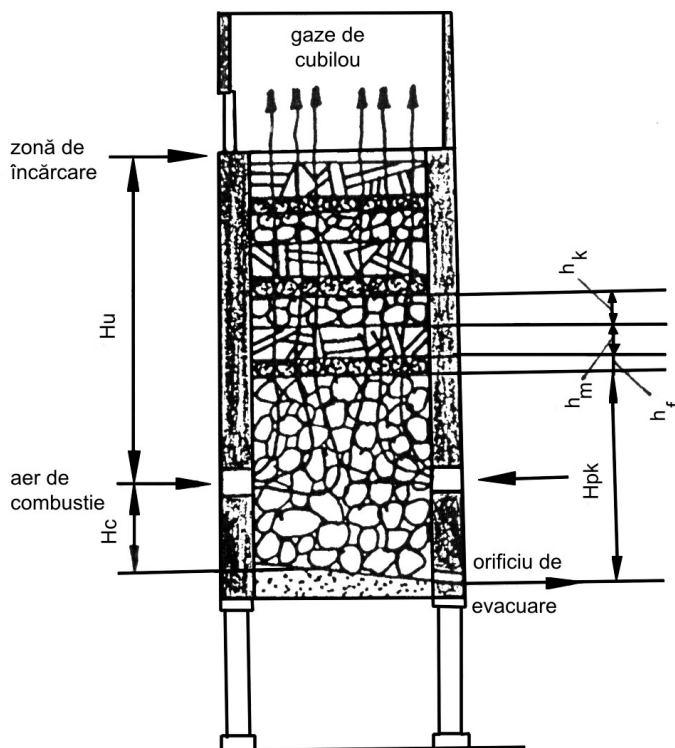


Fig. 1/F8. Schița principiului de funcționare a cubiloului: H_u – înălțimea utilă; H_c – înălțimea creuzetului; H_{pk} – înălțimea patului de cocs; h_f – înălțimea porției de fondant; h_m – înălțimea porției de metal; h_k – înălțimea porției de cocs.

Cubiloul este un agregat tip cuvă – dezvoltat pe verticală.

Încărcătura cubiloului este formată dintr-un pat de cocs ce are înălțimea H_{pk} , situat la partea inferioară și porții de încărcătură formate din fondant de înălțime h_f , metal de înălțime h_m și cocs de înălțime h_k , amplasate de jos în sus în ordinea enumerată.

Cocsul se numește de turnătorie.

Partea inferioară a cubiloului se numește creuzet și are înălțimea H_c . Denumirea de creuzet este justificată de faptul că în această zonă se acumulează

fonta elaborată.

Pe la partea superioară a creuzetului, există niște orificii cu secțiunea dreptunghiulară (lungimea dreptunghiului este pe orizontală iar lățimea dreptunghiului este pe verticală) prin care se insuflă aer de combustie, adică aer ce cu oxigenul ce-l conține contribuie la arderea cocsului de turnătorie.

Arderea cocsului de turnătorie se face pe o înălțime din patul de cocs denumită zonă de ardere – z.a. – așa cum se observă din figura 2/F8.

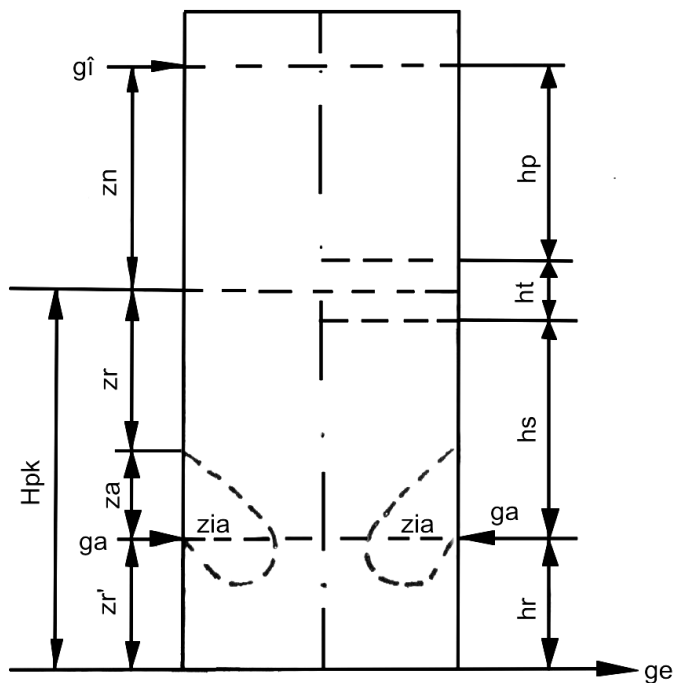
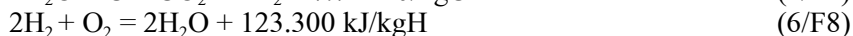
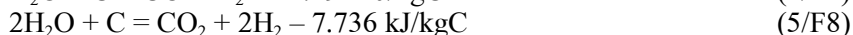
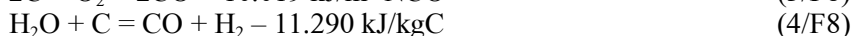
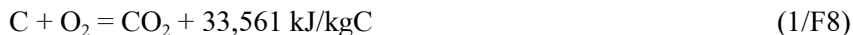


Fig. 2/F8. Schiță reprezentând amplasarea zonelor de ardere, reducere, neutră și termice pe înălțimea cubiloului: g.a. – nivelul gurilor de aer; g.î. – nivelul gurii de încărcare; g.e. – nivelul gurii de evacuare a fontei; z.r.' – zona de reducere din creuzetul cubiloului; z.a. – zona de ardere; z.r. – zona de reducere de la partea superioară a patului de cocs; z.n. – zona neutră; hr – înălțimea zonei de răcire; hp – înălțimea zonei de preîncălzire; ht – înălțimea zonei de topire; hs – înălțimea zonei de supraîncălzire; z.i.a. – zona de influență a aerului.

Deoarece orificiile de insuflare a aerului de combustie au o înclinație înspre partea inferioară, influența aerului de combustie se extinde și sub nivelul la care sunt amplasate acestea – z.i.a., în figura 2/F8. Orificiile de insuflare a aerului de combustie se numesc guri de aer iar nivelul la care sunt amplasate se numește nivelul gurilor de aer și se notează cu g.a. în figura 2/F8.

Înălțimea zonei de ardere variază între limitele 400...600 mm.

În zona de ardere au loc următoarele reacții chimice, [1]:



Din reacțiile chimice (1/F8)...(7/F8) se observă că majoritatea sunt exoterme (semnul plus de după reacțiile chimice semnifică degajare de căldură iar semnul minus semnifică absorbție de căldură).

Scopul cubiloului este topirea și supraîncălzirea unei încărcături metalice – a porțiilor de metal – într-o atmosferă cât mai neutră sau, dacă s-ar putea, cât mai reducătoare.

Reacția chimică cea mai importantă ce are loc în zona de ardere este reacția chimică de ardere completă (1/F8) deoarece are efectul caloric cel mai mare. Reacția chimică (1/F8) are, în schimb și inconvenientul că generează CO_2 ce este un gaz oxidant (de exemplu, generează reacțiile chimice (8/F8) și (9/F8) la partea superioară a cubiloului și reacția chimică puternic endotermă (7/F8) ce se mai numește reacția de gazificare a carbonului sau reacția Bell-Boudouard).



Prođușii de reacție ai reacțiilor (1/F8)...(7/F8) sunt în stare gazoasă și constituie baza gazelor de cubilou ce se formează în zona de ardere. La aceste componente gazoase se adaugă și azotul conținut de aerul de combustie. Gazele de cubilou se evacuează înspre partea superioară a cubiloului printre bucățile de cocs incandescent și picăturile de metal, în zona de ardere.

Aerul de combustie poate fi normal (21% O_2 și 79% N_2), normal și preîncălzit la temperaturi de 250...600°C, îmbogățit în oxigen până la 23% etc. Debitul specific al aerului de combustie variază în intervalul 60...200 $m^3/m^2 \text{ min}$.

Aerul de combustie se poate insufla printr-un rând, două rânduri sau chiar trei rânduri de guri de aer. Cel mai convenabil este cazul în care aerul de combustie se insuflă prin două rânduri de guri de aer, distribuindu-se în părți egale în cele două rânduri de guri de aer, acest sistem purtând denumirea de cubilou cu aer redistribuit. În principal, la cubiloul cu aer redistribuit, oxigenul introdus prin rândul al doilea de aer (rândul al doilea este situat la partea superioară) reacționează cu CO provenit din arderea incompletă a carbonului cu aerul introdus prin primul rând de guri de aer și formează CO_2 rezultând o cantitate suplimentară de căldură.

La partea superioară a zonei de ardere aproape tot oxigenul din aer este consumat de către procesele de ardere.

Aerul de combustie provine la gurile de aer prin intermediul unor racorduri de la o cutie de aer ce de fapt reprezintă o conductă inelară ce are secțiunea transversală circulară dacă aerul de combustie este preîncălzit și

secțiunea dreptunghiulară dacă aerul de combustie este rece. În conducta inelară aerul de combustie provine de la ventilatoare cuplate în paralel sau în serie sau de la un ventilator prin intermediul unei conducte de aducțiune. În cazul aerului de combustie redistribuit există două cutii de aer.

Zona de pe înălțimea cubiloului de la partea superioară a zonei de ardere și până la partea superioară a patului de cocs se numește zona de reducere –zr în figura 2/F8. Înălțimea zonei de reducere este de 500...700 mm.

Reacția chimică preponderentă ce are loc în zona de reducere este aceea de gazificare a carbonului – (7/F8) – respectiv de interacțiune a CO₂ cu carbonul din cocs, reacție chimică puternic endotermă ce determină micșorarea temperaturii gazelor de cubilou.

De la partea superioară a patului de cocs până la nivelul gurii de încărcare (gî), înălțimea cubiloului se numește zonă neutră (zn), în această zonă, având loc disocierea carbonatului de calciu (disocierea fondantului) – reacția chimică (10/F8), în mică măsură reducerea bioxidului de carbon din gaze de către carbonul din cocs (din porția de cocs), evaporarea apei din fondant și cocs, degajarea volatilelor din cocs, oxidarea unor elemente chimice din încărcătura metalică de către bioxidul de carbon din gazele de cubilou conform unor reacții chimice de forma (11/F8) etc.



în care Me reprezintă elementul chimic din încărcătura metalică.

Practic, pe înălțimea zonei neutre se află porțiile de încărcătură.

Înălțimea totală a zonelor de ardere, reducere și neutră se numește înălțimea utilă a cubiloului – Hu, în figura 1/F8.

De la nivelul gurii de încărcare prin care se încarcă în cubilou porțiile de metal, cocs și fondant și până în apropierea părții superioare a patului de cocs bucățile de metal din porțiile de metal se preîncălzesc – hp în figura 2/F8.

În zona de preîncălzire coloana de încărcătură coboară cu viteza de 0,1...0,2 m/min datorită arderii carbonului din cocs în zona de ardere, gazificării carbonului din cocs de către bioxidul de carbon din gazele de ardere, carburării metalului lichid, eliminării volatilelor din cocs etc.

Porția metalică poate fi formată din unu până la cinci sorturi metalice sau chiar mai multe, în funcție de tipul de fontă propusă să se elaboreze. Sorturile metalice pot reprezenta fonta brută, fonta veche, deșeurile proprii, oțelul vechi, deșeurile de oțel, feroaliajele, prealiajele, elementele brute de aliere și chiar elementele rafinate de aliere. În porția metalică poate să figureze și șpanul de fontă sau oțel ce se introduce cu dispozitive speciale până în apropierea zonei de topire.

Bucățile de metal din porțiile de metal se încălzesc de la gazele de cubilou, de la suprafață spre interior. Cu cât bucățile de metal au dimensiuni mai mici, cu atât durata de încălzire pe toata grosimea bucăților de metal va fi mai mică.

În zona de preîncălzire au loc și transformări de fază în bucățile de metal, însoțite de variații de volum semnificative – transformările perlitei în austenită, feritei în austenită, austenitei în ferită δ etc. Foarte importantă este descompunerea cementitei, descompunere în fier și grafit, însoțită de o mărire de volum de 2% pentru 1% carbon sub formă de grafit (în ansamblu, mărirea volumului poate ajunge până la 1% în cazul fontei cenușii și până la 5% în cazul fontei albe). Asemenea transformări conduc la mărirea stării de tensiuni, la apariția de crăpături. Se menționează și diferența dintre coeficientul de dilatare al matricei metalice și cel al grafitului. Crăpăturile și fisurile conduc la mărirea suprafeței de contact dintre gazele de cubilou și încărcătura metalică solidă.

În vecinătatea părții superioare a patului de cocs se află zona de topire – ht, în figura 2/F8.

Topirea bucăților de metal din porțiile de metal începe la limita grăunților metalografici sau a cristalelor aciculare, precum și la limita dintre matricea metalică, pe de o parte, și grafit, cementită, eutectic fosforos etc., pe de altă parte. Faza metalică lichidă apare în stare punctiformă. O dată cu mărirea temperaturii, numărul de separări punctiforme de lichid se mărește, de exemplu, grăunții metalografici învelindu-se într-o peliculă de lichid, pelicula înaintând înspre interiorul grăunților metalografici. Materializarea acestor fenomene constă în apariția picăturilor de metal ce încep să coboare prin cuva cubiloului. Frontul de topire înaintează înspre interiorul bucăților de metal până ce acestea se tocesc în întregime.

În timpul topirii bucăților de metal, coloana de încărcătură este în continuă mișcare – coboară –, ceea ce înseamnă că topirea se realizează pe o anumită înălțime (200...300 mm).

Necesarul de căldură pentru topirea unui kilogram de încărcătură metalică ce se topește la o temperatură medie de 1.125°C este de circa 47 cal, într-o perioadă de timp de minimum 4,5 min.

Picăturile metalice ce se desprind din bucățile de metal parcurg o zonă de supraîncălzire ce se întinde la partea inferioară a zonei de topire până la nivelul gurilor de aer – hs, în figura 2/F8.

Picăturile metalice curg printre bucățile de cocs incandescent sau se preling peste acestea, după caz, așa cum se prezintă în figura 3/F8.

Prezența bioxidului de carbon și a oxigenului în gazele de ardere determină oxidarea parțială a fierului și a unor elemente chimice însoțitoare ale acestuia din picăturile metalice, ceea ce generează o peliculă de zgură în jurul picăturilor.

Picăturile metalice se supraîncălzesc de la cocsul incandescent și de la gazele de cubilou în modul următor:

- prin convecție, de la gaze;
- prin radiație, de la gaze;
- prin conductibilitate, de la cocsul incandescent (50...70%);
- prin radiație, de la cocsul incandescent.

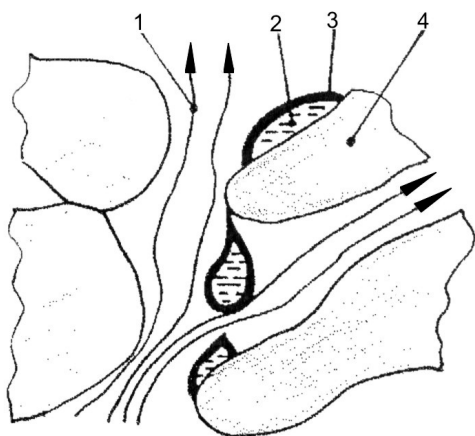


Fig.3/F8. Schiță reprezentând modul de coborâre al picăturilor metalice: 1 – gaze de cubilou în curs de evacuare; 2 – picătură metalică; 3 – peliculă de zgură; 4 – bucată de cocs incandescent.

Înălțimea creuzetului coincide și cu zona de răcire – hr, în figura 2/F8 – respectiv cu zona în care picăturile se răcesc.

Zona de răcire reprezintă din punct de vedere termodinamic o zonă de reducere, notată cu zr' în figura 2/F8.

În creuzetul cubiloului, picăturile metalice se acumulează sub formă de baie printre bucățile de cocs, nivelul băii metalice crescând în tot timpul funcționării cubiloului.

La partea superioară a băii metalice se separă zgura finală ca rezultat al acumulării peliculelor de zgură ce învelesc picăturile metalice. Zgura finală conține 40...55% SiO₂, 15...35% CaO, 1...8% MgO, 5...20% Al₂O₃, 3...15% (FeO + Fe₂O₃ + Fe₃O₄), 2...10% MnO, 0,1...0,5% P₂O₅ și 0,05...0,3% S (coeficient de bazicitate 0,4...0,8) – în cazul în care cubiloul este căptușit acid – și 27...35% SiO₂, 40...45% CaO, 10...15% MgO, 5...10% Al₂O₃, 2...3% (FeO + Fe₂O₃ + Fe₃O₄), 1...3% MnO, 0,5...1,0% P₂O₅ și 0,5...1,0% S – în cazul în care cubiloul este căptușit bazic.

Se precizează că pelicula de zgură ce învelește picăturile metalice își schimbă în mod continuu compoziția chimică pe înălțimea cubiloului. În zgură trece și cenușa cocsului, CaO din fondant, o parte din căptușeala refractară în zona de ardere, nisipul sinterizat pe suprafața bucăților metalice din încărcătură etc.

Fondantul ce se utilizează în încărcătură are rolul de a lega în zgură cenușa ce rezultă din arderea cocsului și care este în toate cazurile de natură chimică acidă. Prin urmare, fondantul trebuie să fie de natură chimică bazică. Cel mai utilizat fondant este calcarul ce conține CaCO₃ și care prin disociere eliberează CaO ce leagă chimic oxizii acizi din cenușă și nu numai.

Există cubilouri la care fonta nu se acumulează în creuzet ci într-un antecreuzet amplasat lângă cubilou și care comunică cu creuzetul

cubiloului printr-un orificiu.

Gazele de cubilou, ce conțin și praf, sunt evacuate printr-un coș ce este prevăzut la partea superioară cu un sistem de desprăfuire și stingere a scânteilor, sistem numit parascânteii. În figura 4/F8 se prezintă schița unui cubilou ce funcționează cu aer rece, prevăzut cu trei rânduri de guri de aer, având răcire cu apă a zonelor de ardere și reducere, dotat cu parascânteii uscat și antecreuzet.

Masa unei porții de cocs se calculează cu relația (12/F8).

$$G_{\text{cocs}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_k \cdot \gamma_k / 10^9, \quad (12/F8)$$

în care G_{cocs} reprezintă masa unei porții de cocs, în kg; D – diametrul interior al cubiloului, în m; h_k – înălțimea porției de cocs, în m; γ_k – greutatea specifică aparentă a cocsului, în kg/m^3 (350...650 kg/m^3). Înălțimea porției de cocs este în funcție de diametrul interior al cubiloului.

Masa unei porții de metal, G_m , în kg, se calculează cu relația (13/F8).

$$G_m = \frac{G_{\text{cocs}}}{k} \cdot 100, \quad (13/F8)$$

în care G_{cocs} reprezintă masa unei porții de cocs, în kg iar k reprezintă consumul teoretic de cocs, în $\text{kg}/100$ kg încărcătură metalică. Consumul teoretic de cocs este cuprins în general în intervalul 10...14 $\text{kg}/100$ kg încărcătură, însă în unele situații speciale (obținerea de fontă cu temperatura foarte mare) poate ajunge la 20...30 $\text{kg}/100$ kg încărcătură metalică.

Masa unei porții de fondant, G_f , în kg, se calculează cu relația (14/F8).

$$G_f = G_m \cdot \frac{g_f}{100}, \quad (14/F8)$$

în care G_m reprezintă masa unei porții de metal, în kg iar g_f reprezintă necesarul de fondant, în $\text{kg}/100$ kg încărcătură metalică (2...4 $\text{kg}/100$ kg încărcătură metalică).

Cocsul de turnătorie se caracterizează prin maximum 4% umiditate totală, 8...11% cenușă, 0,9...1,1% sulf total, 1...1,5% volatile și puterea calorică inferioară de minimum 28.424...29.678 kJ/kg.

Productivitatea unui cubilou variază între limitele 1...100 t/h iar diametrul interior al cuvei are valori în intervalul 500...3.700 mm.

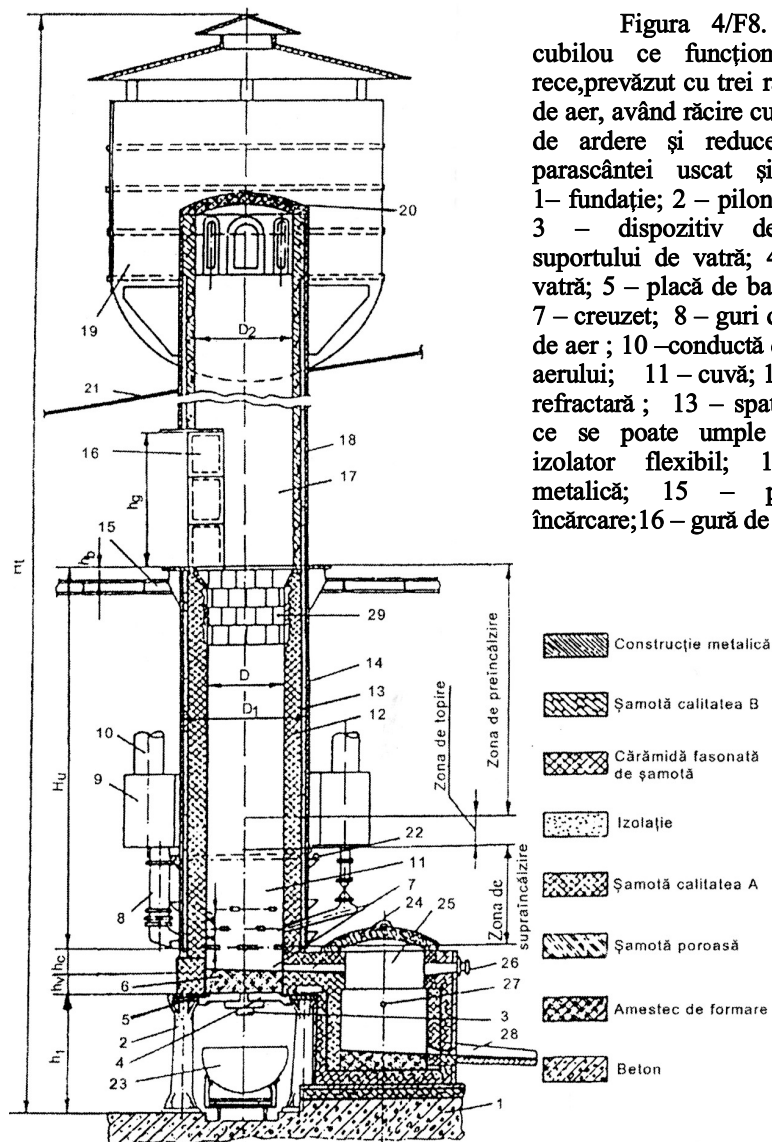


Figura 4/F8. Schița unui cubilou ce funcționează cu aer rece, prevăzut cu trei rânduri de guri de aer, având răcire cu apă a zonelor de ardere și reducere, dotat cu parascânteii uscat și antecreuzet. 1- fundație; 2 - piloni de susținere; 3 - dispozitiv de blocare a suportului de vatră; 4 - suport de vatră; 5 - placă de bază; 6 - vatră; 7 - creuzet; 8 - guri de aer; 9 - cutie de aer; 10 - conductă de aducțiune a aerului; 11 - cuvă; 12 - căptușeală refractară; 13 - spațiu de dilatare ce se poate umple cu un strat izolator flexibil; 14 - manta metalică; 15 - platformă de încărcare; 16 - gură de încărcare;

-  Construcție metalică
-  Șamotă calitatea B
-  Cărămidă fasonată de șamotă
-  Izolație
-  Șamotă calitatea A
-  Șamotă poroasă
-  Amestec de formare
-  Beton

17-cocs; 18-căptușeala refractară a coșului; 19-parascânteii; 20-căptușeala parascânteii; 21-acoperiș al halei; 22-instalație de răcire cu apă; 23-vagonet pentru eliminarea reziduurilor; 25-orificiu pentru evacuarea fontei și a zgurii; 25-antecreuzet fix; 26-vizor de supraveghere și orificiu de intervenție asupra orificiului 24; 27-orificiu și jgheab de evacuare a zgurii; 28-orificiu și jgheab de evacuare a fontei; 29-cărămizi metalice de protecție; h_1 -înălțimea a pilonilor de susținere; h_v -înălțimea a vetrei; h_c -înălțimea a creuzetului; H_u -înălțimea utilă; h_b -înălțimea a bordurii gurii de încărcare; h_g -înălțimea a gurii de încărcare; D -diametrul interior al cubiloului; D_1 -diametru exterior al mantalei metalice; D_2 -diametru interior al coșului cubiloului; x -distanța dintre rândul de bază și rândul al doilea de guri de aer; x' -distanța dintre rândul al doilea de guri de aer și rândul al treilea de guri de aer; H_t -înălțimea totală a cubiloului.

3. Modul de lucru

După răcirea cubiloului ce a fost utilizat pentru o elaborare anterioară se analizează starea căptușelii refractare pe toată înălțimea sa.

Se va avea în vedere înlocuirea cărămizilor deteriorate din zona de încărcare, sau, după caz, a cărămizilor metalice din aceeași zonă.

Se analizează ulterior profilul căptușelii ce trebuie să fie cilindric și se completează cu un amestec refractar granular căptușeala refractară erodată (topită) de pe înălțimea zonei de ardere și din zonele apropiate acesteia. Dacă pe căptușeală ar exista proeminente, acestea ar împiedica coborârea corespunzătoare a coloanei de încărcătură.

Urmează executarea vetrei cu un amestec refractar granular, această operație făcându-se printr-un orificiu de lucru ce ulterior se blochează cu un amestec refractar granular.

În vederea aprinderii cocsului din patul de cocs se folosesc diverse tehnici, de la aprinderea cu lemne, la aprinderea cu arzătoare introduse prin orificiul de evacuare a fontei.

Se recomandă ca inițial să se introducă în cubilou cocs în proporție de $\frac{1}{4} \dots \frac{1}{3}$ din masa patului de cocs. După aprinderea cocsului se încarcă în cubilou și restul de cocs din patul de cocs, în câteva reprize.

Înainte de aprinderea cocsului, este foarte important să se verifice integritatea gurilor de aer, a ventilatoarelor, a instalației de încărcare, a mantalei metalice, a cuvei cubiloului etc., ce ar crea probleme compromițătoare funcționării cubiloului și probleme de afectare a securității muncii.

După aprinderea corespunzătoare a întregului pat de cocs (cocsul incandescent se poate observa prin gura de încărcare), începe procesul de insuflare a aerului de combustie, însă, la o presiune egală cu 60...70% din presiunea nominală și numai după ce orificiul de executare a vetrei a fost închis (blocat), orificiul de evacuare a zgurii a fost obturat (opțional, acest orificiu poate fi obturat ulterior) iar, cu excepția unuia, vizoarele gurilor de aer au fost închise. Ulterior, se închide și ultimul vizor de gură de aer și se insuflă aerul de combustie la presiunea nominală până ce flăcările de la gura de încărcare nu mai au culoarea galben-deschisă, moment în care poate să înceapă încărcarea cubiloului cu porții de metal, cocs și fondant.

Pentru ca primele șarje de fontă să nu aibă conținutul de sulf prea mare, se recomandă ca deasupra patului de cocs să se amplaseze un fondant ușor fuzibil ce are și putere de desulfurare – fluorină (cantitatea de fluorină este egală cu 1...2 porții de fondant consacrat – calcar).

În general, după 8...10 min de la începutul încărcării cu porții, prin vizoarele gurilor de aer se observă, picăturile metalice ce coboară înspre creuzet, printre și peste bucățile de cocs incandescent.

În general, după apariția primelor picături de metal pe jgheabul de evacuare a fontei, se obturează orificiul de evacuare a fontei (după caz, se obturează și orificiul de evacuare a zgurii ce se află amplasat sub nivelul gurilor de aer).

În funcție de temperatura fontei, se reglează înălțimea patului de cocs prin variația porției de cocs, după care, în circumstanțele în care cubiloul este plin de încărcătură (porții de metal, cocs și fondant, în ordinea enumerată) până la nivelul gurii de încărcare, se poate lucra cu respectivul cubilou cu un regim de lucru constant.

În timpul funcționării se vor ține sub observație gurile de aer, prin vizoarele gurilor de aer, cu scopul ca acestea să nu se obtureze cu zgură solidificată. Atunci când se constată iminența pericolului de blocare, se dezobturează gurile de aer, manual, prin intermediul barelor de oțel.

Se apreciază momentul când partea inferioară a stratului de zgură finală este la nivelul părții inferioare a orificiului de evacuare a zgurii, după care se dezobturează orificiul de evacuare a zgurii, zgura fiind evacuată în cochile metalice consacrate manipulării zgurii. Dacă se fac erori în ceea ce privește aprecierea nivelurilor menționate anterior, se riscă evacuarea de fontă lichidă prin orificiul de evacuare a zgurii sau chiar obturarea gurilor de aer cu zgură.

Fonta se evacuează după obturarea orificiului de evacuare a zgurii, prin dezobturarea orificiului de evacuare a fontei. Trebuie să se acorde mare atenție materialelor din care se confecționează dopurile conice cu care se obturează orificiul de evacuare a fontei și a zgurii, deoarece există pericolul de sinterizare a acestor materiale, astfel creîndu-se dificultăți la dezobturare, întreruperea insuflării aerului de combustie, perioade inactive, micșorarea temperaturii fontei lichide etc.

Pentru repararea sau confecționarea vetrei, pentru obturarea orificiilor de evacuare a fontei și zgurii, pentru repararea căptușelii creuzetului și zonei de ardere etc., se utilizează 92 ... 94% nisip cuarțos și 6...8% silicat de sodiu sau 93 ... 95% cuarțită, 5 ... 7% caolin și circa 2,5% silicat de sodiu sau 75 ... 95% nisip cuarțos și 5 ... 25% argilă refractară, la toate aceste compoziții adăugându-se apă în proporție de circa 5% și, după caz, bentonită, grafit, praf de cocs etc. Aceste compoziții se utilizează pentru cubilourile căptușite acid.

În timpul elaborării – al mersului cubiloului – se prelevează probe de fontă și se analizează compoziția chimică, gradul de albire prin intermediul probelor până, fluiditatea etc., intervenindu-se pentru corecții prin acționarea asupra încărcăturii etc.

4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii

Este obligatorie prevederea cubiloului cu parascânteii, de preferință parascânteii umede.

În scopul preîntâmpinării exploziilor la gurile de aer, se prevăd dispozitive de comunicație între gurile de aer și atmosferă.

Pe conducta de aer dintre ventilatoare și cutia de aer trebuie să existe un dispozitiv automat pentru semnalizarea încetării funcționării ventilatoarelor și o supapă ce să evite pătrunderea gazelor de cubilou pe conductă în timpul opririi neprevăzute a ventilatoarelor. Supapa se amplasează la capătul conductei de aer dinspre cubilou și se montează în așa fel încât să intre în funcțiune automat.

Mărirea presiunii aerului la valoarea de regim se face treptat prin deschiderea progresivă a vanei.

Este interzisă depășirea sarcinii maxime ce poate fi suportată de platforma de încărcare, sarcina maximă fiind afișată vizibil.

Mantaua metalică a cubiloului trebuie să aibă toate îmbinările etanșe.

În cazul încălzirii mantalei până la culoarea roșie, se oprește cubiloul imediat și se răcește porțiunea supraîncăzită prin suflare cu aer până la descărcarea cubiloului (se interzice răcirea prin stropire cu apă).

Fundurile cubilourilor trebuie să fie prevăzute cu orificii necesare evacuării vaporilor de apă ce se degajă în timpul uscării vetrei după căptușire.

Înainte de evacuarea fontei, jghebul cubiloului se încălzește la temperatura de minimum 200^o și apoi este acoperit la evacuare, cu o placă de oțel sau de azbest. Înainte de evacuare se pregătesc cel puțin două dopuri conice de obturare a orificiului de evacuare a fontei montate pe mânere speciale.

Descărcarea cubiloului – încetarea funcționării cubiloului – se realizează numai de personal instruit special în acest scop, avându-se în vedere și instalarea de paravane de protecție împotriva stropilor de zgură, metal incandescent și, de asemenea, cocs și fondant incandescenti.

În timpul evacuării fontei, orificiul de evacuare trebuie să fie dezobturat complet, urmărindu-se obținerea unui orificiu cu secțiune transversală circulară ce să asigure curgerea fontei într-un jet uniform, fără stropi.

În cazul blocării încărcăturii în cuva cubiloului, deblocarea se realizează de la distanță, prin intermediul unor rânghi de oțel cu lungimea de minimum 2,5 m. Deblocarea încărcăturii poate produce refularea gazelor de cubilou prin orificiile vizoarelor de la gurile de aer, ceea ce impune, ca în timpul deblocării încărcăturii, să se evacueze personalul din jurul cubiloului iar insuflarea aerului de combustie să fie întreruptă.

Pentru a se micșora concentrația de monooxid de carbon de pe platforma de încărcare, se introduce aer proaspăt pe aceasta sau se prevede o perdea de aer deasupra gurii de încărcare.

Staționarea sau trecerea pe sub cubilou în timpul funcționării lui este interzisă.

În cazul în care gurile de aer sunt amplasate mai sus de 1,5 m de nivelul pardoselii, în jurul cubiloului se amenajează o platformă cu o înălțime de minimum 0,8 m și prevăzută cu balustradă etc.

5. Interpretarea rezultatelor

Lucrarea se efectuează la o societate comercială.

Se vor consemna și interpreta următoarele aspecte:

- etapele din fluxul tehnologic de elaborare;
- componența încărcăturii;
- informațiile date de probele până;
- compoziția chimică a fontei obținute;
- parametri tehnologici de funcționare;
- compoziția materialelor nemetalice utilizate;

– propuneri de îmbunătățire a tehnologiei de elaborare în urma comparației fluxului tehnologic de elaborare cu instrucțiunile prezentate în prezenta lucrare.

6. Bibliografie

1. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Editura Samia. Iași. 2003;
2. Oprea, F., Constantin, I. și Roman, R. Teoria proceselor metalurgice. București. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1978;
3. Dragomir, I. Teoria proceselor siderurgice. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1985;
4. Gâdea, S. ș.a. Manualul inginerului metalurg. Editura Tehnică, vol. I. București. 1978.

F 11. Modelarea dirijării vaporilor de magneziu în baia metalică de fontă

1. Scopul

Analiza dirijării vaporilor de magneziu prin baia de fontă lichidă de către obstacole, prin modelare.

2. Considerații generale

Magneziul este un element chimic (temperatura de topire 650°C ; temperatura de fierbere 1.170°C ; greutatea specifică $1,74 \text{ g/cm}^3$; masa atomică 24,312) ce se utilizează ca modificador pentru fontă în vederea obținerii fontei modificate – schimbării condițiilor de cristalizare a eutecticului fontei cenușii, în principal (celule eutectice). Sub influența magneziului, grafitul (primar și eutectic) nu se mai separă sub forma morfologică lamelară ci având diverse grade de compactitate ce variază de la forma lamelară cu vârfulurile rotunjite (cel mai mic grad de compactitate corespunzând fontelor modificate), la corală, compact/vermiculară, chunky, în cuiburi și nodulară (cel mai mare grad de compactitate întâlnit la fontele modificate).

Magneziul se utilizează pentru modificare, ca atare, în stările de agregare solidă, lichidă și gazoasă, sub formă de prealiaj dar și sub formă de săruri sau chiar zgură.

Pentru ca fonta să fie modificată în mod corespunzător, se impune, printre altele, ca gradul de modificare să fie cât mai uniform, gradul de compactitate al grafitului să fie cât mai mare și gradul de modificare să fie maxim, [1].

Dacă gradul de compactitate al grafitului cât mai mare depinde de valoarea intrinsecă a magneziului ca modificador, uniformitatea modificării și gradului de modificare ale fontei depind de modul de distribuire al vaporilor de magneziu în topitura metalică, în principal.

Deoarece temperatura de modificare a fontei este, în principiu, de minimum 1.400°C , rezultă că, în condiții de atmosferă normală, odată introdus în baia metalică, magneziul este în stare de agregare gazoasă, indiferent de forma în care a fost introdus (ca atare sau complexă).

Tensiunea de vapori mare a magneziului determină ca vaporii de magneziu să se elimine din baia metalică într-o perioadă de timp mică, cu o viteză mai mare sau mai mică, în funcție de temperatura băii metalice. Cu cât temperatura băii metalice este mai mare, cu atât tensiunea de vapori a magneziului este mai mare, vaporii de magneziu creând canale preferențiale de evacuare din baia metalică, micșorându-se semnificativ randamentul de modificare a fontei.

Factorii implicați în procesul de modificare sunt într-un număr apreciat ca mare, până în prezent necunoscându-se concret mecanismul ce stă la baza modificării. Se pare că una din condițiile de bază ce trebuie asigurată este ca în baia metalică, la începutul solidificării și în timpul solidificării să existe

modificator, respectiv magneziu distribuit cât mai uniform. Această condiție este urmărită și realizată de toate tehnicile de modificare, în diverse moduri, simple sau complexe. Așa, este posibilă insuflarea de vapori de magneziu, prin intermediul lăncilor, în baia metalică, amplasarea modificatorului pe bază de magneziu în locașuri situate la baza oalelor de turnare sau la baza camerelor de reacție din rețelele de turnare și apoi determinarea accesului fontei lichide la modificator prin diferite metode, în felul acesta, magneziul vaporizându-se, părăsind respectivul locaș și distribuindu-se în baia metalică etc.

Foarte important este ca vaporii de magneziu să se distribuie cât mai uniform în baia metalică ce se supune modificării, acest lucru realizându-se prin diferite metode.

Una dintre metodele de dirijare a vaporilor de magneziu este amplasarea unui obstacol ceramic în calea vaporilor de magneziu în momentul în care aceștia părăsesc locașul modificatorului. În figura 1/F11 se prezintă schița de principiu a amplasării unui obstacol ceramic în calea vaporilor de magneziu în momentul în care aceștia părăsesc locașul modificatorului, [2].

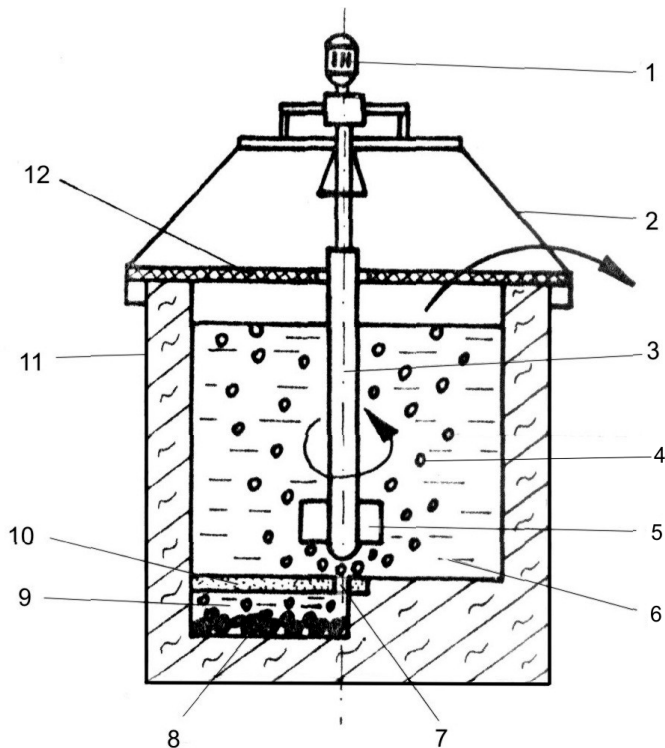


Fig. 1/F11. Schița de principiu a amplasării unui obstacol ceramic în calea vaporilor de magneziu în momentul părăsirii locașului modificatorului: 1 – electromotor; 2 – cadru de susținere; 3 – bară port-dop; 4 – bule de magneziu; 5 – palete ceramice; 6 – fontă lichidă ce se supune modificării; 7 orificiu; 8 – modificator pe bază de magneziu; 9 – locașul modificatorului; 10 – placă (miez) ceramică; 11 – oală de turnare; 12 – paravan de izolare termică.

Tehnologia de modificare prezentată în figura 1/F11 se bazează pe utilizarea unei oale de turnare (11) la fundul căruia se realizează locașul (9) în care se amplasează modificatorul pe bază de magneziu (8). Locașul modificatorului (9) este delimitat și de către placa (10) ce este de fapt un miez preparat cu amestec de miez ce utilizează ca liant silicat de sodiu, rășini furanice etc. și ce este prevăzută cu un orificiu (7). Înainte de turnarea fontei lichide (6) în oala de turnare/modificare, orificiul este obturat de către o bară port-dop din categoria acelor ce se utilizează la oalele de turnare a oțelului (turnare prin orificiul amplasat la fundul oalei de turnare). Bara port-dop (3) este prevăzută la partea inferioară cu niște palete ceramice ce au rolul de agitare a băii metalice din oala de turnare. După ce oala de turnare a fost pregătită (orificiul (7) este obturat) se toarnă fonta propusă spre modificare și apoi se transportă oala la platforma de turnare, unde se dezobturează orificiul (7) în paralel cu acționarea prin rotire a barei port-dop de către un motor electric (1) amplasat pe un cadru (2) și protejat, printre altele, de un paravan izolat termic (12) (după turnarea fontei propusă să fie modificată în oală se assemblează cu oala de turnare cadrul (2) ce conține, printre altele, un con de ghidare și asamblare cu tija barei port-dop etc.). Odată dezobturat orificiul (7), fonta pătrunde în locașul modificatorului și determină vaporizarea magneziului din modificator. O dată ce se formează vapori de magneziu, aceștia părăsesc locașul modificatorului (9) prin orificiul (7) și apoi suferă un impact mecanic cu capul barei port-dop (5), fiind dirijați în baia metalică din oală.

În baia metalică, înainte de începerea solidificării, adică în formă, magneziul se află sub formă de bule mici, soluție, strat adsorbit la suprafața separărilor de grafit remanent și incluziuni nemetalice, [3]. Indiferent de forma în care se află, magneziul trebuie să fie cât mai uniform distribuit în baia metalică.

Dacă fonta nu se toarnă în forme într-o perioadă de timp optimă, începe fenomenul de demodificare, adică de micșorare a gradului de compactitate al grafitului. În cazul în care fonta se menține în oala de turnare/modificare o perioadă mai mare de timp (peste o limită critică) fenomenul de modificare este compromis – grafitul se obține lamelar. Fenomenul de demodificare are la bază eliminarea magneziului din baia metalică, așa cum se afirmă de către unii autori, [3], [4], [5] și [6]. Deși la baza fenomenului de modificare ar sta unele schimbări de proprietăți ale băii de fontă provocate de magneziu – de modificatori, în general – în absența magneziului fonta nu se modifică (însăși fonta modificată cu grafit nodular are un conținut de magneziu remanent de 0,01...0,1%, [1], absența magneziului remanent denotând absența modificării, [3]).

Problema distribuirii magneziului în baia metalică într-un mod cât mai uniform trebuie rezolvată cât mai bine pentru ca și fonta din piese să fie cât mai uniform modificată.

În cazul tehnologiei prezentată în figura 1/F11 distribuirea mai uniformă a microbulelor de magneziu ce rămân în suspensie în baia metalică este asigurată și de paletele ceramice (5) cu care este prevăzută bara port-dop (3) – agitarea băii metalice de către curenții creați de rotirea paletelor conduce la distribuirea microbulelor de magneziu în toată baia metalică din oală.

Vaporii de magneziu sunt supuși în drumul lor spre suprafața băii metalice de o forță ascensională F_a careia i se opune o rezistență F_r de către fonta lichidă – figura 2/F11 în care se prezintă, schematic, traiectoriile posibile ale vaporilor de magneziu.

În urma impactului vaporilor de magneziu cu capul barei port-dop forța ascensională F_a se descompune într-o componentă orizontală, F_{ax} , și o componentă verticală, F_{ay} , conform figurii 2/F11.

Tensiunea de vapori mare a vaporilor de magneziu, se apreciază că determină ca traiectoria vaporilor de magneziu, în drumul ascensional, să nu urmărească conturul barei port-dop, componenta orizontală a forței ascensionale căpătând valoarea zero la o distanță Δx de bara port-dop.

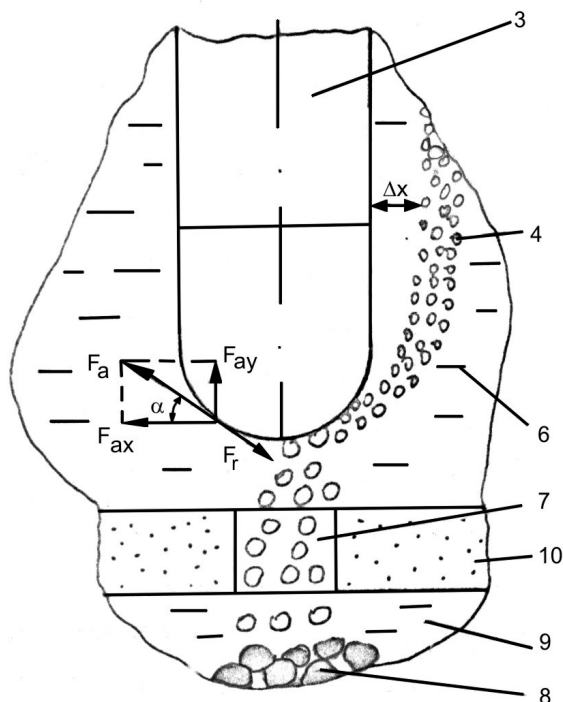


Fig.2/F11. Secvență reprezentând schema traiectoriilor vaporilor de magneziu, în timpul evacuării din baia metalică și al impactului cu capul barei port-dop; F_a – forța ascensională; F_r – forța de rezistență a băii metalice; F_{ax} – componenta orizontală a forței ascensionale; F_{ay} – componenta verticală a forței ascensionale; α – unghiul dintre forța ascensională și componenta orizontală a forței ascensionale; cifrele au aceleași semnificații ca în figura 1/F11; Δx distanța dintre bară și vapori la care se anulează componenta orizontală a forței ascensionale.

În zona de contact vapori-bară port-dop intervine și forța de frecare, F_f , dintre vapori și bară, ceea ce înseamnă că în această zonă viteza de ascensiune a vaporilor de magneziu este mai mică decât în zonele în care nu mai intervine respectiva frecare. Această situație determină ca timpul de contact dintre vaporii

de magneziu și fonta lichidă ce se supune modificării să fie mai mare decât în cazul în care vaporii de magneziu nu întâlnesc un obstacol în drumul lor ascensional.

Concluzia este că în cazul în care vaporii de magneziu întâlnesc un obstacol în drumul lor ascensional randamentul de modificare se mărește.

În cazul în care se menține constant randamentul de modificare, rezultă că se micșorează consumul de modificador – de magneziu.

Cu cât suprafața de frecare dintre vaporii de magneziu și obstacol este mai mare, cu atât se mărește randamentul de modificare. O asemenea situație se obține dacă se înlocuiește capul barei port-dop prezentat în figura 3/F11 – a) cu variantele b) și c), din aceeași figură, [7].

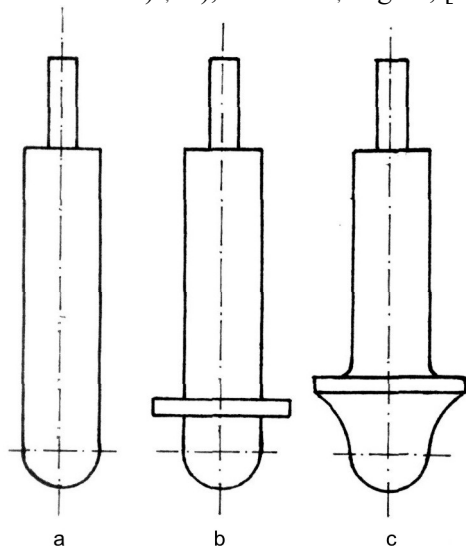


Fig. 3/F11. Tipuri de bare port-dop cu geometrii diferite pentru cap.

Dacă se admite că mișcarea ascensională este o mișcare laminară, viteza de ascensiune a vaporilor de magneziu se poate calcula ținând seama de legea lui Stokes, respectiv relația 1/F11.

$$v_a = \frac{2}{9} \cdot \frac{g}{\eta_f} \cdot (\rho_f - \rho_{Mg}) \cdot r_{Mg}^2, \quad (1/F11)$$

în care v_a – viteza de ascensiune; g – accelerația gravitațională; η_f – viscozitatea dinamică a fontei; ρ_{Mg} – densitatea vaporilor de magneziu; ρ_f – densitatea fontei lichidă; r_{Mg} – raza unui vapor de magneziu (a unei bule de magneziu).

În realitate, relația (1/F11) este relativă deoarece s-a demonstrat experimental că există abateri de la legea lui Stokes dacă particulele în ascensiune au dimensiuni mai mari, situație în care viteza de ascensiune a vaporilor de magneziu s-ar calcula cu relația lui Iavoiski – relația (2/F11).

$$v_a = \sqrt{\frac{8}{3} \cdot g \cdot \frac{r_{Mg}}{k_r} \cdot \frac{\rho_f - \rho_{Mg}}{\rho_f}}, \quad (2/F11)$$

în care k_r reprezintă coeficientul de rezistență al fontei lichide.

Dacă se iau în considerație și eventualele schimbări ale unor proprietăți ale fontei lichide din jurul bulelor de magneziu – de exemplu, schimbarea viscozității ca urmare a fenomenelor de desulfurare, dezoxidare etc. – relațiile (1/F11) și (2/F11) devin mai puțin exacte.

Evacuarea vaporilor de magneziu – viteza de ascensiune – trebuie să țină seama și de fenomenul de asociere a două sau mai multe bule de magneziu, de fenomenul unor curenți ascensionali etc.

În cazul cel mai simplu de mișcare laminară ascensională a vaporilor de magneziu, luând în considerație legea lui Stokes, o baie metalică fără curenți (în realitate, chiar evacuarea vaporilor de magneziu creează curenți în baia metalică), neafectarea proprietăților băii metalice în jurul vaporilor de magneziu și forma sferică a bulelor de magneziu, forța ascensională are valoarea (3/F11) iar forța de rezistență are valoarea (4/F11).

$$F_a = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_{Mg}^3 (\rho_f - \rho_{Mg}) \cdot g \quad (3/F11)$$

$$F_r = 6 \cdot \pi \cdot r_{Mg} \cdot v_a \cdot \eta_f \quad (4/F11)$$

Din relațiile Stokes și Iavoiski – (1/F11) și (2/F11) – rezultă că o viteză de ascensiune egală cu zero a vaporilor de magneziu se obține atunci când raza vaporilor de magneziu este egală cu zero, adică atunci când nu există vapori de magneziu. Prin urmare, excluzând schimbarea proprietăților fontei lichide în jurul vaporilor de magneziu și prezența unor curenți în baia metalică, rezultă că în toate cazurile, bulele de magneziu au viteză de ascensiune mai mare sau mai mică și că există o perioadă critică de timp de menținere a fontei în stare lichidă după modificare începând de la care toate bulele de magneziu sunt eliminate din baia metalică.

Pentru ca fenomenul de demodificare să întârzie, se impune ca viteza de ascensiune a bulelor de magneziu să fie cât mai mică, ceea ce, conform legii lui Stokes, se obține dacă se asigură valori minime ale diferenței dintre densitatea fontei lichide și a magneziului, mărimii minime a bulelor de magneziu și chiar a accelerației gravitaționale și valori maxime ale viscozității dinamice a fontei lichide (aceleași lucru rezultă și din legea lui Iavoiski).

În cazul bulelor de magneziu de dimensiuni mici viteza de ascensiune a bulelor de magneziu depinde foarte mult de mărimea bulelor de magneziu – în relația (1/F11) viteza de ascensiune depinde de pătratul razei bulelor de magneziu – în timp ce în cazul bulelor de magneziu de dimensiuni mari, respectiva viteză de ascensiune depinde mai puțin de mărimea bulelor de magneziu – în relația (2/F11) viteza de ascensiune depinde de radicalul de ordinul doi al razei bulelor de magneziu.

Dimensiuni minime ale bulelor de magneziu – viteză de ascensiune minimă – se obțin și în cazul în care bulele de magneziu se scindează în două sau mai multe părți și, de asemenea, se pare, în cazul în care bucățile de modificador au dimensiuni mai mici și mai uniforme ca mărime. Pentru ca o bulă de magneziu să se scindeze trebuie ca să sufere un impact mecanic cu un obstacol iar viteza de impact să fie cât mai mare. Cu cât temperatura fontei lichide este mai mare, cu atât tensiunea de vapori a magneziului este mai mare și cu atât viteza de ascensiune este mai mare, ceea ce înseamnă mărirea probabilității ca scindarea unei bule de magneziu să se producă. Pe de altă parte, creșterea tensiunii de vapori conduce la mărirea vitezei de ascensiune și, astfel, la micșorarea numărului de bule din baia metalică și la micșorarea duratei de eliminare a microbulelor din baia metalică. Așadar, din punctul de vedere al scindării bulelor de magneziu există un conținut optim de magneziu al modificadorului.

Din punctul de vedere al scindării bulelor de magneziu – al micșorării dimensiunilor bulelor de magneziu – și al măririi suprafeței de frecare bulă de magneziu - bară port-dop –, se prezintă în figura 4/F11 schița unei bare port-dop ce are în zona capului un locaș (d) în care pătrund atât vapori de magneziu ce se evacuează din locașul modificadorului, dar și vapori de argon insuflați pe la partea superioară a barei port-dop. În locașul (d) pătrund așadar și vapori de argon ce se ciocnesc de vaporii de magneziu, apreciindu-se că în urma impactului Ar-Mg se realizează scindări atât ale vaporilor de argon cât și ale vaporilor de magneziu, [8], [9]. Utilizarea argonului determină o amestecare suplimentară a fontei modificate precum și expulzarea fontei supramodificate din locașul (d) în tot volumul băii metalice din oala de turnare.

Dacă se are în vedere că densitatea vaporilor de magneziu este de $1,085 \text{ g/cm}^3$ iar cea a argonului este de $1,400 \text{ g/cm}^3$, rezultă că este mai mare probabilitatea ca vaporii de magneziu să fie scindați de către vaporii de argon.

Valorile minime ale densității fontei sunt în funcție de compoziția chimică a fontei ce se supune modificării. Așa, o fontă cu un conținut mare de siliciu și mai mic de mangan dispune de o viteză de ascensiune a bulelor de magneziu mai mică, după cum o fontă cu un conținut mai mare de carbon prezintă un risc de demodificare mai mic.

Cele mai mici valori ale accelerației gravitaționale – g – se întâlnesc în zona ecuatorială a pământului, ceea ce înseamnă că în țările precum Brazilia, Indonezia etc. viteza de ascensiune este mai mică, în timp ce în țări precum Suedia, Rusia etc. (din apropierea Polului Nord), în care accelerația gravitațională are valori mai mari, viteza de ascensiune are valori mai mari, adică riscul de demodificare este mai mare. Dacă s-ar efectua experimente în spațiul cosmic s-ar sesiza că riscul de demodificare a fontei este mai mic decât pe pământ.

Pe măsură ce bulele de magneziu se apropie de suprafața băii metalice, ele își măresc volumul, ceea ce înseamnă că viteza de ascensiune se mărește, adică baia metalică de la suprafața oalei de turnare va conține mai puțin magneziu și, astfel, se va modifica mai puțin. De aici rezultă că până la

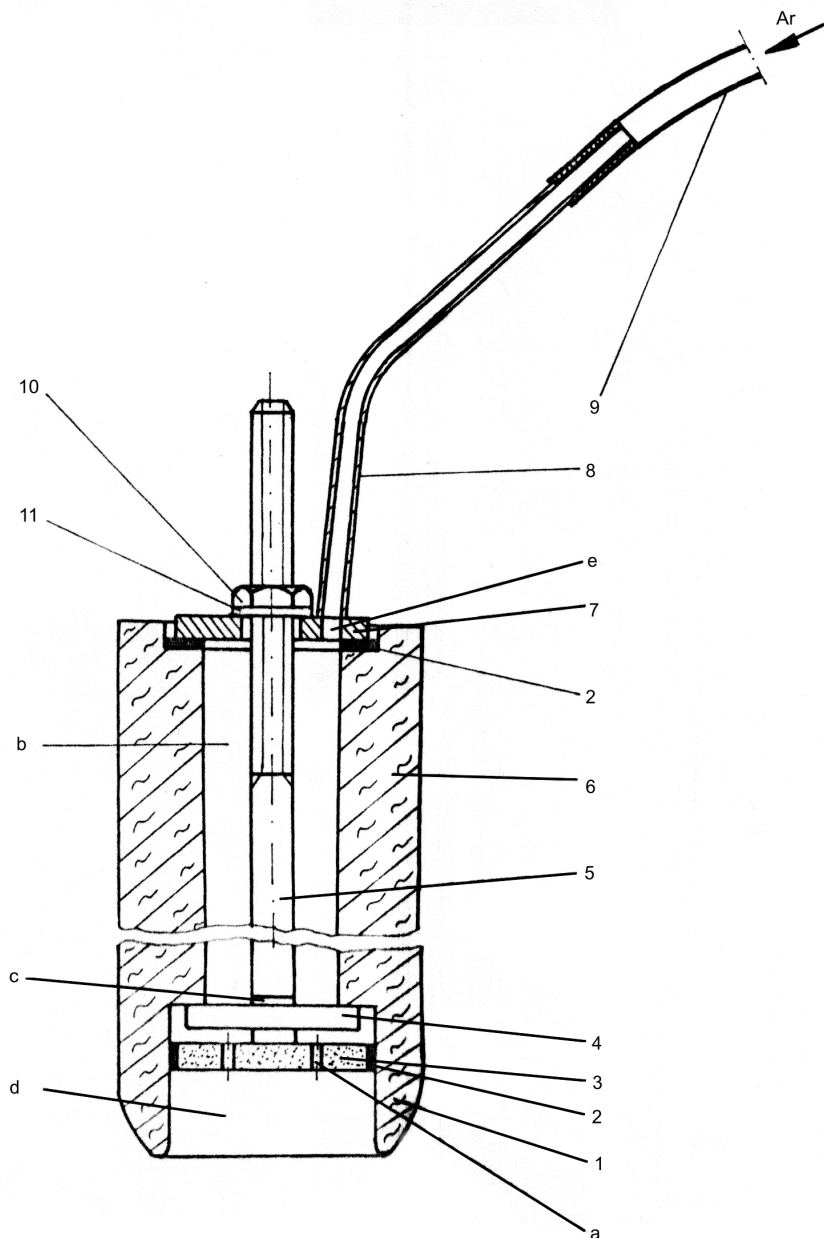


Fig. 4/F11. Schița unei bare port-dop prevăzută cu locaș în zona capului de obturare a orificiului din placa ceramică a locașului modificatorului și sistem de insuflare a argonului pe la partea superioară: 1 – capul barei port-dop; 2 – material de etanșare; 3 – disc ceramic obișnuit sau poros; 4 – pană; 5 – tijă; 6 – cărămizi tubulare (corpul barei port-dop); 7 – șaibă profilată; 8 – țevă metalică; 9 – tub flexibil; 10 – piuliță; 11 – șaibă; a – orificii de insuflare a argonului; b – incinta barei port-dop; c – fantă; d – locaș de amestec, impact mecanic și scindare a bulelor de magneziu; e – orificiu de admisie a argonului.

momentul turnării fonta trebuie menținută într-o stare de agitare continuă. Acest lucru s-ar putea realiza prin amplasarea oalei de turnare-modificare într-un inductor mobil, ceea ce ar asigura o agitare electromagnetică. Prin agitare continuă se apreciază că bulele mici de magneziu sunt antrenate de la suprafața băii metalice spre partea inferioară a băii metalice.

Pentru ca să se obțină rezultate optime în ceea ce privește distribuția vaporilor de magneziu, se apelează la modelarea dirijării vaporilor de magneziu prin fonta lichidă.

Ca matrice metalică, pentru modelare, se utilizează glicerina anhidră ce are densitatea de $1,262 \text{ g/cm}^3$ iar vaporii de magneziu sunt modelați de către bioxidul de carbon ce are densitatea de $1,964 \text{ g/cm}^3$. Conform [10], criteriul "e" ce se calculează cu relația (5/F11) are valoarea de 0,9993, adică aproximativ 1, ceea ce înseamnă că se pot utiliza cele două substanțe pentru modelarea modului de distribuție a vaporilor de magneziu prin fonta lichidă. Ascensiunea bulelor de bioxid de carbon prin glicerina anhidră se face mai greu decât ascensiunea bulelor de magneziu prin fonta lichidă cu circa 0,07%, ceea ce înseamnă că materialele de modelare sunt reprezentative.

$$e = \sqrt{\frac{\frac{\rho_g - \rho_{\text{CO}_2}}{\rho_g}}{\frac{\rho_f - \rho_{\text{Mg}}}{\rho_f}}}, \quad (5/F11)$$

în care e reprezintă criteriul de modelare; ρ_g – densitatea glicerinei anhidre, în g/cm^3 ; ρ_{CO_2} – densitatea bioxidului de carbon, în g/cm^3 ; ρ_f – densitatea fontei lichide, în g/cm^3 ($6,9 \text{ g/cm}^3$); ρ_{Mg} – densitatea magneziului, în g/cm^3 ($1,085 \text{ g/cm}^3$).

3. Modul de lucru

Experimentările se realizează pe o instalație de modelare, obținută prin similitudine geometrică, a unei oale de turnare-modificare cu capacitatea de 2 tone.

În figura 5/F11 se prezintă schița instalației de modelare.

Duza (5) poate fi prevăzută și cu orificii laterale ca în figura 6/F11 în care se introduc țevi cu orificii pentru modelarea multiplă a distribuției vaporilor de magneziu în fonta lichidă.

Se utilizează pentru testare trei modele de bară port-dop, respectiv cele prezentate în figura 3/F11.

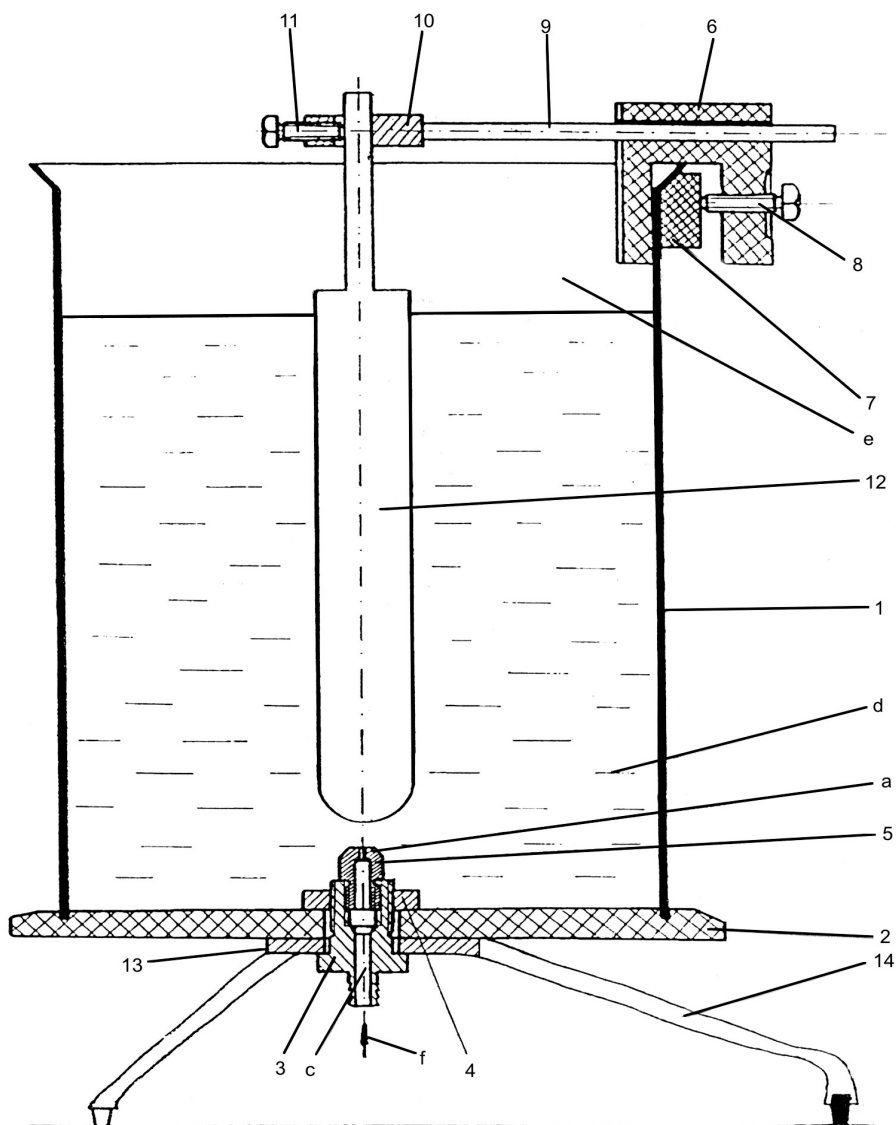


Fig.5/F11. Schița instalației de modelare. 1 – vas de sticlă; 2 – placă de susținere; 3 – corp de insuflare; 4 – piuliță de fixare; 5 – duză; 6 – corp de fixare; 7 – placă de fixare; 8 – șurub de fixare; 9 – braț de fixare; 10 – bloc de fixare; 11 – șurub de fixare a obstacolului; 12 – obstacol-model; 13 – șaibă de etanșare; 14 – picioare de susținere; a – orificiul duzei; c – canal central de admisie a CO₂; d – glicerină; e – incinta vasului de modelare; f – sensul de insuflare a CO₂. Duza 5 poate fi prevăzută și cu canale laterale dispuse echidistant.

Se studiază dependența volumului gabaritic în care se distribuie bulele de CO₂ cu presiunea de insuflare a CO₂ și dependența numărului de bule de CO₂ de presiunea de insuflare, pentru distanțele dintre capul modelelor barelor port-

dop și duză de 1 mm, 3 mm și 30 mm și pentru cazurile în care există cele trei modele de bară port-dop și nu există model de obstacol. Se recomandă ca presiunile de insuflare a CO₂ să fie de 0,4 bari, 0,8 bari, 2 bari; 4 bari și 5,5 bari.

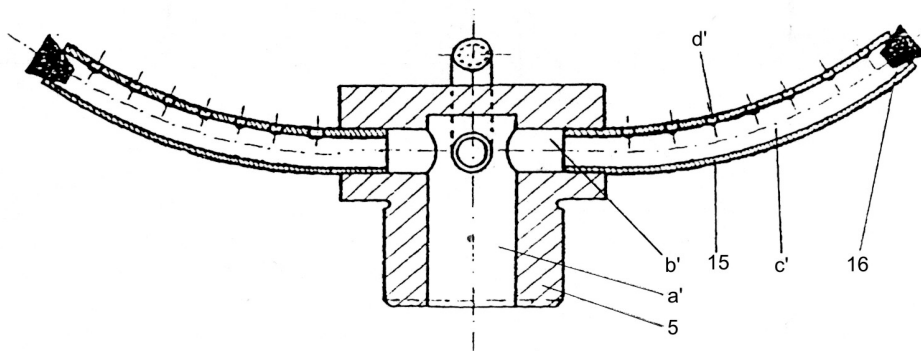


Fig. 6/F11. Schița duzei cu insuflare laterală; 5 – duză; 15 – țevă de insuflare; 16 – dop de blocare; a' – canal central; b' – canale laterale; c' – incintă de țevă de insuflare; d' – orificii de insuflare.

Bioxidul de carbon se insuflă dintr-un tub tip butelie prevăzut în mod obligatoriu cu reductor de presiune.

Secvențele experimentale se fotografiază sau se stochează în memoria calculatorului prin intermediul unei camere de luat vederi, urmând ca volumul gabaritic în care se distribuie bulele de CO₂ și numărul de bule de CO₂ să se determine din fotografiile sau din structura secvențială a calculatorului.

Se pot face experimentări și cu utilizarea ca matrice lichidă a uleiului de floarea soarelui.

4. Măsurile speciale de asigurare a securității muncii

Se interzice utilizarea pentru experiment a presiunilor de insuflare a bioxidului de carbon mai mari de 7 bari deoarece există riscul de împrăscare cu stropi de lichid de modelare.

Butelia de CO₂ utilizată pentru experiment trebuie să fie în mod obligatoriu asigurată împotriva riscului de dislocare și răsturnare.

5. Interpretarea rezultatelor

Se trag concluzii în legătură cu valorile volumului gabaritic în care se distribuie bulele de bioxid de carbon pentru toate situațiile prezentate la paragraful 3 precum și în legătură cu numărul de bule de bioxid de carbon, în toate condițiile de experiment, în funcție de presiunea de insuflare (presiunea de insuflare a bioxidului de carbon sugerează, prin modelare, temperatura băii metalice și conținutul de magneziu din modificator, de exemplu).

6. Bibliografie

1. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Editura Samia. Iași. 2003;
2. Cojocaru, V., Barbu, G. și Oprinca, S. Oală de turnare. Brevet România, nr. 101.223, 1992;
3. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;
4. Sofroni, L., Ștefănescu, D.M. și Vicenz, C. Fonta cu grafit nodular. Editura Tehnică. București. 1978;
5. Sofroni, L. și Ștefănescu, D.M. Fonte modificate cu proprietăți superioare. Editura Tehnică. București. 197;
6. Riposan, I. și Sofroni, L. Fonta cu grafit vermicular. Editura Tehnică. București. 1984;
7. Cojocaru, V. Contribuții privind îmbunătățirea tehnologiei de obținere a fontei modificate cu grafit nodular. Teză de doctorat. Iași. 1988;
8. Cojocaru, V. și Cojocaru-Filipiuc, G. Oală de turnare pentru tratarea metalelor în stare lichidă. Brevet România, nr. 107 579. 1996;
9. Cojocaru, V. și Oprinca, S. Oală de turnare. București. Brevet România, nr. 109.433, 1997 ;
10. Bratu, C. Modelarea fizică a proceselor de turnare. Universitatea "Politehnica". București. 1987.

F17. Elaborarea fontelor aliate cu crom în cuptorul electric cu încălzire prin inducție

1. Scopul

Caracterizarea fontelor aliate cu crom și particularități de elaborare.

2. Considerații generale

Cromul, cantitativ, variază în fonte de la calificativul de oligo-element (sub 0,3%) la calitatea de element de aliere (peste 0,3% – sursa bibliografică [1] indică fonte cu maximum 36% ce se aplică în industrie).

Cromul este un element antigrafitizant, pe o scară, în ordine crescătoare a efectului antigrafitizant (de albire), ordinea fiind următoarea: W, Mn, Mo, Sn, Cr, V, B etc.

Ca element antigrafitizant, cromul mărește numărul de celule eutectice și proporția de perlită, în cazul fontelor cenușii.

La temperatura eutectoidă (în sistemul binar Fe-C) sau în intervalul eutectoid de temperaturi (în cazul fontelor industriale), cromul frânează procesele de difuzie și micșorează temperatura de transformare a austenitei.

Cromul este un element α -gen – favorizează dezvoltarea domeniului ocupat de ferita δ din diagramele de echilibru.

Efectul perlitizant al cromului, de la transformarea eutectoidă, reiese din comparația cu alte elemente chimice, prin intermediul unor coeficienți relativi de influență ce au următoarele valori: 1 (Cu), 0,2 (Ni), 0,5 (Mn) – manganul în exces peste valoarea calculată cu relația $\% \text{ Mn} = 1,7\% \text{ S} + 0,2 -$, 2 (Mo), 2 (Cr), 1 (V), 12 (Sn) etc.

În principiu, cromul are influențe semnificative diferite după cum fonta este slab, mediu sau înalt aliată.

2.1. Fonte cenușii perlitice cu rezistență mecanică mare, slab aliate cu crom

În cazul fontelor cenușii perlitice cu rezistență mecanică mare, slab aliate, cromul determină o rezistență la tracțiune de până la 310 N/mm^2 în proporție de 0,8%, rezistență la uzură și duritate mari în proporție de 1,5%, călibilitate bună în proporție de 0,5%, rezistență la fluaj bună în proporție de 1%, rezistență la creștere și la oxidare mare în proporție de 2%, rezistență la coroziune în mediu neutru și în mediu alcalin în proporție de 2% etc., de regulă, în combinație cu alte elemente de aliere. Cromul îmbunătățește și cvasiizotropia structurii și proprietăților în secțiunea pereților pieselor, pe o scară a îmbunătățirii cvasiizotropiei respective, în ordinea creșterii influenței, cromul situându-se în modul următor: Mo, V, Cr, Cu, Ni etc. (rezultatele cele mai bune se obțin în cazurile asocierii cromului cu molibden, pe de o parte, sau cu vanadiu și cupru, pe de altă parte). În cazul fontelor slab aliate, cromul, în asociere cu Ni, Mo și Cu, determină obținerea unei rezistențe la tracțiune de $350 \dots 400 \text{ N/mm}^2$.

2.2. Fonte albe și pestrițe slab aliate cu crom

În cazul fontelor albe și pestrițe slab aliate cu crom, importantă este zona albă – de fontă albă – ce este mărită în grosime și de crom, ca și de alte elemente chimice, într-un mod ce reiese din următoarea înșiruire (în ordinea crescătoare a creșterii grosimii zonei albe): W, Mn, Mo, Cr, Sn, V, S, Te, Mg etc., [2]. Semnificativă este creșterea durității crustei dure (unele piese, cum ar fi cilindrii de laminor, tăvălugii pentru mori, roțile de vagoneti, corpurile de măcinare etc., cu o zonă de fontă albă la suprafață, miezul fiind din fontă cenușie, spre deosebire de piese precum corpuri de măcinare de dimensiuni mici, alice de sablaj, grătare folosite la cazane, plăci de blindaj etc., a căror structură este pe toată secțiunea de fontă albă), asigurată de crom, pentru comparație, ordinea crescătoare în ceea ce privește creșterea grosimii crustei dure fiind următoarea: C, Ni, P, Mn, Cr, Mo, V, Si, Al, Cu, Ti, S etc. Alierea slabă cu crom, alături de Mo și Ni, conduce la obținerea unei perlitice cu grad mare de dispersie, și a creșterii durității și rezistenței la uzare. În compoziția cilindrilor de laminor cu crustă dură, conținutul de crom variază, în general, de la 0,4% la 0,7% (duritatea, de exemplu, 460 HB). Ca influență negativă, cromul determină și mărirea grosimii zonei pestrițe a pieselor (zonei de fontă pestriță) – mai ales în cazul cilindrilor de laminor. Cromul este utilizat în proporție de 0,2 ... 0,4% pentru eliminarea efectului grafitizant al nichelului. În cazul fontelor pestrițe perlitice, cromul în proporție de 0,5 ... 2,7% conferă pieselor refractaritate. Fontele albe și pestrițe se elaborează și în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție, căptușite cu material refractar de natură chimică acidă. Încărcătura metalică este formată de 25 ... 30% deșeuri proprii sau fontă veche constituită din piese cu crustă dură sau semidură, 40 ... 60% fontă brută, 10 ... 25% deșeuri de oțel și feroaliaje.

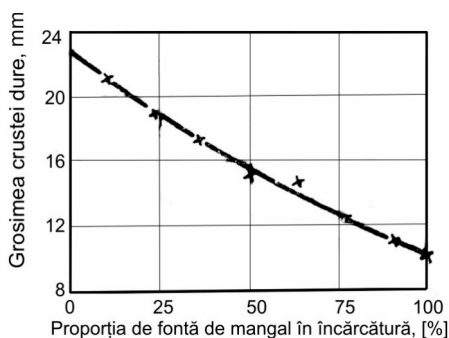


Figura 1/F17. Influența proporției de fontă brută de manganal din încărcătură asupra grosimii stratului de crustă dură.

Important este tipul de fontă brută din încărcătură deoarece este influențată grosimea crustei dure a pieselor turnate. În cazul în care fonta brută este elaborată în furnal ce utilizează ca sursă calorică manganalul – fontă de manganal – grosimea zonei formată din crustă dură crește semnificativ. În figura 1/F17 este redată dependența adâncimii de albire – a crustei dure – de proporția

de fontă de magal din încărcătură. Fonta brută de magal se caracterizează printr-un grad de puritate (conținuturi de grafit primar, gaze și incluziuni nemetalice mici) mai mare decât al fontei brute de cocs metalurgic, ceea ce justifică un număr de germeni de grafitizare mai mic, adică o tendință de albire a fontei mai mare.

Mărirea tendinței de albire a fontei este influențată și de conținutul mare de oxigen din aceasta alături de conținutul minim de compuși oxidici, cum ar fi SiO_2 , $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$, $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ etc.

Compușii oxidici au efect grafitizant – reprezintă germeni grafitizanți pe care cresc separările de grafit.

În legătură cu conținuturile de oxigen și compușii chimici din fonta lichidă este reacția chimică 1/F17.



Reacția chimică (1/F17) are temperatura de echilibru dependentă de conținuturile de siliciu și carbon din fonta lichidă, temperatura de echilibru determinându-se din nomograme (a se vedea F3). Se poate accepta ca valoare de referință, pentru temperatura de echilibru, 1.450°C . Până la temperatura de echilibru, reacția chimică are loc de la dreapta spre stânga iar siliciul din baia metalică se oxidează parțial, în special cu oxidul feros din baia metalică, rezultând SiO_2 ce are influență puternic grafitizantă. Pentru a micșora cantitatea de SiO_2 din fonta lichidă se supraîncălzește fonta la temperaturi superioare temperaturii de echilibru a reacției chimice (1/F17), la asemenea temperaturi reacția (1/F17) desfășurându-se de la stânga spre dreapta, ceea ce înseamnă micșorarea cantității de SiO_2 din fonta lichidă. În același timp, cu cât temperatura de supraîncălzire este mai mare, cu atât se dizolvă mai mult oxigen în baia metalică. Desfășurarea reacției chimice (1/F17) de la stânga spre dreapta determină, însă, micșorarea conținutului de carbon din fonta lichidă, ceea ce face ca temperatura de supraîncălzire să se aleagă practic cu $30 \dots 50^\circ\text{C}$ peste temperatura de echilibru.

În timpul elaborării fontei, după supraîncălzire, se prelevează probe (figura 2/F17-a) pentru testarea grosimii crustei dure, probele obținându-se prin turnarea fontei în forma 1 amplasată pe răcitorul 2 – figura 2/F17-b.

Proba pană turnată pe răcitor are următoarele dimensiuni (figura 2/F17-a): $a_1 = 90 \text{ mm}$; $b_1 = 28 \text{ mm}$; $a_2 = 92 \text{ mm}$; $b_2 = 30 \text{ mm}$; $h = 110 \text{ mm}$.

Proba pană solidificată și răcită este secționată prin șoc mecanic de-a lungul canelurii ce are secțiunea triunghiulară și înălțimea de circa 4 mm . După secționare, se analizează vizual aspectul probei pană în ruptură, măsurându-se înălțimea zonei albe – a crustei dure – cu ajutorul unei rigle ce este gradată și are geometrie asemănătoare celei prezentate în figura 3/F17.

Proba pană simetrică turnată pe răcitor poate fi dimensionată și conform standardului american ASTM nr. A 469-55 T.

Înălțimea zonei albe a probei pană este corelată cu grosimea crustei dure a pieselor ce se toamnă, așa încât fonta se va evacua din cuptor numai atunci când există respectiva corelare – în caz contrar, se va face corectarea conținutului de crom.

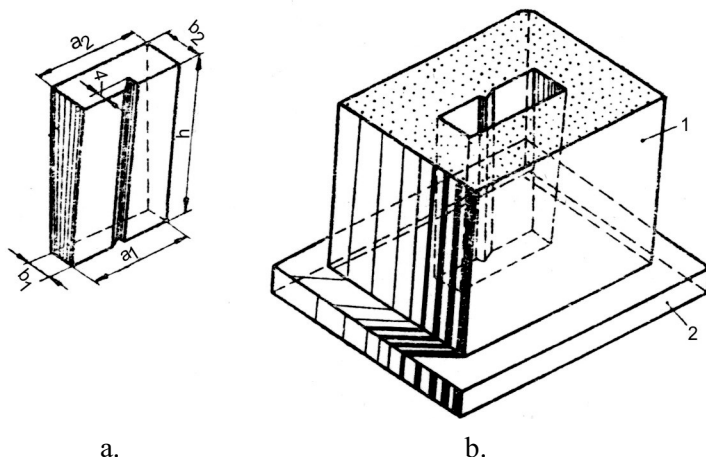


Figura 2/F17. Proba tehnologică (a) și forma în care se toarnă proba tehnologică (proba pană) (b): 1 – formă; 2 – răcitor.

Ferocromul se introduce în baia metalică înainte de evacuarea ei din cuptor cu circa 1 oră. Pierderile de crom prin oxidare sunt de maximum 12%.

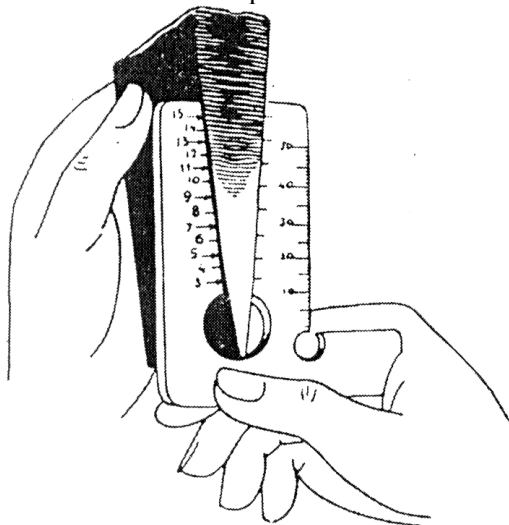


Figura 3/F17. Proba pană ascuțită și simetrică și rigla specială gradată de măsurare a înălțimii zonei albe (crustei dure).

Dacă este nevoie de cantități mici de fontă albă și peștrită slab aliată cu crom, ferocromul se poate adăuga pe jetul de fontă lichidă în timpul curgerii acesteia pe jgheabul de evacuare sau se poate introduce la fundul oalei de turnare înainte de turnarea fontei în aceasta, situații în care pierderile de crom prin oxidare sunt de circa 3% dacă temperatura de turnare a fontei este de 1.400°C, de exemplu.

Pierderile de crom prin oxidare se pot calcula cu relația (2/F17).

$$a = X + Y \cdot \tau,$$

(2/F17)

în care « a » reprezintă pierderile de crom prin oxidare, în % ; X – pierderile de crom prin oxidare în timpul topirii și supraîncălzirii până la temperatura de 1.350°C, în %; Y – pierderile de crom prin oxidare în timpul supraîncălzirii și menținerii la temperaturi cuprinse în intervalul 1.350 ... 1.550°C, în % ; τ – timpul de menținere, în h.

În tabelul 1/F17 se prezintă valorile pentru X și Y din relația (2/F17), pentru crom.

Tabelul 1/F17

Valorile pentru factorii X și Y în condiții de supraîncălzire a fontei în intervalul de temperaturi 1.350...1.550°C, în cazul cromului.

Valorile factorilor	Temperatura de supraîncălzire, în °C				
	1.350	1.400	1.450	1.500	1.550
X	4,10	4,40	4,40	4,40	4,40
Y	1,21	1,27	1,48	2,57	2,82

Cantitatea de ferocrom sau alt material de aliere ce se introduce în baia metalică se calculează cu relația (3/F17).

$$Q_M = \frac{[\%E_f] - [\%E_i] \left(\frac{100 - \%a_E}{100} \right)}{\%E_M \cdot \eta_E} \cdot 10^2, \quad (3/F17)$$

în care Q_M reprezintă cantitatea de material de aliere, în kg/100 kg fontă; $[\%E_f]$ – proporția de element de aliere din fonta finală – care se toarnă în forme; $[\%E_i]$ – proporția de element de aliere din fonta lichidă ce urmează să fie aliată ; $\%a_E$ – proporția de element de aliere din baia metalică ce se pierde prin oxidare din momentul introducerii materialului de aliere în baia metalică până la momentul turnării în forme ; $\%E_M$ – proporția de element de aliere din materialul de aliere ; η – randamentul de asimilare a elementului de aliere E din materialul de aliere de către baia metalică.

De exemplu, dacă se realizează aliere cu FeCr ce conține 40% Cr, pentru obținerea unei fonte cu 2% Cr, în cazul în care randamentul de asimilare a cromului din ferocrom este de 90%, pierderile de crom prin oxidare din baia metalică în perioada dintre aliere și evacuare din cuptor, de 1,5% iar, proporția de crom din baia metalică în momentul alierii este de 1,5%, cantitatea de ferocrom necesară alierii este dată de relația aplicativă (4/F17).

$$Q_{FeCr} = \frac{2 - 1,5 \left(\frac{100 - 1,5}{100} \right)}{40 \cdot \frac{90}{100}} \cdot 100 = 1,4 \text{ kg/100 kg fontă lichidă} \quad (4/F17)$$

Relația (3/F17) se aplică pentru corectarea oricărui element chimic de aliere.

În practică se utilizează nomograme ce stabilesc corelația dintre

conținutul de crom ce se obține în fonta lichidă în momentul evacuării și cantitatea de crom, în %, adăugată în baia metalică pentru aliere, așa cum, de exemplu, se prezintă în figura 4/F17.

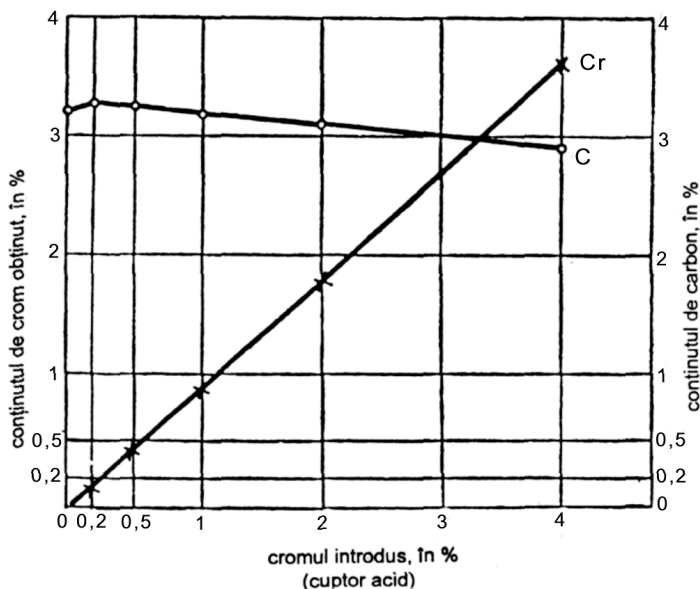


Figura 4/F17. Variația conținuturilor de crom și carbon din fonta finală (din momentul evacuării) cu cantitatea de crom introdusă în baia metalică, în cazul elaborării într-un cuptor cu inducție cu căptușeală refractară de natură chimică acidă.

Pentru aliere se pot folosi și amestecuri exoterme ce conțin 65 ... 70% feroaliaje, 7 ... 23% materiale exoterme, max. 10% material catalizator și max. 10% liant, amestecurile exoterme utilizându-se sub formă de pulbere sau brichete și introducându-se în oala de turnare înainte de umplere.

Fontele albe și pestrițe slab aliate cu crom se toarnă, de regulă, în forme metalice, ceea ce înseamnă că viteza de răcire în timpul solidificării este mare.

Cu cât grosimea peretelui formei metalice este mai mică, cu atât grosimea crustei dure, dar și a zonei pestrițe, este mai mare – de asemenea duritatea (în același sens cu grosimea peretelui formei metalice acționează și grosimea stratului de vopsea refractară cu care se vopsește suprafața formei).

Temperatura formei metalice (suprafața cavității) variază în intervalul 80 ... 150°C, în momentul turnării fontei.

Temperatura de turnare, de exemplu, pentru cilindri de laminor cu crustă dură și semidură ce au diametrul de 150 ... 1.500 mm iar înălțimea de 600 ... 6.000 mm, este de 1.250 ... 1.270°C.

Temperatura de turnare, pentru corpuri de măcinare cu structura metalografică albă sau pestriță pe întreaga secțiune și cu grosimea de 30 ... 110 mm, este recomandată în intervalul 1.350 ... 1.450°C, turnarea având loc static, în forme de amestec de formare precum și centrifug, în forme metalice etc.

2.3. Fonte albe martensitice aliate cu crom și nichel, slab aliate

Fontele albe martensitice cu crom și nichel sunt, în general, slab aliate cu crom, dar se întâlnesc și variante mediu aliate cu crom (8 ... 9% Cr, alături de 5 ... 6% nichel – aceste fonte au rezistență la abraziune foarte mare (instalații de sfărâmare, instalații pentru lichide abrazive etc.) și au diferite denumiri comerciale (Ni – Hard, Diamite, Diamax, Nicromax, Elverite etc.

Microstructura constă din martensită și austenită reziduală, sub influența nichelului, și carburi de tipul $(Cr, Fe)_3C$, fierul din rețeaua cementitei – Fe_3C – fiind înlocuit de crom – martensita și austenita reziduală au duritatea, de exemplu, de 600 HV iar carburile au duritatea de 1.100 ... 1.200 HV.

Cromul stabilizează carburile, eliminând riscul de separare a grafitului (aparitia grafitului este foarte periculoasă deoarece scade considerabil rezistența la abraziune).

Raportul dintre cantitățile de nichel și crom este de 3/1, prezența cromului anihilând efectul grafitizant al nichelului.

În cazul elaborării în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție, pierderile medii de elemente chimice prin oxidare sunt următoarele: 5% pentru C, 5...10% pentru Si, 10% pentru Mn, 0% pentru nichel, 5...10% pentru crom etc.

Tabelul 2/F17

Materiale metalice indicate să se utilizeze în încărcătura metalică la elaborarea fontelor de tip Ni-Hard și compozițiile chimice ale lor.

Nr. crt.	Denumirea materialului metalic	Compoziția chimică, în %							
		C	Si	Mn	P,max.	S,max.	Ni	Cr	Mo
1	Fontă albă Ni-Cr	3,3... 3,6	0,5... 0,7	0,6... 0,8	0,35	0,12	4,4... 4,6	2,2... 2,5	–
2	Fontă albă nealiată	3,3... 3,6	0,3... 0,5	0,6... 0,8	0,35	0,12	–	–	–
3	Deseuri de oțel	0,15	0,2	0,4... 0,6	0,05	0,05	–	–	–
4	Lingouri NM	–	≤ 1	≤ 1	–	–	44... 47	15... 20	–
5	Nichel pelete	–	–	–	–	–	100	–	–
6	Lingouri și alice de nichel F	–	5	–	–	–	92	–	–
7	FeCr	4...6	–	–	–	–	–	65	–
8	FeSi	–	45... 50	–	–	–	–	–	–
9	FeMn	6...8	1	78... 82	–	–	–	–	–
10	FeMo	–	–	–	–	–	–	–	70... 75

În încărcătura metalică se recomandă să se utilizeze materialele metalice prezentate în tabelul 2/F17, tabel ce cuprinde și compoziția chimică a acestora.

Pentru elaborarea fontei Ni-Hard ce conține printre altele, 0,5% Si, 0,5% Mn, 4,5% Ni, 2% Cr, încărcătura metalică se poate alcătui în diferite variante, în tabelul 3/F17 prezentându-se patru variante de încărcătură metalică.

Pentru elaborarea unei fonte Ni-Hard ce conține 2,8...3,2% C, 0,4 ... 0,6% Mn, 0,8 ... 0,9% Si, 4,0 ... 4,5% Ni, 1,5 ... 1,7% Cr, max. 0,1% S și max. 0,25% P, încărcătura metalică este alcătuită din fontă brută (4% C, 0,7% Mn, 1,8% Si etc.), 50% deșuri proprii și 10% deșuri de oțel (0,3% C, 0,4% Mn, 0,3% Si etc.).

Temperatura de turnare este de minimum 1.350°C, din cauza fluidității mici și a temperaturii de început de solidificare mare.

Turnarea se realizează în forme temporare confecționate cu amestec de formare crud sau uscat sau în forme metalice.

Calculul încărcăturii metalice se face prin metode analitice grafice, tatonări, nomograme etc., [4], iar alierea se face în mod similar celei prezentate la paragraful 2.3.

Tabelul 3/F17

Variante de încărcături metalice pentru elaborarea unei fonte Ni-Hard.

Denumirea materialului metalic	Compoziția încărcăturii metalice, în %			
	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Fontă albă Ni-Cr	100	–	–	–
Fontă albă nealită	–	89,25	92	92,0
Lingouri NH	–	10,00	–	–
Lingouri sau granule de nichel F	–	–	5	–
Pelete de nichel	–	–	–	4,5
FeSi 45	–	0,25	–	0,5
FeCr	–	0,50	3	3,0

2.4. Fonte înalt aliate cu crom

Conținutul de crom este în funcție de destinația fontelor, fiind de 11 ... 30% în cazul fontelor rezistente la uzare, 15 ... 25% și 29 ... 35% în cazul fontelor rezistente la temperaturi mari și de 20 ... 35% în cazul fontelor rezistente la coroziune. De regulă, în aceste fonte se întâlnește și molibdenul în proporție de maximum 30%.

În cazul în care conținutul de crom este mai mic de 9,5%, în structură se constată prezența carburii (Fe, Cr)₃C, cu rețea ortorombică, ca făcând parte din colonii eutectice – figura 5/F17 – a și b.

Dacă proporția de crom din fontă este de 9,5...13%, în structură, alături de carbura (Fe, Cr)₃C apare și carbura (Ce, Fe)₇C₃, aceasta din urmă determinând colonii eutectice cilindrice și conice. Carbură (Fe, Cr)₇C₃ are rețea trigonală și se dezvoltă în direcția axei longitudinale a coloanei cilindrice sau conice a coloniei eutectice. Miezul unei colonii cilindrice sau conice –

germenele de cristalizare – este carbura alungită $(Fe, Cr)_7C_3$. Coloniile cilindrice de austenită (austenita învește ramurile de carburi) și carbură $(Fe, Cr)_7C_3$ cresc sub formă de fascicule, între fascicule formându-se eutecticul pe bază de cementită eutectică – Fe_3C – și austenită eutectică de tip fagure.

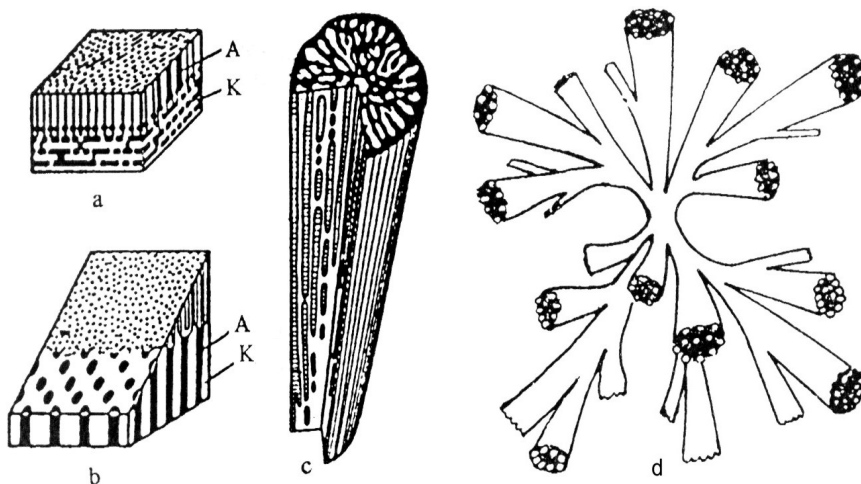


Figura 5/F17. Structura coloniilor eutectice : a și b, în cazul fontelor cu un conținut de crom mai mic de 9,5% (a – condiții normale de răcire ; b – răcire cu viteză mare) ; c – fontă înalt aliată cu crom (zona neagră reprezintă austenita eutectică iar zona albă carbură $(Fe, Cr)_7C_3$) ; d – fontă înalt aliată cu crom (zona de culoare neagră reprezintă austenită eutectică iar zona albă reprezintă carbură de tipul $(Cr, Fe)_7C_3$) ; A – austenită eutectică ; K – cementită eutectică de tipul $(Fe, Cr)_3C$; a și b = colonii eutectice cilindrice sau conice ; d = colonii eutectice sferolitice.

Dacă proporția de crom este mai mare de 13%, cementita dispare din structură, adică dispar coloniile eutectice sub formă de blocuri paralelipipedice (structură fagure), eutecticul fiind format doar din colonii cilindrice de austenită și carbură $(Fe, Cr)_7C_3$. Pentru aceste fonte, în diagrama de echilibru, pentru fontele hipoeutectice, în domeniul dintre curbele lichidus și solidus, există lichid și austenită iar pentru fontele hipereutectice, în domeniul dintre curbele lichidus și solidus, există lichid și carbură $(Fe, Cr)_7C_3$, (carbura primară este sub formă de hexagoane).

Structura metalografică a fontelor înalt aliate cu crom, în stare brut turnată, este formată din carburi eutectice într-o masă de ferită aliată cu crom (pentru fontele cu un conținut de crom mai mic de 13%, în structură există și faze cu aspect de perlită formate din ferită și carburi $(Fe, Cr)_3C$).

Încărcătura metalică este formată din deșeuri de oțel cu grad de puritate mare, deșeuri proprii, ferocrom și feromolibden sau oxid de molibden. În tabelul 4/F17 se prezintă temperaturile de topire și greutatea specifice pentru câteva feroaliaje utilizate la elaborare.

Tabelul 4/F17

Temperaturi de topire și greutatea specifice pentru câteva feroaliaje utilizate la elaborare.

Denumirea feroaliajului	Compoziția chimică, în %				Temperaturile intervalului de topire, în °C	Greutatea specifică, în g/cm ³
	Cr	Si	Mo	C,max.		
Ferocrom	72	0,6	–	0,2	1.600...1.670	7,36
	72	0,6	–	0,5	1.580...1.650	7,38
	72	0,6	–	0,7	1.590...1.625	7,31
	70	0,6	–	1,0	1.560...1.585	7,34
	70	0,6	–	2,0	1.400...1.480	7,31
	69	0,6	–	4,0	1.360...1.420	7,22
	69	0,6	–	6,0	1.250...1.500	7,17
	67	0,6	–	8,0	1.540...1.630	7,12
Feromolibden	–		60...75	0,1	1.550...2.000	9,4
	–		58...65	0,5	1.550... 1.650	l.d.*

* l.d. – lipsă de date

Alierea cu crom se face numai în cuptor.

Pierderile de crom în timpul elaborării sunt de maximum 5%.

Particularitățile de elaborare sunt cele prezentate la paragraful 2.2.

Caracteristică fontelor aliate cu crom este alierea cu azot, aliere ce se realizează prin utilizarea ferocromului ce conține azot – introducerea în baia metalică din cuptor –, a ferocianurii de sodiu – introducerea în oala de turnare –, ureii, azotatului de sodiu, azotatului de potasiu, cianamidei de calciu, hexametilentetraminei, amoniacului, amestecului de clorură de amoniu și azotit de sodiu etc., [5], [6], [7].

Se preferă să se utilizeze în practică compoziții cât mai apropiate de cele eutectice din cauza contracțiilor mari în stare lichidă ce ar necesita utilizarea de maselote mari (contractia la solidificare este apropiată de cea a oțelurilor).

Fontele aliate cu 24...30% crom se recomandă să fie inoculate cu 0,05...0,1% Al, situație în care se sferoidizează sulfurile (se îmbunătățesc majoritatea caracteristicilor) sau cu 0,2% feroceriu (se micșorează conținutul de sulf cu 20%, structura se finisează iar incluziunile nemetalice se sferoidizează).

Se recomandă ca temperatura de turnare să fie de minimum 1.400°C din cauza filmului compact de oxid prezent la suprafața fontei lichide ce determină formarea peliculelor la suprafața pieselor turnate, însă, în principiu, trebuie să fie cât mai mică.

Fontele înalt aliate cu crom se pot turna în forme crude, uscate și permanente.

3. Modul de lucru

Se elaborează o fontă slab aliată cu crom într-un cuptor electric cu încălzire prin inducție ce are capacitatea de 20 kg, este de tip creuzet și

funcționează cu frecvență medie.

Modul de lucru este cel prezentat la lucrarea F4 și la paragraful 2.2 din prezenta lucrare.

Prima probă până se prelevează după atingerea temperaturii de supraîncălzire.

Înainte de evacuare, după ce s-a evacuat zgura, se prelevează a doua probă până.

Încărcătura se compune doar din fontă brută cenușie.

Proba până ce se utilizează este ascuțită și simetrică.

Fonta se toarnă în formă temporară crudă prevăzută și cu o cavitate pentru probă de analiză metalografică cu dimensiunile $\phi 20 \times 20$ mm.

4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii

Măsurile speciale de asigurare a securității muncii sunt cele indicate la lucrarea F1.

5. Interpretarea rezultatelor

Se analizează cele două probe până și proba cilindrică în variantele fără atac cu reactiv chimic și cu atac de reactiv chimic, trăgându-se concluzii în ceea ce privește influența cromului asupra structurii metalografice.

6. Bibliografie

1. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;
2. Sofroni, L. și Ștefănescu, D.M. Fonte speciale. Editura Tehnică. București. 1974;
3. Cosneanu, C., Covacevici, V., Dumitrescu, V. și Vincenz, C. Elaborarea aliajelor de turnătorie în cuptoare electrice prin inducție. Editura Tehnică. București. 1974;
4. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Editura Samia. Iași. 2003 ;
5. Chira, I. Alierea cu azot a fontelor feritice înalt aliate cu crom. Metalurgia, nr. 2, 1998, p. 58...67;
6. Chira, I. Alierea cu azot a aliajelor feroase turnate. Metalurgia, nr. 9, 1999, p. 41...47;
7. Cojocaru, V. ș.a. Procedul de obținere a fontelor cu proprietăți fizico-mecanice superioare. Brevet de invenție. România. nr. 95.467, 1988.

F18. Elaborarea fontelor slab aliate cu siliciu

1. Scopul

Caracterizarea fontelor slab aliate cu siliciu și particularități de elaborare.

2. Considerații generale

O fontă se consideră aliată cu siliciu dacă proporția de siliciu este mai mare de 4%, dar se acceptă că fonta este aliată slab cu siliciu și dacă proporția de siliciu este mai mare de 3%, [1].

Orice fontă industrială conține siliciu.

Siliciul este un element chimic grafitizant, la transformarea primară cât și la transformarea secundară, din acest punct de vedere siliciul situându-se în seria următoare (în ordine crescătoare – puterea grafitizantă): Co, Ni, Cu, Ti, Si, C, Al etc.

2.1. Fonte slab aliate cu siliciu

Siliciul micșorează solubilitatea carbonului în fonta lichidă cu circa 0,3% pe procent, motiv pentru care conținutul de carbon este de 2,2 ... 3,0%.

Fontele slab aliate cu siliciu sunt cenușii și se elaborează în varianta modificată.

Se apreciază că proporția de siliciu se situează între limitele 3 ... 6%.

Masa metalică de bază este feritică chiar și în cazul peretilor cu grosime mică, însă, în funcție de elementele de aliere însoțitoare și de conținutul de siliciu, matricea metalică poate fi perlitică – de exemplu, alierea cu 0,7 ... 2,7% crom, în circumstanțele în care conținutul de siliciu este cuprins între limitele 1,7 .. 3,8%, fonta este albă, adică structura este formată din perlită și cementită liberă.

Fontele slab aliate cu siliciu au rezistență la oxidare și la creștere. Prin rezistență la oxidare se înțelege rezistența la acțiunea agenților oxidanți (O₂, CO₂, H₂O etc.) iar prin rezistență la creștere se înțelege stabilitatea dimensională a pieselor de fontă în condiții de exploatare la temperaturi mari – aceste două proprietăți, cumulate, conferă fontelor atributul de refractare.

Refractaritatea face ca fontele să se utilizeze până la temperatura de 900°C.

Fenomenul de creștere este cauzat de următoarele fenomene:

– agenții corozivi agresivi (de exemplu, O₂, CO₂, H₂O etc.) pătrund în matricea metalică pe la interfața grafit-matrice metalică și oxidează, de exemplu, elementele chimice cu afinitatea chimică mare față de oxigen, oxizii rezultați ocupând un volum mai mare decât elementele chimice care s-au oxidat. În cazul în care grafitul este lamelar, adâncimea de pătrundere a agentului coroziv este mult mai mare decât în cazul în care grafitul este nodular, așa cum se observă din figura 1/F18 – δ este mult mai mare decât δ^* . Cum δ reprezintă adâncimea de pătrundere în cazul în care grafitul este lamelar iar δ^* reprezintă

adâncimea de pătrundere în cazul în care grafitul este nodular, rezultă că rezistența la creștere este net superioară dacă fonta slab aliată cu siliciu este modificată în sensul nodulizării grafitului. Dacă nodulele de grafit sunt izolate între ele, această situație înseamnă o adâncime mică de pătrundere a agenților corozivi pe la limita grafit nodular-matrice metalică, lamelele de grafit sunt în mare parte, dacă nu în totalitate, sub formă de schelet, această formă permițând pătrunderea în profunzime a agenților corozivi. Siliciul dizolvat în ferită formează oxizi simpli sau complecși (SiO_2 , $\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ etc.) ce reprezintă o peliculă pasivizantă la suprafața pieselor ce sunt exploatate în medii agresive. Pelicula pasivizantă are o rețea cristalină compactă, ceea ce determină frânarea sau inhibarea difuziei, de exemplu, a ionilor de oxigen ;

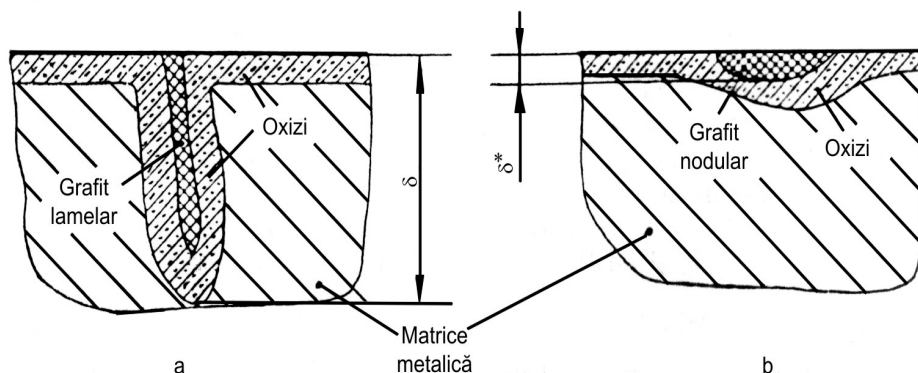


Figura 1/F18. Adâncimea de pătrundere a agenților corozivi : δ – în cazul în care grafitul este lamelar (a); δ^* – în cazul în care grafitul este nodular (b).

– cementita liberă sau legată în perlită se descompune la temperaturi mari, fenomenul de descompunere desfășurându-se cu mărire de volum – un procent de carbon sub formă de grafit rezultat din descompunere determină o mărire de volum a pieselor cu circa 2%. Ferita aliată cu 5...6% siliciu este stabilă – nu se transformă în austenită – până la temperaturi mai mari de 900°C , ceea ce înseamnă că exploatarea pieselor până la temperaturi de 900°C nu este însoțită de schimbări de volum. Masa metalică fiind monofazică – ferită – nu conține cementită leagată, cu atât mai mult cementită liberă.

– grafitul, la temperaturi mari, se dizolvă în matricea metalică, cu atât mai mult în austenită. Fenomenul de dizolvare este însoțit de formarea porilor deoarece atomii de fier alături de cei de carbon nu reușesc să difuzeze și să facă să dispară porii. În condițiile în care siliciul micșorează solubilitatea carbonului în fierul lichid, dar și în fierul solid, se mărește activitatea termodinamică a carbonului, ceea ce mărește probabilitatea ca atomii de carbon și atomii de fier să difuzeze cu o viteză mai mare și să ocupe locul liber din matricea metalică cauzat de dizolvarea grafitului. Cu cât conținutul de siliciu este mai mare, cu atât conținutul de carbon din fontă este mai mic, adică este mai mică respectiva cantitate de grafit, apărând, astfel, o cantitate mai mică de pori.

– presiunea exercitată de gazele din fontă – mai ales cele în stare moleculară – alături de dizolvarea grafitului în matricea metalică,

descompunerea cementitei etc., creează tensiuni care se și relaxează, aceste fenomene conducând la apariția de fisuri. Siliciul favorizează dizolvarea hidrogenului în fonta lichidă în cantitate mare, din acest punct de vedere toate fontele aliate cu siliciu creând dificultăți la elaborare și fiind susceptibile de fisurare. În schimb, cantitatea mică sau foarte mică de grafit și absența cementitei din structură micșorează semnificativ riscul de apariție a tensiunilor, de asemenea, a fisurilor.

Micșorarea cantității de grafit și mărirea conținutului de siliciu măresc refractaritatea fontelor, însă, în practică, nu se utilizează fonte cu un conținut mai mare de 6% din cauza creșterii excesive a fragilității și a înrăutățirii accentuate a proprietăților de turnare (practic, nu se utilizează fonte cu un conținut de carbon mai mic de 2,2%).

Rezistența la rupere la tracțiune minimă este de 100 N/mm² în cazul în care grafitul este lamelar și de 220 N/mm² în cazul în care grafitul este nodular. Alături de refractaritate, se îmbunătățesc, prin aliere, în diverse regimuri, cu max. 1% Cr, max. 1,5% Cu, max.4% Al, max. 3% Mn și max. 0,2% Ti, și caracteristicile mecanice de rezistență.

2.2. Fonte mediu și înalt aliate cu siliciu

Conținutul de siliciu determină caracteristica predominantă, existând fonte cu refractaritate foarte mare (mediu aliate) și fonte cu rezistență la coroziune mare (înalt aliate) – antiacide.

Se apreciază că fontele mediu aliate conțin 6 ... 12% siliciu iar fontele înalt aliate conțin 12 ... 32% siliciu.

Siliciul îngustează domeniul γ din diagrama de echilibru Fe-C.

Majoritatea fontelor mediu și înalt aliate cu siliciu sunt cenușii, grafitul existând în variatele lamelară și nodulară (modificată). În condiții de răcire cu viteză mare la temperaturi mai mici decât temperatura solidus, microstructura poate conține și carburi.

Conținutul de carbon eutectic este în funcție de conținutul de siliciu (a

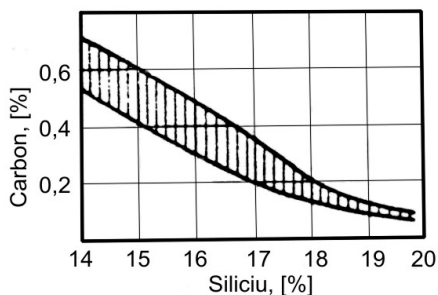


Figura 1/F18. Variația conținutului de carbon eutectic cu proporția de siliciu, pentru o fontă dată.

se vedea și paragraful 2.1), în figura 1/F18 prezentându-se dependența conținutului de carbon eutectic de conținutul de siliciu pentru o fontă dată, la care variază doar conținutul de siliciu, [2].

Fondul metalic, din punct de vedere structural, este format din soluție solidă de Si, Mo și C în Fe. În structură se mai întâlnește și eutectic format din soluție solidă și carburi (Mo₂C, Fe₃C, Mo₃C·Fe₃C etc.) sau grafit. Așadar, alături

de siliciu, se mai întâlnește și molibden (minimum 2%) ce mărește rezistența la coroziune, dar și nichel ce până la 3% mărește și el rezistența la coroziune și distruge rețeaua de carburi de molibden, crom, mangan, aluminiu etc.

Cu scopul neafectării prelucrabilității mecanice, în special din cauza cromului (cromul mărește caracteristicile mecanice), între conținuturile de C, Si și Cr trebuie respectate relațiile următoare:

$$\%C + \%Si - \%Cr \geq 5,5\%, \quad (1/F18)$$

în cazul pieselor cu grosimea de perete mai mică de 10 mm și

$$\%C + \%Si - \%Cr \geq 4,5\%, \quad (2/F18)$$

în cazul în care grosimea de perete este mai mare de 10 mm.

Dacă se propune și mărirea rezistenței la uzare, se recomandă modificarea fontei în vederea obținerii grafitului nodular și mărirea conținutului de fosfor până la 0,35 .. 0,40%, în așa fel încât, în structură, să apară eutectic fosforos.

Conținutul de carbon poate scădea până la 0,3 ... 0,6%, situații în care conținutul de carbon eutectic scade și el până la 0,5 ... 0,6% – în condiții de conținut maxim de siliciu.

Ca element chimic alfa-gen, dacă este în proporții mai mari de 10%, siliciul elimină domeniul austenitic din diagrama de echilibru Fe-C.

Carburile sunt prezentate în structură numai în cazul vitezelor de răcire mari.

Dacă proporția de siliciu este mai mare de 16%, aspect coroborat cu viteze mari de răcire, eutecticul ce se formează la transformarea primară, devine ternar și este format din ferită, cementită și siliciură de fier – Fe_3Si_2 .

Fontele înalt aliate cu siliciu nu suferă transformări fazice la răcirea în formă, ceea ce atrage după sine utilizarea pieselor în stare brut turnată, doar tratamentele termice de detensionare fiind oportune.

Un procent de siliciu mărește duritatea fontei cu 50 HB ca urmare a alierii feritei cu siliciu și a prezenței Fe_3Si_2 ce este foarte dură (600 HB).

Se recomandă să se acorde atenție mărită conținutului de carbon deoarece dacă fonta devine hipereutectică, se obține grafit primar grosolan ce înrăutățește rezistența la oxidare.

Cu cât conținutul de carbon este mai mic, cu atât mai mică este cantitatea de grafit și cu atât mai mare devine rezistența la tracțiune.

Excesul de siliciu în fontă conduce la apariția în structură a fazei η (Fe_3Si_2) – în structura fontei se mai întâlnesc și fazele ϵ (FeSi) și ξ (Fe_2Si_5) – faza η mărind considerabil fragilitatea fontei.

Conținutul mare de siliciu asigură formarea unei pelicule protectoare de SiO_2 pe suprafața pieselor, sub acțiunea agenților chimici agresivi – asigurarea formării peliculei de SiO_2 este dată de minimum 25% atomice de siliciu, adică se impune ca fonta să conțină minimum 14 ... 14,5% siliciu. În momentul în care piesa de fontă intră în exploatare, atomii de fier sunt eliminați din zona de

contact cu agentul coroziv iar atomii de siliciu rămăși se oxidează formând SiO_2 ce stopează acțiunea în profunzime a respectivului agent. Dacă din diverse motive, pelicula de SiO_2 se distruge, are loc refacerea ei în timp util.

Dacă fonta nu este aliată suplimentar cu molibden, unele medii corozive dizolvă pelicula de SiO_2 – de exemplu, acidul clorhidric la temperatura de fierbere, compuși pe bază de fier și soluții alcaline concentrate.

Fontele înalt aliate cu siliciu și molibden se mai numesc și fonte anticlor și au structura primară constituită din ferită primară și eutectic ternar format din ferită, $\text{Mo}_2\text{C} \cdot \text{Fe}_3\text{C}$ și MoSi_2 .

Fontele înalt aliate cu siliciu au diverse denumiri, în funcție de țara care le produce – Duriron (S.U.A.), Corrosiron (S.U.A.), Ironak (Anglia), Tantiron (Anglia), Virgo (Franța), Ferosilid (Rusia), Anticlor (Rusia), Termosilid (Germania) etc.

2.3. Elaborarea

Fontele slab aliate cu siliciu se pot elabora, practic, în toate agregatele de elaborare.

Dacă elaborarea se face în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție, se poate controla cel mai ușor conținutul de carbon, și, în general, tehnologia de elaborare este cea corespunzătoare elaborării fontelor nealiate cu siliciu, cu un conținut de siliciu mai mare.

În cazul elaborării fontelor mediu aliate cu siliciu apare problema obținerii unui conținut de carbon mai mic și a unui grafit fin (de subrăcire), ceea ce în cubilou se realizează mai dificil (în cubilourile clasice care funcționează pe bază de cocs de turnătorie).

Practic, fontele mediu aliate cu siliciu se pot elabora în toate agregatele de elaborare ce se utilizează la scară industrială.

În cubilou, în principal, utilizându-se în încărcătură doar deșeuri de oțel ca bază, se pot obține fonte cu un conținut minim de carbon de 2,2%.

Utilizarea în încărcătură a sorturilor de fontă ce au grafitul grosolan este interzisă în cazul elaborării fontei în cubilou, din cauza fenomenului de ereditate, fonta de a doua fuziune obținută având grafitul grosolan, ceea ce scade semnificativ rezistența la coroziune. Nici în cazul elaborării fontei în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție nu se recomandă utilizarea în încărcătură de fonte cu grafitul grosolan deoarece cresc cheltuielile pentru eliminarea lui, și, astfel, crește costul fontei elaborate.

Pentru obținerea grafitului fin, de subrăcire, se recomandă adăugarea în fonta mediu aliată cu siliciu a titanului în proporție de 0,20 ... 0,25%. Adaosul de titan, de exemplu, se poate face prin introducerea în încărcătura metalică de fonte brute cu titan, sau de ferosiliciutitan, sau prin introducerea în oala de turnare de ferotitan sau de deșeuri de titan metalic (după introducerea materialelor de aliere în oala de turnare se recomandă, în vederea omogenizării chimice, barbotarea fontei lichide cu bioxid de carbon timp de 2 ... 3 minute). Grafitul fin, de subrăcire, se obține și în cazul conținuturilor mici de carbon și, de asemenea, în cazul supraîncălzirii fontei în stare lichidă.

În cazul elaborării în cuptoare electrice, se recomandă ca în încărcătura metalică să se utilizeze deșeuri de oțel, fontă brută cu 12 ... 14% siliciu, fontă brută ce conține titan în proporția de 0,3 ... 0,4%, ferosiliciu, ferosiliciu ce conține titan, fontă brută de calitate superioară etc. – pentru fonte mediu aliate cu siliciu.

Dacă fonta mediu aliată cu siliciu se elaborează în cubilou, de exemplu, se recomandă ca încărcătura metalică să fie alcătuită din 50% deșeuri de oțel și 50% fontă brută silicioasă (cu 14% siliciu). Dacă în încărcătură se utilizează și ferosiliciu ce conține titan, titanul se asimilează în proporție de 40 ... 60% (ferosiliciul ce conține titan se poate adăuga și în fonta din oală dacă fonta este supraîncălzită în mod corespunzător). De asemenea, dacă fonta se elaborează în cubilou, se recomandă și încărcătura formată din 30 ... 40% fontă brută, 40 ... 50% deșeuri de oțel și 5 ... 10% FeSi45 sau FeSi75. Dacă alierea cu siliciu se efectuează în oala de turnare, trebuie să se aibă în vedere că fenomenul de dizolvare a siliciului în fonta lichidă este un fenomen exoterm.

Fonta înalt aliată cu siliciu se recomandă să se elaboreze doar în cuptoare electrice, pentru care se recomandă ca în încărcătura metalică să se utilizeze deșeuri de oțel, ferosiliciu, fontă hematită (conține fosfor în cantitate de maximum 0,1%), fontă brută de calitate superioară (rafinată), recirculat (deșeuri proprii) etc.

Fonta înalt aliată cu siliciu se poate elabora și în cuptor rotativ, situație în care încărcătura metalică, de exemplu, se poate alcătui din 2% fontă hematită, 9,5% ferosiliciu ce conține 90% siliciu, 38,5% deșeuri de oțel și 50% deșeuri proprii.

Fontele înalt aliate cu siliciu au mare afinitate față de gaze, în special pentru hidrogen, cauză ce determină apariția de porozități și, astfel, rebutarea pieselor. Acesta este motivul pentru care componentele metalice și nemetalice ale încărcăturii trebuie să fie cu grad mare de puritate și uscate, supraîncălzirea în stare lichidă nu trebuie să fie prea mare, amestecurile de formare nu trebuie să aibă umiditatea mare, oalele de turnare și miezurile trebuie să fie uscate în mod corespunzător etc.

În practică, din cauza influenței negative a hidrogenului, se abordează turnarea fontei înalt aliate cu siliciu în forme sub formă de calupuri (blocuri), după care respectivele blocuri se retopesc, eventual li se corectează compoziția chimică și apoi se toarnă în forme, obținându-se piesele fasonate. Astfel, se obțin piese fără pori.

Literatura de specialitate – [2] – indică obținerea de piese din fontă înalt aliată cu siliciu, fără pori, dacă ferosiliciul utilizat pentru corectarea conținutului de siliciu are aluminiu în cantitate mică.

O problemă aparte o constituie și cantitatea mare de incluziuni nemetalice, incluziuni nemetalice favorizate de prezența aluminiului, calciului și magneziului în sorturile metalice din încărcătură – în special în ferosiliciu –, motiv pentru care suma proporțiilor de aluminiu și calciu nu trebuie să depășească 2% în FeSi 75 și 1,2% în FeSi45.

Dacă fonta înalt aliată cu siliciu se elaborează în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric și cu căptușeală refractară de natură chimică acidă, de

exemplu, pentru un cuptor cu capacitatea de 1,5 t, încărcătura metalică este constituită din deșeuri proprii, FeSi 45, deșeuri de oțel și fontă brută obișnuită. Zgura ce se formează în timpul topirii și supraîncălzirii, deoarece are viscozitatea mare, este tratată cu calcar. Zgura este eliminată din cuptor atunci când fonta ajunge la temperaturi de 1.500 ... 1.550°C. După eliminarea zgurii, fonta lichidă se supraîncălzește în continuare până la temperaturi de 1.650...1.700°C. După atingerea temperaturii maxime de supraîncălzire are loc menținerea băii metalice în cuptor, sub zgura ce se formează de la sine, până la temperatura de evacuare din cuptor.

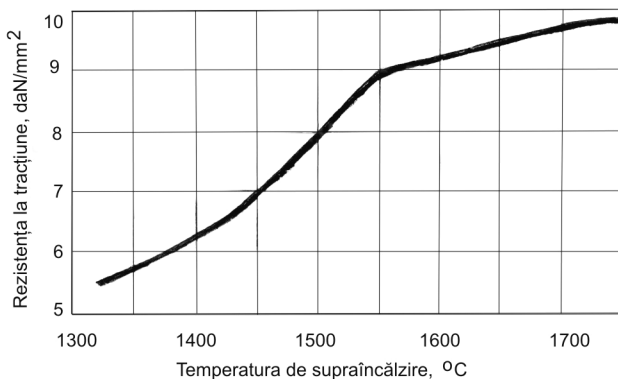


Fig.2/718. Variația rezistenței la tracțiune cu temperatura de supraîncălzire în stare lichidă, pentru o fontă dată înalt aliată cu siliciu și cu grafit lamelar.

Dacă temperatura de supraîncălzire este mare se obțin și următoarele efecte:

- descompunerea hidrurilor de siliciu de tip Si_2H_2 , Si_2H_6 și SiH_4 , ceea ce conduce la îmbunătățirea caracteristicilor mecanice de rezistență. În figura 2/F18 se prezintă creșterea rezistenței la tracțiunea o dată cu mărirea temperaturii de supraîncălzire, pentru o fontă înalt aliată cu siliciu, cu grafit lamelar ;

- la temperaturi mai mari decât temperatura de echilibru a reacției chimice (1/F18), are loc reducerea siliciului din SiO_2 de către carbonul din baia metalică, ceea ce înseamnă purificarea fontei – micșorarea conținutului de SiO_2 , dar și a altor incluziuni nemetalice ;



- mărirea solubilității carbonului în fonta lichidă. De exemplu, într-o fontă cu 16% siliciu, solubilitatea carbonului la temperatura de 1.300°C este de 0,7%, în timp ce la temperatura de 1.700°C solubilitatea carbonului este de 1,3% ;

- se dezactivează grafitul remanent ce are influență negativă asupra cristalizării – determină formarea de grafit grosolan (grafit sub formă de fulgi) ;
- sulful, ce se află sub formă de SiS și SiS_2 , se volatilizează.

Se recomandă ca înainte de evacuarea din cuptor a fontei înalt aliate cu

siliciul, să se elimine zgura.

2.4. Turnarea

În cazul fontelor mediu aliate cu siliciul se constată următoarele particularități:

- fluiditatea este de același ordin de mărime cu al fontelor slab aliate cu siliciu și al fontelor nealiate. Prezența cromului, însă, micșorează fluiditatea lor. Fluiditatea maximă corespunde unor grade de saturație în carbon de 1,0 ... 1,1;
- creșterea volumului de retasură. Dacă, de exemplu, o fontă nealiată are contractia, exprimată prin mărimea relativă, în %, de 100%, o fontă aliată cu 4,84% siliciu are retasura de 110% iar o fontă aliată cu 6,12% Si are retasura de 115% ;
- contractia liniară liberă este de același ordin de mărime cu al fontei nealiate (pentru fonta în care grafitul este lamelar – 1,00 ... 1,25);
- tendința de fisurare la rece pentru fontele cu un conținut de siliciu mai mare de 6% și în special în condiții de aliere suplimentară cu crom și mangan ;
- absența tendinței de fisurare la cald ;
- în cazul în care grafitul este nodular (pentru aliniatele anterioare grafitul considerat a fost lamelar), tendința de formare a retasurii este de circa două ori mai mică decât cea a fontelor cu grafit nodular nealiate iar fluiditatea este de același ordin de mărime cu al fontelor cu grafit nodular nealiate. Dacă temperatura de turnare este mică, retasura este concentrată iar porozitatea este accentuată. În prezența cromului, porozitatea și formarea retasurilor sunt accentuate. Contractia liniară este mai mare cu 0,3 ... 0,5% decât cea în cazul în care fonta este nealiată (adaosul de mangan mărește contractia liniară). Tendința de formare a fisurilor la rece este mai mare decât cea corespunzătoare fontei cu grafit lamelar și aliată suplimentar cu crom.

În cazul fontelor înalt aliate cu siliciu se constată următoarele particularități:

- temperatura optimă de turnare este de 1.250 ... 1.280⁰C, pentru piese cu grosimea de perete mai mică de 10 mm și de 1.220 ... 1.250⁰C, pentru piese cu grosimea de perete mai mare de 10 mm. Temperatura de turnare relativ mică este justificată de evitarea absorbției de hidrogen în cantitate mare. Dacă temperatura de turnare este prea mare și dacă turnarea se realizează în forme crude, crește durata de contact a fontei lichide cu amestecul de formare până la începutul solidificării fontei și, astfel, crește riscul de saturație în hidrogen;
- viteza de turnare trebuie să fie de 2 ... 3 ori mai mare decât cea a fontelor nealiate;
- contractia ce trebuie luată în considerație la confecționarea modelelor trebuie să fie de 1,56%, adică mult mai mare decât în cazul fontelor nealiate.

3. Modul de lucru

Se propune spre elaborare o fontă slab aliată cu siliciu ce are compoziția chimică următoare: 2,14 ... 2,48% C, 3,92 ... 4,48% Si, 0,28 ... 0,50% Mn,

0,038 ... 0,050%P și 0,032 ... 0,040% S, [3].

Încărcătura metalică se compune din 60% fontă brută cenușie și 40% deșeuri de oțel.

Elaborarea se realizează într-un cuptor electric cu încălzire prin inducție, tip creuzet, cu capacitatea maximă de 30 kg de fontă și care funcționează cu frecvența medie de 8.000 ... 9.000 Hz.

După ce se dozează componentele încărcăturii se încarcă și se topește fonta brută.

Deșeurile de oțel se introduc sub formă de porții doar după ce s-a topit integral fonta brută. Dacă este posibil, deșeurile de oțel se introduc preîncălzite. Deșeurile de oțel se topesc, în principal, prin dizolvare în baia metalică existentă. Nu se recomandă să se acționeze asupra bucăților de deșeuri de oțel prin șocuri mecanice prin intermediul barelor de oțel (sculelor) deoarece se riscă deteriorarea căptușelii refractare granulare. Căptușeala refractară este de natură chimică acidă și are peretele vertical cu grosimea de maximum 40 mm.

Dacă se constată că se formează o crustă de zgură la partea superioară a creuzetului, crustă de care sunt rigidizate și bucăți de deșeuri de oțel, nu se va acționa prin lovire cu scule ci se va schimba regimul electric al cuptorului. Pe măsură ce topirea avansează se schimbă proprietățile magnetice și electrice ale încărcăturii metalice, astfel, schimbându-se și adâncimea de pătrundere a câmpului electromagnetic variabil în încărcătura metalică. Se va acționa asupra bateriei de condensatoare, atenuându-se și factorul de putere, mărindu-se temperatura încărcăturii metalice, ceea ce duce de la sine la topirea crustei de zgură a podului format. Este posibil, cu scopul grăbirii etapei de topire, ca să se încline cuptorul în față sau în spate, atât cât permite sistemul manual de basculare, astfel, baia metalică reușind să dizolve crusta de zgură și să elimine podul format.

Din momentul topirii deșeurilor de oțel urmează etapa de supraîncălzire a băii metalice până la temperatura de circa 1.450°C.

Temperatura băii metalice se determină prin intermediul pirometrului optic, în momentul determinării trebuind să fie descoperită de zgură în zona în care se face determinarea.

După ce s-a eliminat zgura formată de la sine în timpul topirii și supraîncălzirii urmează etapa de aliere cu siliciu.

Siliciul se introduce în cuptor sub formă de ferosiliciu și în porții mici cu masa de 1,5 ... 2% din baia metalică ce se aliază.

Dimensiunile bucăților de ferosiliciu sunt de 10 ... 30 mm.

O porție de ferosiliciu se introduce numai după ce s-a dizolvat porția anterioară.

Temperatura băii metalice fiind de minimum 1.450°C, dizolvarea unei porții se face în 2 ... 3 minute, adică "vizibil" dacă se privește fenomenul prin ochelarii de protecție contra radiației de lumină și căldură.

După dizolvarea ferosiliciului în întregime, se menține fonta în stare lichidă timp de circa 5 minute (cu inductorul scos din circuitul electric).

Ulterior, se înclină cuptorul înspre în față – înspre jgheabul de evacuare – și se elimină zgura formată în timpul etapei de aliere.

Dacă în timpul elaborării baia metalică se descoperă parțial, se adaugă pe suprafața ei nisip cuarțos pentru ca stratul de zgură să aibă grosimea de circa 3 mm.

Fonta lichidă se evacuează în oale de turnare – de preferință într-o oală – preîncălzite la temperatura de 400 ... 600°C.

Dacă fonta este propusă să se toarne în forme destinate obținerii de piese fasonate, se va avea în vedere ca formele să fie uscate – preîncălzite la temperatura de 300°C, timp de circa 4 ore. Se recomandă ca formele să fie vopsite cu o vopsea refractară pe bază de grafit, sau de alt tip, în trei straturi, însă, obligatoriu, înainte de uscare – în caz contrar, din cauza absorbției hidrogenului apar pori, piesele fiind rebutate. Temperatura de turnare este cuprinsă în intervalul 1.460 ... 1.400°C dacă grosimea de perete a pieselor urmărite să fie obținute prin turnare este de 5 ... 8 mm iar lungimea peretilor este de 150 ... 300 mm și mai mică – 1.400 ... 1.350°C, dacă grosimea de perete a respectivelor piese este de 10 ... 20 mm.

Se evită turnarea fontei în forme crude.

În circumstanțele în care grosimea de perete este de 5 ... 8 mm, formele se dezbat la temperaturi sub 700°C, practic la circa jumătate de oră după ce pâlnia de turnare și-a schimbat culoarea din roșie, sau nuanțe de roșie, în neagră.

În timpul elaborării fontei se prelevează două probe până – prima după evacuarea zgurii, înainte de etapa de aliere și a doua, înainte de evacuarea fontei din cuptor.

Dacă fonta se toarnă sub formă de piese fasonate, se atașează la o piesă, în formă, și o probă de investigație a structurii metalografice cu dimensiunile de ϕ 20 x 20 mm.

4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii

Din cauză că există căptușeală refractară de natură chimică acidă, iar elaborarea se face pornind cu cuptorul “de la rece” adică de la temperatura mediului ambiant, din cauză că temperatura băii metalice depășește temperatura de echilibru a reacției chimice $(\text{SiO}_2)_{\text{căptușeală}} + 2[\text{C}] = [\text{Si}] + 2\{\text{CO}\}$ are loc, în planul zgurii, micșorarea grosimii căptușelii refractare etc. După ce apare baia metalică, se ține tot timpul sub observație aspectul stratului izolator (de textolit sau de azbest) din punctul de vedere al culorii, printre spirele de cupru ale inductorului. Dacă se sesizează tendința de înroșire, înseamnă că, accidental, grosimea căptușelii refractare a ajuns la “cota” de avarie și există riscul de perforare a căptușelii refractare. Dacă fonta lichidă, ce de regulă este supraîncălzită, a ajuns prin crăpături la spira de cupru (prin care circulă apa de răcire), cuprul se dizolvă aproape instantaneu în jetul de fontă, fonta lichidă supraîncălzită vine în contact direct cu apa de răcire, aceasta din urmă vaporizându-se brusc, fenomenul ce are loc fiind o explozie, consecințele riscând să fie grave.

Din momentul în care baia metalică începe să se contureze în creuzet, în fața cuptorului trebuie să se afle o oală de turnare de avarie, preîncălzită.

Dacă se sesizează tendința de schimbare a culorii stratului izolator sau

ale straturilor izolatoare (se recomandă ca să se utilizeze două straturi izolatoare – unul de textolit cu grosimea de 1,5 mm, înspre spirele inductorului și unul de azbest, înspre căptușeala refractară granulară), se deconectează inductorul de la tensiune și se evacuează fonta lichidă în oala de avarie. În prealabil, trebuie pregătite și niște forme cu cavitatea sub formă de blocuri, neuscate, în care să se toarne fonta de avarie.

Oala de turnare de avarie trebuie să fie fixată în furca de manevrare.

După evacuarea fontei din creuzet se examinează creuzetul prin intermediul ochelarilor de protecție, în mod vizual, pentru a se sesiza eventualele concavități apărute în timpul elaborării anterioare, cu scopul luării de decizii în legătură cu validitatea creuzetului pentru încă una sau mai multe elaborări.

Înainte de încărcarea creuzetului cuptorului se examinează creuzetul sub aspectele integrității, concavităților, depunerilor și, foarte important, al dimensiunilor. Practic se apelează la un șablon inelar care determină cât de avansată este uzura căptușelii refractare. Dacă respectiva căptușeală este corespunzătoare din toate punctele de vedere, nu există nici un pericol pentru personalul care deservește cuptorul pentru elaborare.

Viteza de încălzire a încărcăturii metalice, la începutul etapei de topire, trebuie să fie mică, cu scopul de a nu se introduce tensiuni termice în căptușeala refractară, chiar dacă respectiva căptușeală refractară granulară acidă are un coeficient de dilatare liniară foarte mic. Orice tensiune termică în căptușeala refractară poate constitui o sursă de amorsare a unei fisuri ce la temperaturi mari se poate transforma în crăpătură și poate genera consecințe periculoase pentru personalul de deservire și utilajul ca atare.

În timpul elaborării fontei, se mai poate verifica micșorarea accidentală a grosimii căptușelii refractare sau apariția unor fisuri sau crăpături în căptușeală, prin verificarea temperaturii apei de răcire din conductele flexibile de aducțiune la inductor și de evacuare de la inductor. Pentru acest scop, se deconectează de la tensiune inductorul, și, prin palpare cu mâna, se compară temperatura apei din conducta de aducțiune cu temperatura apei din conducta de evacuare. Dacă temperatura apei – a conductei flexibile – din conducta de evacuare depășește 50 ... 60°C, trebuie să existe motive de îngrijorare, adică de supraveghere vizuală a stratului izolator al căptușelii refractare dinspre inductor.

Nu se începe elaborarea dacă sistemele de racordare ale conductelor flexibile (conductele flexibile, atenție, conțin și conductoarele electrice sub formă de inserție) la inductor nu sunt perfecte – dacă se sesizează neetanșeități (scurgere de apă) nu se începe elaborarea decât după remedierea defectiunilor.

Dacă în timpul elaborării se sesizează scurgeri de apă și dacă în creuzet există metal lichid, se deconectează inductorul de la tensiune și se evacuează fonta lichidă în oala de avarie. Oricum, în cazul sesizării scurgerilor de apă, elaborarea se întrerupe, indiferent dacă există sau nu baie metalică în creuzet. Elaborarea se reia, după caz, numai după remedierea defectului.

Celelalte măsuri de asigurare a securității muncii sunt comune cu cele consemnate la lucrarea F4.

5. Interpretarea rezultatelor

Se analizează probele până și proba atașată la piesele fasonate și se trag concluzii asupra structurii metalografice și influenței siliciului privind geometria și cantitatea de grafit.

6. Bibliografie

1. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. București. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;
2. Sofroni, L. și Ștefănescu, D.M. Fonte speciale. Editura Tehnică. București. 1974;
3. Cojocaru-Filipiuc, V. și Alexandru, I. Fontă pentru rezistori la tramvaie. Metalurgia, nr. 1, 1996, p. 44...47.

F 19. Carburarea fontei – elaborarea fontei sintetice

1. Scopul

Elaborarea fontei sintetice; principiile carburării.

2. Considerații generale

Fonta sintetică este fonta de a doua fuziune, ce se obține prin procesare unei încărcături metalice alcătuită exclusiv din deșeurile de oțel.

În principiu, o fontă sintetică se caracterizează prin proprietăți mecanice de rezistență superioare fontelor de a doua fuziune, de aceeași compoziție chimică, însă obținute prin procesarea unei încărcături metalice compusă din deșeurile de oțel alături de fontă brută, fontă veche, deșeurile de fontă etc., în diverse proporții, deșeurile de oțel nedetținând exclusivitatea în încărcătura metalică. Caracteristicile mecanice de rezistență superioare ale fontei sintetice au la bază fenomenul de ereditate metalurgică ce constă în transmiterea de către fonta brută, fonta veche și deșeurile de fontă, din încărcătură, fontei de a doua fuziune, următoarele însușiri ce se întâlnesc mult atenuate la deșeurile de oțel sau chiar lipsesc:

- particularitățile structurale (natura matricei metalice, gradul de finețe al grafitului, fenomenul de coagulare a centrilor de grafitizare etc.);
- conținutul de gaze;
- conținutul de incluziuni nemetalice;
- conținutul de impurități;
- influența transformării eutectoide (austenita are o stabilitate cu atât mai mică cu cât cantitatea de grafit este mai mare etc.);
- tendința de formare a crăpăturilor (cu cât conținutul de siliciu din fontele brute este mai mare);
- tendința de formare a retasurii (cu cât conținutul de siliciu din fontele brute este mai mare);
- fluiditatea, [1].

Din punctul de vedere al eredității metalurgice, deșeurile de oțel nu conțin grafit, au conținuturi mai mici de gaze, incluziuni nemetalice, siliciu, impurități etc. În cuptoarele electrice cu inducție fenomenul de ereditate metalurgică este foarte slab.

Având în vedere că deșeurile de oțel se caracterizează printr-un conținut de carbon mult mai mic decât cel al fontelor uzuale, rezultă că procesarea unei încărcături metalice alcătuită doar din deșeurile de oțel are ca obiectiv principal desfășurarea procesului de carburare.

Conform [2], în cazul elaborării fontei în cubilou (în general, cubilou cu cocs), proporția de deșeurile de oțel din încărcătură variază între limitele 0...70%. Prin urmare, în cubilou nu se poate obține fontă sintetică, cauza fiind dictată de următoarele considerente:

- dificultatea asigurării căldurii necesară topirii (linia lichidus în cazul deșeurilor de oțel este, de regulă, de minimum 1.400°C);

– carburarea incapabilă să asigure conținutul de carbon din fonta propusă să fie elaborată etc.

În cazul cubilourilor ce utilizează ca sursă calorică gaze de ardere și energie electrică (cubilouri electrogaz), încărcătura metalică poate fi compusă și numai din deșeuri de oțel.

În principiu, dacă o încărcătură metalică a cubiloului are conținutul de carbon mic – specific deșeurilor de oțel – apar probleme dificile în funcționarea cubiloului deoarece zona de topire se extinde până în apropierea nivelului gurilor de aer, picăturile metalice nu mai au posibilitatea să se supraîncălzească, fonta solidificându-se pe jghebul cubiloului.

În cazul cubiloului, condițiile de carburare ar permite carburarea fazei metalice, însă, unele proprietăți tehnologice nu s-ar obține cu valori corespunzătoare – de exemplu, fluiditatea. Carburarea în cubilou este influențată pozitiv de următorii factori:

– temperatura. Carburarea este un proces endoterm, ceea ce, conform principiului lui Le Châtelier, justifică difuzia cu viteză mai mare a carbonului prin faza metalică atunci când temperatura crește și, evident, atunci când aceasta are valori mari;

– cu cât înălțimea patului de cocs este mai mare. În cazul cubilourilor fără cocs intervine injectarea carbonului sub formă de material de carburare în apropierea creuzetului, într-o zonă în care intervine un aport caloric în cubilou de natură electrică (arc electric sau inducție) – se mărește suprafața de contact cocs-metal;

– granulația mai mică a cocsului;

– zgură cu bazicitate mai mare – bucățile de cocs sunt “descoperite” de cenușa acidă;

– cubiloul cu cocs nu este prevăzut cu antecreuzet – se mărește durata de contact cocs-metal;

– înălțimea creuzetului este mai mare – se mărește suprafața de contact cocs-metal.

Efectul caloric al dizolvării carbonului în fier depinde de dizolvant, în tabelul 1/F19 prezentându-se variația de entalpie (ΔH) în cursul dizolvării carbonului în Fe_{lichid} , Fe_{γ} și Fe_{α} .

Tabelul 1/F19

Variația de entalpie pentru dizolvarea carbonului în fier.

Modul de dizolvare a carbonului	Variația de entalpie (ΔH), în cal/atom gram de C
$C \rightarrow Fe_{\text{lichid}}$	6.400
$C \rightarrow Fe_{\gamma}$	10.800
$C \rightarrow Fe_{\alpha}$	20.000

Procesul de dizolvare a carbonului în matricea solventului decurge cu creșterea entropiei (ΔS). Pentru comparație, în tabelul 2/F 19 se prezintă variația de entropie în cazul dizolvării carbonului în diverse matrice.

Tabelul 2/F19

Variația de entropie în cazul dizolvării carbonului în diverse matrice.

Matricea dizolvanță	Variația de entalpie (ΔS), în cal/mol · °C
oțel cu 1,10% C	9,40
oțel cu 0,20% C	13,25
fontă cu 2,3% C	6,80

În vederea studierii dizolvării carbonului în austenită, adică în bucățile de încărcătură metalică, se determină variația de entalpie liberă (ΔG), ținând seama de definiția variației de entalpie liberă, [3] – relația (1/F 19) –, pentru un oțel nealiat cu 0,20% C, ținând seama de datele din tabelele 1/F 19 și 2 F/19, se obține dependența de temperatură a variației de entalpie liberă ce este $\Delta G = 10.800 - 13,25 \cdot T$.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1/F19)$$

Pentru ca procesul de carburare să se producă, trebuie ca variația de entalpie liberă să fie mai mică decât zero – să fie negativă. O variație negativă a variației de entalpie liberă, în cazul oțelului nealiat cu 0,20% C, se realizează doar dacă temperatura este mai mare decât 815 K, adică 542°C. Așadar, pentru ca elementul chimic carbon să difuzeze în austenită (Fe_γ), se impune ca temperatura să fie de minimum 542°C.

Dacă se face referință la elaborarea fontei în cuptorul electric cu inducție, rezultă că materialul de carburare se poate adăuga în încărcătura metalică solidă deoarece procesul de carburare începe la temperaturi relativ mici în cazul deșeurilor de oțel nealiat cu 0,20% C.

În cazul considerării deșeurilor de oțel alcătuite din oțel nealiat cu 1,10% C, dizolvarea carbonului în austenită se realizează cu o variație a entalpiei libere în funcție de temperatură de forma $\Delta G = 10.800 - 9,4 \cdot T$, de unde rezultă că temperatura minimă începând de la care carbonul se dizolvă în austenită este de 877°C.

Din cele două exemple de deșeuri de oțel date anterior rezultă că o dată cu creșterea conținutului de carbon din deșeurile de oțel crește și temperatura la care începe dizolvarea carbonului în austenită.

Dacă se consideră fenomenul de dizolvare a carbonului în ferită (Fe_α), în vederea analizei deșeurilor de oțel nealiat cu 0,20% C, variația de entalpie liberă cu temperatura are forma $\Delta G = 20.000 - 13,25 \cdot T$, de unde rezultă că temperatura minimă de dizolvare a carbonului este de 1.236°C. Așadar, nu există condiții termodinamice ca până la transformarea eutectoidă – până la temperatura eutectoidă – carbonul să difuzeze în ferită. În cazul unui oțel nealiat cu 1,10% C, variația de entalpie liberă în cazul dizolvării carbonului în ferită este $\Delta G = 20.000 - 9,4 \cdot T$, de unde rezultă că temperatura minimă de difuzie a carbonului în ferită este de 1.854°C, ceea ce, și în acest mod, confirmă absența condițiilor termodinamice de difuzie a carbonului.

În încărcătura unui cuptor electric cu inducție există condiții

termodinamice ca elementul chimic carbon să difuzeze din materialul de carburare în bucățile de deșeu de oțel. Această situație face ca procesul de elaborare a unei fonte sintetice să dureze o perioadă de timp mai mică dacă materialul de carburare se introduce în cuptor o dată cu încărcătura.

Dacă se ia în considerație dizolvarea carbonului în ferită într-o fontă cu 2,3% C, variația de entalpie liberă cu temperatura este $\Delta G = 20.000 - 6,8 \cdot T$, de unde rezultă că temperatura minimă de dizolvare a carbonului în ferită este de 2.668°C. Prin urmare, cu cât conținutul de carbon al componentelor încărcăturii metalice este mai mare, cu atât fenomenul de dizolvare a carbonului în ferită este mai frânat din punct de vedere termodinamic.

În cazul unei încărcături metalice compusă din fontă cu 2,3% C, variația cu temperatura a variației entalpiei libere corespunzătoare dizolvării carbonului în austenită este $\Delta G = 10.800 - 6,8 \cdot T$, de unde rezultă că temperatura minimă de dizolvare a carbonului în austenită este de 1.315°C, adică după ce a început topirea – în intervalul de topire din punctul de vedere al temperaturilor. Se observă că pe măsură ce crește conținutul de carbon al componentelor încărcăturii metalice, temperatura minimă la care se realizează difuzia carbonului în austenită crește foarte mult, pentru ca în cazul în care este vorba despre fontă brută, fontă veche sau deșeuri de fontă să nu se justifice introducerea în încărcătura metalică solidă a materialului de carburare. Așadar, numai în cazul elaborării fontei sintetice se justifică introducerea materialului de carburare în încărcătura metalică solidă. Dacă încărcătura metalică conține și componente de fontă, materialul de carburare trebuie să se introducă după apariția fazei metalice lichide.

Trebuie să se remarce, din tabelul 1/F19 că procesul de dizolvare al carbonului în ferită este foarte endoterm (20.000 cal/atom gram de C față de 10.800 cal/atom gram de C cât este în cazul dizolvării carbonului în austenită), ceea ce ar determina un consum mare de calorii pentru carburare, [4].

S-a demonstrat anterior că dizolvarea în austenită a carbonului din materialul de carburare, în cazul unui oțel cu 0,20% C, începe de la temperatura minimă de 542°C iar în ferită nu există condiții termodinamice de dizolvare a carbonului până la această temperatură. Prin urmare, până la temperatura de 542°C, dacă încărcătura conține și material de carburare, fenomenul de carburare a fazei metalice nu are loc. În plus, se subliniază că până la începutul apariției fazei lichide, în cuptor ar predomina fenomenul de oxidare a carbonului sub formă de CO și CO₂, fenomenul de degajare a volatilelor, fenomenul de antrenare a cenușii în mediul ambiant etc., adică fenomene necorespunzătoare. Asemenea fenomene conduc la concluzia că nu s-ar justifica introducerea materialului carburant în încărcătura metalică solidă, evident în cazul elaborării fontei în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție cu creuzet ce funcționează cu frecvență medie sau înaltă.

În tabelul 3/F19 se prezintă compoziția chimică a diferitelor tipuri de materiale de carburare [5], [6], [7].

Materialele de carburare se implică în mod complex în procesul de carburare a băii metalice, caracteristicile acestora determinând următoarele considerente în procesul de obținere a unei fonte sintetice de calitate superioară:

a. sulful

- sulful nu influențează procesul de carburare;
- fonta se sulfurează. De exemplu, pentru o fontă dată, adăugarea în baia metalică a 1% material de carburare, determină mărirea conținutului de sulf din fontă cu 0,012% în cazul în care materialul de carburare conține sulf în proporție de 1,5%;
- sulful se află în materialele de carburare în cantitate de 0,01...6,0% (6% se întâlnește, de exemplu, în cocsul de petrol crud);
- se recomandă ca proporția de sulf din materialele de carburare să fie de maximum 1%;
- cheltuielile făcute pentru desulfurarea materialelor de carburare sunt semnificative, ceea ce conduce la creșterea costului materialelor de carburare;
- sulful influențează factorul calitativ al fontei sintetice obținute prin intervenția asupra relației $Mn_{\min} = 1,7 S + 0,3$, ceea ce înseamnă că un conținut de sulf mai mare al materialului de carburare determină mărirea conținutului de mangan în fontă;
- sulful micșorează eficiența inoculării fontei;
- sulful mărește consumul de magneziu în cazul modificării fontei în vederea obținerii grafitului nodular etc.

b. carbonul legat

- carbonul legat este cel mai bun indicator al purității materialului de carburare, variind între 60 și 99,8%;
- există un indicator de calitate al materialelor de carburare, acesta fiind fracția de carbon fix – relația (2/F19).

$$FC = 100\% - (\% \text{ cenușă} + \% \text{ H}_2\text{O} + \% \text{ volatile}), \quad (2/F19)$$

în care FC reprezintă fracția de carbon fix. Cu cât fracția de carbon fix este mai mare cu atât materialul de carburare este mai bun calitativ.

c. cenușa

- cenușa micșorează gradul de asimilare al carbonului în fonta lichidă deoarece formează la suprafața particulelor de material de carburare un strat de oxizi în stare lichidă ce frânează difuzia carbonului;
- cu cât proporția de cenușă din materialul de carburare este mai mică cu atât mai mică este cantitatea de zgură ce rezultă la elaborare;
- cenușa mărește consumul de energie electrică la elaborare;
- cenușa accentuează uzura căptușelii refractare;
- cenușa micșorează productivitatea cuptorului;
- cenușa generează incluziuni nemetalice în fontă;
- cenușa micșorează viteza de carburare;
- cenușa influențează viscozitatea zgurii, în funcție de compoziția chimică a ei, viscozitatea crescând sau micșorându-se;
- conținutul maxim de cenușă al materialelor de carburare este de 5%.

d. umiditatea

- excesul de umiditate prezintă pericolul de explozie în momentul contactului cu topitura metalică;

Compoziția chimică a diferitelor tipuri de materiale de carburare

Denumirea materialului de carburare	Compoziția, în %					
	Carbon legat	Sulf	Cenușă	Volatile	Azot	Umiditate
0	1	2	3	4	5	6
Grafit amorf	60...80	0,01...0,02	20...40	1...2	DN*	max.0,5
Grafit cristalin	85...95	0,1...0,7	10...15	1...2	DN	DN
Cărbune de antracit	79...88	0,3...0,9	8...15	5...10	DN	3...5
Antracit calcinat electric	88...92	0,2...0,5	8...12	0,4...0,7	DN	max.0,5
Cocs metalurgic uscat	85...90	0,6...1,3	10...12	2...3	1,0...1,5	1...2
Deșeuri de electrozi de grafit	99,0...99,5	0,02...0,07	0,2...0,5	0,3...0,4	–	max.0,5
Cocs de petrol desulfurat electric	99,5	0,01...0,03	0,1...0,2	0,1...0,2	–	max.0,5
Cocs de petrol, calcinat, sulf în cantitate foarte mică	98,5...99,5	0,02...0,07	0,2...0,5	0,3...0,5	0,02...0,05	max.0,5
Cocs de petrol, calcinat, sulf în cantitate mică	98,5...99,5	0,1...0,5	0,2...0,5	0,3...0,5	0,1...0,3	max.0,5
Cocs de petrol, calcinat, sulf în cantitate moderată	98,5...99,5	0,6...1,2	0,2...0,5	0,3...0,5	0,8...1,2	max.0,5
Cocs de petrol, calcinat, sulf în cantitate mare	98,5...99,5	1,2...3,0	0,2...0,5	0,3...0,5	0,8...1,2	max.0,5
Cocs de petrol necalcinat	85...89	1...6	0,2...0,5	10...14	1...2	8...10

Tabelul 3/F19 – continuare

0	1	2	3	4	5	6
Cocs de petrol fluidizat	93...96	0,9...6,0	0,2...0,5	4...6	1...2	max.0,5
Cocs de acetilenă	99,90	max.0,005	0,1	0,1	16 ppm	max.0,1
Electrozi de grafit	99,90	0,01	0,1	0,4	37 ppm	max.0,1
Grafit sintetic	99	0,05	0,4	0,1	0,015	0,1
Cocs de lignit	92	0,25	2,5	3,5	0,6	2
Carbură de siliciu cu 25...30% Si	60...65	ld**	ld	ld	max.0,008	ld
Cocs de turnătorie	96,5	max.1	max.11	max.1,2	1,3	max.0,5

* – DN = determinarea neconcludentă; ** – ld = lipsă de date

– apa reprezintă o sursă de hidrogen pentru fontă deoarece se descompune, punând în libertate atomii de hidrogen;

– excesul de apă generează defectul de piesă turnată denumit porozitate tip sită;

– apa are efect de albire asupra fontei;

– apa generează fluctuații în asimilarea carbonului de către baia metalică;

– se admite în practică materialul de carburare ce conține maximum 0,5% apă, dar sunt situații în care umiditatea depășește cu mult această valoare;

e. volatilele

– substanțele volatile se recomandă să fie admise în proporție de maximum 1%;

– volatilele măresc riscul de explozie în momentul introducerii materialului de carburare pe suprafața băii metalice;

– volatilele afectează mediul înconjurător prin forma în care se manifestă;

– dacă materialul de carburare este calcinat, conținutul de substanțe volatile este nesemnificativ.

f. azotul

– azotul se determină dificil în materialele de carburare;

– valorile conținutului de azot obținute prin diverse metode de testare nu au aceeași bază de comparație;

– azotul din materialul de carburare se poate asimila în fonta lichidă în proporție de 15...50%;

– azotul în fonta lichidă, în cantitate mai mare de 0,01%, prezintă riscul de generare a porozității;

g. porozitatea

– porozitatea mare a materialului de carburare conduce la mărirea

suprafeții de contact dintre carbon și oxigen și, astfel, la accelerarea oxidării carbonului;

– o porozitate mare determină micșorarea vitezei de asimilare a carbonului;

– se recomandă o porozitate maximă de 20...30%;

h. mărimea granulației

– forma de praf a materialului de carburare conduce la mărirea pierderilor prin ardere;

– granulația mare mărește timpul de asimilare a carbonului în baia metalică;

– mărimea granulației este dependentă de mărimea cuptorului;

– în general, se preferă o granulație a materialului de carburare de 2...30 mm;

i. structura materialelor

– dacă materialul de carburare are o structură amorfă, atomii de carbon sunt dispuși în straturi cu legături ce se intersectează, ceea ce necesită un consum mai mare de energie pentru asimilare;

– materialele de carburare cu structură amorfă determină tendința de albire pentru fontă;

– contractia fontei se mărește în cazul carburării cu materiale de carburare cu structură amorfă;

– dacă materialul de carburare este compact, temperatura de început de oxidare se mărește și se micșorează capacitatea de reacție a carbonului din materialul de carburare; de asemenea, scade viteza de oxidare a respectivului carbon;

– între energia de activare a reacțiilor de oxidare a carbonului din materialul de carburare și distanța dintre planele rețelei grafitului – d_{002} – există relația (3/F19).

$$E = 29,25(4,17 - d_{002}), \quad (3/F19)$$

în care E reprezintă energia de activare a oxidării carbonului.

Materialele de carburare cu structură cristalină, rezultate în urma procesării la temperaturi foarte mari, au capacitate maximă de asimilare în fonta lichidă și risc minim de impurificare a fontei.

Materialele de carburare se utilizează în stare granulară și în stare de pelete cu dimensiunile următoare: 0,2...1,0 mm, 0,5...3,0 mm, 3...8 mm și 4,7...9,5 mm.

Alegerea agentului de carburare nu trebuie să constituie doar considerente economice ci trebuie să aibă în vedere consecințele asupra calității pieselor turnate obținute – defectele de turnare, respectiv, în mod deosebit, tendința mare de albire și porozitatea.

Dacă se constată că între anumite materiale de carburare compozițiile chimice sunt foarte apropiate, structurile determinate cu microscopul electronic, în schimb, sunt diferite.

Utilizarea cocsului de petrol calcinat, cu sulf în cantitate foarte mică, și

chiar a deșeurilor de grafit, determină o recalescență mare, ceea ce conduce la o germinare intensă în timpul cristalizării, aspect foarte important în cazul modificării fontei cu magneziu. Prin recalescență se înțelege diferența dintre temperatura maximului și temperatura minimului curbei de răcire sub temperatura eutectică – relația (4/F19) și figura (1/F19).

$$dT_R = T_{\max} - T_{\min} \quad (4/F19)$$

în care dT_R reprezintă recalescența; T_{\max} – temperatura maximului curbei de răcire de sub temperatura eutectică; T_{\min} – temperatura minimului curbei de răcire de sub temperatura eutectică.

Cu cât recalescența este mai mare, cu atât este mai mare numărul de germeni de cristalizare.

Materialele de carburare intervin și asupra supraîncălzirii în stare solidă. Supraîncălzirea în stare solidă – dT_{SS} – se determină cu relația (5/F19).

$$dT_{SS} = 1.150 - T_{\min} \quad (5/F19)$$

în care T_{\min} reprezintă temperatura minimului curbei de răcire sub temperatura eutectică.

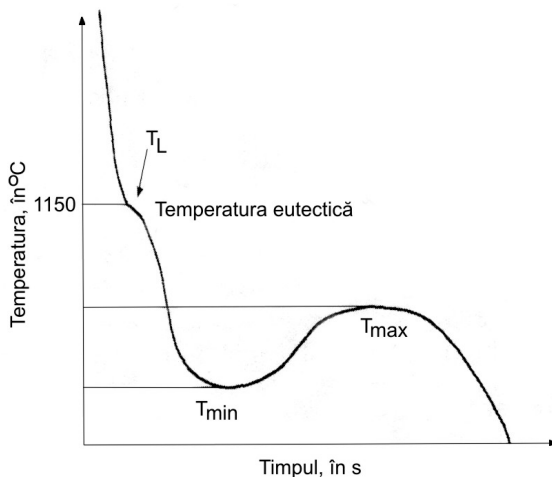


Fig.1/F19. Curba de răcire a unei fonte date, în vederea exemplificării recalescenței.

Dacă supraîncălzirea în stare solidă este mare, nucleerea în timpul cristalizării este slabă iar tendința de mărire a durtății este accentuată.

Dacă supraîncălzirea în stare solidă este mică, fonta dispune de o structură metalografică omogenă și de caracteristici mecanice de rezistență bune.

O recalescență mare este mult mai benefică decât o supraîncălzire în stare solidă mică.

Dacă se cunosc recalescențele și supraîncălzirile în stare solidă asociate materialelor de carburare pentru fontele ce se elaborează, rezultă că se pot alege

materialele de carburare în așa fel încât să se obțină o structură fină, o structură omogenă, caracteristici mecanice de rezistență mari, efect de albire minim etc.

După ce materialele de carburare se introduc pe suprafața băii metalice, topitura pătrunde în porii materialului de carburare, determinând ruperea acestuia. Procesul de carburare a fontei implică ruperea de macroparticule din materialul de carburare, descompunerea acestora în blocuri și trecerea carbonului în soluție, prin difuzie.

În timpul procesului de carburare, ce are un caracter endoterm – așa cum s-a mai subliniat – temperatura băii metalice scade cu circa 50°C pentru fiecare procent de carbon asimilat, această realitate denotând importanța temperaturii în procesul de carburare.

În cazul carburării fontei lichide în cuptorul electric cu încălzire prin inducție cu creuzet, se mai subliniază și influența următorilor factori:

– agitarea electromagnetică a băii metalice. Cu cât agitarea băii metalice este mai mare, cu atât este mai mare suprafața de contact material de carburare-topitură, gradul de asimilare a carbonului mărindu-se. Agitarea băii metalice favorizează eliminarea stratului de lichid suprasaturat în carbon de la limita granule de material de carburare-matrice metalică lichidă. Asimilare maximă a carbonului în topitură se obține dacă brasajul (gradul de agitare electromagnetică) topiturii are valori de 10...12%, pentru o durată de carburare de 5...30 min, de exemplu. Cuptoarele electrice cu inducție ce funcționează la frecvența rețelei sunt cel mai indicate pentru carburare – pentru elaborarea fontelor sintetice.

– compoziția chimică a băii metalice. Elementele chimice precum Co, Ni, Cu, Sn, Sb, Al, S, Si, P etc. micșorează solubilitatea carbonului în fierul lichid, puterea de micșorare a solubilității crescând în ordinea enumerării respectivelor elemente chimice. Prin urmare, procesul de carburare trebuie să se desfășoare înaintea introducerii în baia metalică a elementelor chimice menționate anterior. Elementele chimice precum Mo, Mn, Cr, V etc. măresc solubilitatea carbonului în fierul lichid, puterea de mărire a solubilității fiind în ordinea enumerării acestor elemente chimice.

Concentrația maximă de carbon din fonta lichidă ce poate fi atinsă se calculează cu relația (6/F19).

$$\%C = 1,30 + 2,57 \cdot 10^{-3} \cdot T + \sum_{i=1}^n m_i x_i, \quad (6/F19)$$

în care %C reprezintă concentrația maximă de carbon ce poate fi atinsă de fonta lichidă propusă să fie carburată; T – temperatura medie a băii metalice în timpul carburării, în °C; m_i – coeficient ce reprezintă modul de influențare a solubilității carbonului în fierul lichid de un procent de element chimic însoțitor al fierului și carbonului în fonta lichidă (coeficientul m_i este prezentat în tabelul 4/F19); x_i – conținutul de elemente chimice însoțitoare ale fierului și carbonului din baia metalică – proporția.

Conform [7], în cazul elaborării fontei în cuptoare electrice cu încălzire

prin inducție, cu creuzet, la frecvența rețelei (50 Hz), x_i din relația (6/F19) are valoarea maximă 3;

– temperatura băii metalice. Deoarece procesul de carburare este endoterm, se impune ca temperatura băii metalice să fie cât mai mare. Se recomandă ca temperatura băii metalice, în vederea carburării, să fie de minimum 1.450°C. Pentru o fontă dată, randamentul de asimilare a carbonului a crescut de la 25% la 95% în circumstanțele în care temperatura băii metalice a crescut de la circa 1.300°C la circa 1.600°C. În cazul măririi temperaturii băii metalice de la 1.550°C la 1.650°C, coeficientul de difuzie a carbonului prin matricea metalică lichidă a crescut de circa trei ori pentru o fontă dată (s-a mărit de la $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ la $6,0 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$);

Tabelul 4/F19

Valori ale coeficientului m_i pentru câteva elemente chimice însoțitoare ale fierului și carbonului în baia metalică

Elementul chimic i	Si	P	S	Mn	N	Cu	Ni	Cr	Ti	V	Al	Sb	Sn	Co	Mo
Valorile lui m_i	-0,300	-0,300	+0,400	+0,030	+4,700...6,60	-0,110	-0,050	+0,075	+0,150	+0,100	-0,220	-0,115	-0,110	-0,026	+0,015

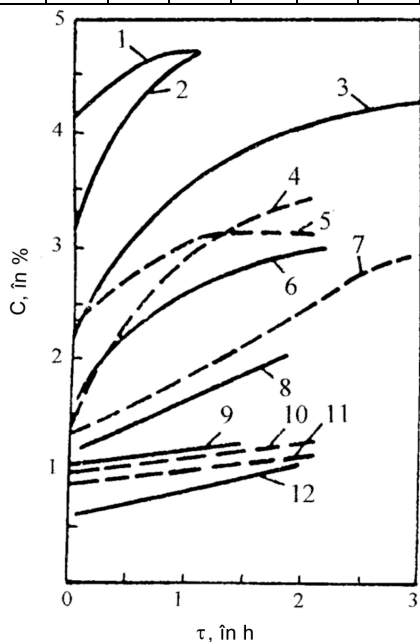


Fig. 2/F19. Influența duratei de carburare asupra măririi conținutului de carbon din fonta lichidă, pentru o fontă dată. C – conținutul de carbon din fonta lichidă; τ – perioada de carburare; 1 – grafit de electrozi tip B; 2 – grafit de electrozi tip A; 3 – grafit special tip A; 4 – cocs de gaz; 5 – cocs de petrol; 6 – antracit; 7 – grafit special B; 8 – cocs tip D; 9 – cocs tip C; 10 – cocs tip B; 11 – cocs tip E; 12 – cocs tip A.

– durata de carburare. Cu cât durata de contact material de carburare-matrice metalică lichidă este mai mare, cu atât cantitatea de carbon ce se asimilează în fonta lichidă este mai mare, modul de asimilare (dinamica asimilării) variind de la material de carburare la material de carburare așa cum se observă în figura 2/F19.

Pentru edificare, se prezintă în tabelul 5/F19 conținuturile de apă, volatile și cenușă pentru materialele de carburare luate în considerație în figura 2/F19.

Există următoarele posibilități de introducere a materialului de carburare în creuzetul cuptorului electric cu încălzire prin inducție:

– materialul de carburare se încarcă integral la fundul creuzetului după care în creuzet se încarcă deșeurile de oțel. Pe măsură ce încărcătura metalică se topește, topitura intră în contact cu materialul de carburare și, astfel, se realizează asimilarea carbonului;

– materialul de carburare se încarcă doar o jumătate din cantitate la fundul creuzetului iar, ulterior, pe măsură ce se topește încărcătura metalică se adaugă și cealaltă jumătate din cantitatea de material de carburare, sub formă de porții;

– după topirea și supraîncălzirea încărcăturii metalice se adaugă pe suprafața băii metalice tot materialul de carburare;

– după topirea întregii încărcături metalice se adaugă materialul de carburare pe suprafața băii metalice sub formă de porții. O porție nouă se adaugă după ce s-a terminat dizolvarea carbonului din porția anterioară de material de carburare.

Tabelul 5/F19

Conținutul de apă, volatile și cenușă pentru materialele de carburare prezentate în figura 2/F19.

Nr. crt.	Materialul de carburare	Apa, în %	Volatilele, în %	Cenușa, în %
1	Grafit de electrozi tip B	0,05	0,60	0,60
2	Grafit de electrozi tip A	l.d.*	0,70	0,60
3	Grafit special tip 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 tip B	0,03	0,50	1,30
8	Cocs tip D	0,35	1,90	9,40
9	Cocs tip C	1,00	1,00	7,00
10	Cocs tip B	0,60	0,62	6,20
11	Cocs tip E	2,56	0,30	12,80
12	Cocs tip A	0,05	0,60	5,50

* l.d. = lipsă de date

În cazul carburării fontei în cuptorul electric cu arc, se precizează următoarele particularități în raport cu elaborarea fontei sintetice în cuptorul electric cu încălzire prin inducție:

– zgura are temperatura mai mare datorită influenței arcului electric. Cu

cât temperatura zgurii este mai mare, cu atât zgura este mai activă din punct de vedere metalurgic (viscozitatea este mai mică), activitatea termodinamică a carbonului din zgură este mai mare și astfel randamentul de asimilare a carbonului în baia metalică este mai mare;

– sub influența căldurii degajate de arcul electric, pierderile de carbon din materialul de carburare sub formă de monoxid de carbon se măresc. Așa, pierderile de carbon din materialul de carburare ajung până la 50%, întâlnindu-se, de regulă, în intervalul 40...50%;

– cu cât cantitatea de material de carburare adăugată pe suprafața zgurii este mai mare, cu atât randamentul de asimilare a carbonului se micșorează din cauza măririi pierderilor de carbon oxidat sub influența arcului electric. De exemplu, pentru o fontă dată, în cazul unui cuptor cu arc electric cu capacitatea de 25 t, în situația în care adaosul de deșeuri de electrozi de grafit a crescut de la 18 kg/t de fontă la 28 kg/t de fontă, randamentul de asimilare a carbonului a scăzut de la circa 83% la circa 68%;

– carburarea fontei se poate realiza și în timpul evacuării acesteia din cuptorul cu arc electric – în jet. Pentru această tehnică de carburare este nevoie ca, în prealabil, zgura să se elimine din cuptor. Astfel, de exemplu, în cazul unei temperaturi de evacuare de 1.450...1.470°C, la un conținut inițial de carbon de 2,5...2,7%, adăugarea de deșeuri de electrozi de grafit cu granulație mică și în porții mici pe jetul de fontă, determină un grad de asimilare a carbonului de 70...75% (prezența zgurii conduce la scăderea semnificativă a randamentului de asimilare a carbonului).

În toate cazurile de carburare, trebuie să se acorde atenție sulfurării fontei o dată cu carburarea. Astfel, conținutul de sulf din fontă, după carburare – S_f – se determină cu relația (7/F19).

$$S_f = S_i + \frac{K \cdot S_{mc} Q_{mc}}{100}, \quad (7/F19)$$

în care S_f se exprimă în procente; S_i – conținutul de sulf din fonta lichidă înainte de carburare; K – constantă de material specifică fiecărui material de carburare (prezentată, pentru câteva materiale de carburare, în tabelul 5/F19); S_{mc} – conținutul de sulf din materialul de carburare, în %; Q_{mc} – cantitatea de material de carburare ce se adaugă pe suprafața băii metalice, în %.

Tabelul 5/F19

Valorile constantei de material, K, pentru câteva materiale de carburare

Materialul de carburare	Valoarea coeficientului K
Cocs de turnătorie	0,59
Cocs metalurgic	0,49
Grafit amorf	0,35
Grafit cristalin	0,74
Deșeuri de electrozi de grafit	0

3. Modul de lucru

Se propune elaborarea unei fonte cu compoziția chimică următoare: C = 3,6...4,0%; Si = max 2,5%; Mn = max 0,2%; P = max 0,05%; S = max 0,01%.

Încărcătura metalică este compusă din deșuri de oțel cu următoarea compoziție chimică: C = 0,2%; Si = 0,3%; Mn = 0,3%; P = 0,05%; Si = 0,05%.

Pentru carburare se utilizează deșuri de electrozi de grafit.

Fonta sintetică se elaborează în cuptorul electric cu încălzire prin inducție cu creuzet, de frecvență medie – se recomandă capacitatea de 20 kg.

După topirea încărcăturii metalice și supraîncălzirea la temperatura de circa 1.500°C, se introduce materialul de carburare la suprafața băii metalice.

Se propune conținutul de carbon final de 3,7%.

Cantitatea de carbon ce trebuie să se adauge prin carburare, % C_{adăugat}, este egală cu diferența dintre conținutul de carbon al fontei finale, % C_f, și conținutul de carbon ce trebuie introdus de oțel în faza metalică, % C_{introd.otel}, adică relația (8/F19).

$$\%C_{\text{adăugat}} = \%C_f - \%C_{\text{introd.otel}} \quad (8/F19)$$

Conținutul de carbon ce trebuie introdus de oțel este egal cu diferența dintre conținutul de carbon al deșurilor de oțel, %C_{des.otel}, și cantitatea de carbon ce arde în timpul topirii și supraîncălzirii oțelului la temperatura de 1.500°C – relația (9/F19) –, % C_{ars}.

$$\%C_{\text{introd.otel}} = \%C_{\text{des.otel}} - \%C_{\text{ars}} \quad (9/F19)$$

Proporția de carbon ce arde din deșurile de oțel până la temperatura de 1.500°C este de circa 5%, ceea ce înseamnă că pentru determinarea cantității de carbon ce arde se utilizează relația (10/F19).

$$\%C_{\text{ars}} = \%C_{\text{des.otel}} \cdot \frac{5}{100} \quad (10/F19)$$

Se verifică cu relația (6/F19), dacă deșurile de oțel se pot carbura până la proporția de 3,7%.

Înainte de adaosul materialului de carburare se prelevează o probă necesară determinării conținutului de carbon.

Pentru calculul cantității de material de carburare se consideră un randament de asimilare estimativ de 65%, cu un conținut de carbon al deșurilor de electrozi de grafit de 99,9%, aplicându-se relația (11/F19).

$$Q_{\text{mc}} = \frac{\%C_{\text{adăugat}}}{C_{\text{m.c.}} \cdot \eta_{\text{Cm.c.}}}, \quad (11/F19)$$

în care C_{m.c.} reprezintă cantitatea de carbon din materialul de carburare, în %,

$\eta_{\text{Cm.c.}}$ reprezintă randamentul de asimilare a carbonului din materialul de carburare iar $Q_{\text{m.c.}}$ – necesarul de material de carburare, în kg/100 kg metal lichid.

Dacă, de exemplu, % $C_{\text{adăugat}}$ este de 3,51% , rezultă că necesarul de material de carburare este

$$Q_{\text{m.c.}} = \frac{3,51}{\frac{99,9}{100} \cdot \frac{65}{100}} = 5,4 \text{ kg/100 kg oțel lichid}$$

Calculul arderilor de siliciu se face conform [1].

Perioada de carburare este 20 min.

După carburare se face alierea cu FeSi75 ce se calculează conform[1].

După alierea cu FeSi75 se elimină zgura din cuptor și se menține fonta în stare lichidă, la temperatura de 1.500°C, timp de circa 20 min după care se realizează evacuarea în oală și turnarea în forme.

Se face determinarea carbonului din fonta finală.

4. Măsuri de asigurare a securității muncii

Măsurile speciale de asigurare a securității muncii sunt cele prezentate la lucrările F4, F9, F20, F21 și F22.

5. Interpretarea rezultatelor

Se calculează randamentul de asimilarea al carbonului și se compară cu randamentul de asimilare estimat.

6. Bibliografie

1. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Editura Samia. Iași. 2003;
2. Sofroni, L.Ripoșan, I., Brabie, V. și Chișamera, M. Turnarea fontei. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1985;
3. Bednar, V. și Bednar, H. Chimie fizică generală. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1978;
4. Laplanche, H. Les fontes et leurs traitements thermiques. Paris. Pyc – Edition – Desforges, 1975 ;
5. Ripoșan, I., Chișamera, M. și Stan, S. Evaluarea materialelor de carburare pentru fonte. Revista de Turnătorie, nr. 1. 2002, p. 10...13;
6. Salmon, E. Analiza comparativă a produselor recarburante, a efectului inoculanților și a tendinței de albire a fontei cu grafit nodular. București. Revista de Turnătorie, nr. 7...8– 2003, p. 17...19;
7. Ripoșan, I. și Cernat, C. Elaborarea și turnarea fontelor de turnătorie. Universitatea “Politehnica”. București. 1976.

F21. Desulfurarea fontelor în agregatul de elaborare (în cuptorul cu inducție)

1. Scopul

Familiarizarea cu principiile teoretice ale desulfurării și desulfurarea efectivă a fontei lichide în cuptorul electric cu încălzire prin inducție

2. Considerații generale

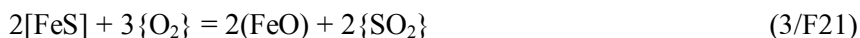
Sulful se află în fonta lichidă sub formă de FeS, [1], așa cum consideră majoritatea autorilor, dar se află și sub formă de sulfură complexă de fier și mangan – (FeMn)S – sau se poate considera că este sub formă de soluție, acceptându-se trecerea în soluție reacția de dizolvare (1/F21) deoarece sulful elementar se vaporizează la temperatura de 446⁰C.



În fonta solidă, cea mai mare parte din sulf se află sub formă de eutectic la limita celulelor eutectice și coloniilor eutectice (FeS-Fe, FeS-C și FeS-O), MnS, (FeMn)S, oxisulfură – (Fe, O)S etc. În cazul în care elaborarea se face în cuptor cu arc electric, în timpul topirii are loc un proces de desulfurare conform reacției (2/F21) – se apreciază că circa 50% din cantitatea de sulf din încărcătura metalică se oxidează conform reacției chimice (2/F21). Din acest punct de vedere, cuptorul electric cu încălzire prin arc electric este singurul agregat de elaborare ce realizează o desulfurare a încărcăturii metalice. Simpla topire a unei încărcături metalice în cuptorul cu arc electric (indiferent de natura chimică a căptușelii refractare) înseamnă obținerea unei fonte cu un conținut mai mic de sulf. Altfel spus, elaborarea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin arc electric este una din metodele de desulfurare.



De asemenea, trebuie subliniat că reacția chimică (2/F21) are echivalent și pentru FeS din baia metalică pe măsură ce ea se formează în timpul topirii, conform reacției chimice (3/F21).



Reacția chimică (3/F21) are loc, de asemenea, doar în cuptorul cu arc electric și în timpul topirii.

Desulfurarea fontei lichide se poate realiza pe seama afinității chimice față de sulf mai mare a unor elemente chimice față de cea a fierului, evident această afirmație luând în considerație prezența sulfurului în fonta lichidă sub formă de FeS.

Procesul de desulfurare, din punctul de vedere al fazelor în care se desfășoară, are loc în următoarele variante:

- în faza metalică (în baia metalică);

- între faza oxidică și faza metalică, adică între zgură și baia metalică.

Desulfurarea în baia metalică

Pentru ca procesul de desulfurare să aibă loc, trebuie ca în baia metalică să se introducă elemente chimice desulfurante iar produșii de reacție trebuie să nu se dizolve în baia metalică – să se separe în zgură.

Condiția ca un element chimic să fie desulfurant este ca variația de entalpie liberă a reacției de formare a sulfurii a respectivului element chimic să fie mai mică decât variația de entalpie liberă a reacției chimice de formare a sulfurii de fier. În figura 1/F21 se reprezintă dependența variației de entalpie liberă de temperatură, pentru reacțiile de formare a câtorva sulfuri. Din figura 1/F21 rezultă că până la temperatura de circa 2.350°C, elementele chimice Mn,

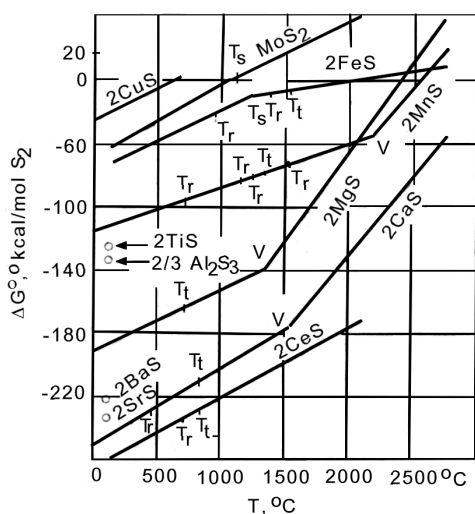


Fig. 1/F21. Dependența de temperatură a variației de entalpie liberă pentru câteva reacții de formare a sulfurilor. ΔG^0 – variația de entalpie liberă în condiții standard; T – temperatura; V – temperatura de vaporizare a metalului; T_s – temperatura de topire a sulfurii; T_t – temperatura de topire a metalului; T_r – temperatura de transformare; cerculețele reprezintă poziționarea curbelor pentru alte sulfuri (TiS, Al_2S_3 , BaS și SrS).

Ti, Al, Mg, Ba, Sr, Ca și Ce au afinitatea chimică față de sulf mai mare decât a fierului (au variația de entalpie liberă pentru formarea MnS, TiS, Al_2S_3 , MgS, BaS, SrS, CaS și CeS mai mică decât variația de entalpie liberă pentru formarea FeS). Prin urmare, introducerea acestor elemente chimice în baia metalică ar determina interacțiunea chimică cu FeS.

Elementele chimice desulfurante trebuie să fie și rentabile din punct de vedere economic. Se pare că elementul chimic Mn îndeplinește cel mai bine condițiile economice, și, în plus, MnS se separă cu ușurință în zgură.

Se precizează că diagrama din figura 1/F21 este valabilă pentru starea pură a elementelor chimice și a sulfurilor, deci nu reprezintă realitatea ce se referă la prezența în soluție a elementelor chimice și a sulfurilor (în condiții de saturare, însă, diagrama din figura 1/F21 este valabilă și pentru soluții).

Reacția chimică de desulfurare cu mangan este (4/F21).



Reacția chimică (4/F21) este exotermă, adică are loc mai intens la

temperaturi mici, respectiv în timpul topirii.

MnS este un compus chimic greu fuzibil (temperatura de topire este de circa 1.620°C), se află în stare de suspensie în baia metalică, poate dizolva FeS formând soluții și, în mare parte, se separă la suprafața băii metalice, în zgură. Soluțiile de FeS în MnS au fuzibilitatea variabilă și cu atât mai mică cu cât se mărește cantitatea de FeS – minimumul este atins la compoziția eutectică adică la 7% MnS și la temperatura de 1.181°C. Sulfura dublă de Mn și Fe se elimină din baia metalică în zgură, în care se dizolvă și este stabilă.

Constanta de echilibru a reacției chimice (4/F21) are valoarea (5/F21).

$$K_{(4/F21)} = \frac{a_{(MnS)}}{a_{[FeS]} \cdot a_{[Mn]}}, \quad (5/F21)$$

în care $K_{(4/F21)}$ reprezintă constanta de echilibru a reacției chimice (4/F21); $a_{(MnS)}$ – activitatea termodinamică a MnS din zgură; $a_{[FeS]}$ – activitatea termodinamică a FeS din baia metalică; $a_{(Mn)}$ – activitatea termodinamică a manganului din baia metalică.

Raportul de repartiție al sulfului reprezintă raportul dintre concentrația de sulf din zgură și concentrația de sulf din baia metalică, însă, în condițiile procesului (4/F21), raportul de repartiție al sulfului – L_s – are forma (6/F21).

$$L_s = \frac{a_{(MnS)}}{a_{[FeS]}} = K_{(4/F21)} \cdot a_{[Mn]} = K_{(4/F21)} \cdot f_{[Mn]} \cdot [\%Mn], \quad (6/F21)$$

în care $f_{[Mn]}$ reprezintă fugacitatea (coeficientul de activitate termodinamică) manganului din baia metalică iar $[\%Mn]$ reprezintă concentrația de Mn din baia metalică.

Într-un proces de desulfurare a băii metalice în care sulful se separă în zgură, desulfurarea este cu atât mai avansată cu cât raportul de repartiție al sulfului este mai mare, respectiv cu cât sunt îndeplinite mai bine următoarele condiții:

– $K_{(4/F21)}$ cât mai mare. Deoarece reacția chimică (4/F21) este exotermă, constanta sa de echilibru este cu atât mai mare cu cât temperatura băii metalice este mai mică. Aceasta înseamnă că desulfurarea cu Mn are loc mai intens în timpul etapei de topire. Fluxul tehnologic de elaborare, însă, impune ca etapa de topire să aibă loc într-o perioadă cât mai mică, din multiple considerente, adică se poate conta pe desulfurarea cu mangan în mică măsură;

– fugacitatea manganului din baia metalică să aibă valori cât mai mari. Valoarea fugacității manganului din baia metalică depinde de coeficienții de interacțiune ai elementelor chimice din baia metalică asupra fugacității manganului, adică valoarea fugacității manganului depinde de compoziția chimică a băii metalice ce este impusă de considerente tehnice – de calitatea fontei propuse să fie elaborată. Prin urmare, și factorul $f_{[Mn]}$ este restrictiv;

– conținutul de mangan din baia metalică să aibă valori cât mai mari. Și

acest factor este restrictiv, deoarece conținutul de mangan din baia metalică este dictat de caracteristicile fizico-mecanice ale fontei propuse să fie elaborată, precum și de unele proprietăți tehnologice ale fontei.

În realitate, raportul de repartiție al sulfului depinde și de compoziția chimică a zgurii deoarece intervine și fugacitatea sulfurii de mangan din zgură alături de fugacitatea sulfurii de fier din baia metalică – relația (7/F21).

$$L_s = \frac{f_{[\text{FeS}]}}{f_{(\text{MnS})}} \cdot K_{(4/F21)} \cdot f_{[\text{Mn}]} \cdot [\% \text{Mn}], \quad (7/F21)$$

în care $f_{[\text{FeS}]}$ reprezintă fugacitatea sulfurii de fier din baia metalică iar $f_{(\text{MnS})}$ reprezintă fugacitatea sulfurii de mangan din zgură.

Între conținutul de sulf și conținutul de oxigen din baia metalică există relații indirect proporționale. Astfel, elementele chimice cu caracter dezoxidant, micșorând conținutul de oxigen din baia metalică, micșorează și solubilitatea sulfului în baia metalică. Așa, elemente chimice precum Si, Al, Ca, Ti, Zr, Mg, Ce, alte lantanide, elemente chimice care au caracter dezoxidant puternic pot fi considerate, indirect, din punctul de vedere prezentat la acest aliniat, și elemente chimice desulfurante.

Desulfurarea ca interacțiune între baia metalică și zgură

Din diagrama de echilibru reprezentată în figura 1/F21 rezultă că elementul chimic calciu are printre cele mai mari afinități chimice față de sulf în raport cu fierul (în diagrama respectivă este depășit doar de ceriu).

Deoarece calciul se află sub formă de CaO în varul nestins, varul este unul dintre cele mai răspândite materiale desulfurante, alături de carbid, așa cum se va prezenta în continuare.

Indiferent de natura agentului desulfurant, se impune ca zgura în care se introduce – pe care se adaugă – să fie activă din punct de vedere metalurgic (chimic). Zgura trebuie să aibă o fluiditate cât mai mare – o viscozitate cât mai mică. O zgură cu viscozitate mică se obține fie prin adaosul de fluidificator – în mod curent fluorină (conține CaF_2) – fie prin mărirea temperaturii, însă, există situații în care este nevoie să se apeleze la ambele metode.

O zgură cu viscozitate mică trebuie corelată și cu necesitatea ca timpul de contact zgură-baie metalică să fie mai mare. De regulă, timpul de contact zgură-baie metalică este limitat din cauză că se produce și fenomenul de resulfurare a băii metalice – trecerea sulfului din zgură în baia metalică. De aceea, se contează mai mult pe mărirea temperaturii zgurii și folosirea de fluidificatori. Din acest punct de vedere, rezultatele cele mai bune se obțin în cuptorul electric cu încălzire prin arc electric. Durată mare de contact zgură-baie metalică se poate obține, de asemenea, doar în cuptorul electric cu încălzire prin arc electric (căptușeala refractară de natură chimică bazică de la cuptoarele electrice cu încălzire prin inducție nu se prea utilizează în practica industrială din cauza coeficientului de dilatare termică mare, în principal). În cubilou, există condiții de regim termic intens, se pot adăuga fluidificatori, însă, durata

de contact zgură-baie metalică este foarte mult limitată (nu se poate vorbi despre desfășurarea reacțiilor chimice de desulfurare până la echilibru).

Desulfurarea cu var

Varul nestins – prescurtat, varul – conține CaO, acesta fiind compusul chimic ce participă la desulfurare.

Reacția chimică principală de desulfurare este (8/F21).



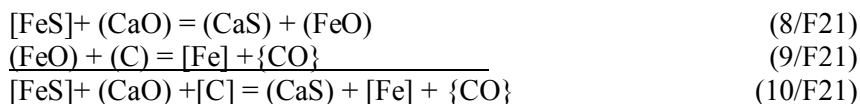
Deoarece reacția chimică (8/F21) decurge cu pierdere de fier în zgură, se impune desfășurarea unui proces de reducere a FeO din zgură, ceea ce practic se realizează cu carbon introdus de cocs. Reducerea FeO din zgură trebuie să se realizeze în zgură, conform reacției chimice (9/F21).



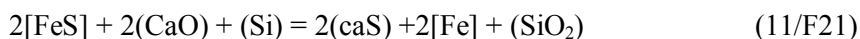
Dacă reducerea FeO din zgură s-ar realiza cu carbonul din baia metalică, procesul de desulfurare s-ar prelungi foarte mult și desulfurarea ar crește costul fontei elaborate.

Un conținut mare de FeO în zgură este un factor termodinamic de frânare a reacției chimice (8/F21).

Deoarece reacțiile chimice (8/F21) și (9/F21) fac parte dintr-un mecanism de reacții, conform legii lui Hess, acestea se pot aduna, rezultând reacția chimică (10/F21).



Ca agent de reducere pentru FeO din zgură se poate utiliza și siliciul adăugat pe suprafața zgurei sub formă de FeSi, siliciul netrecând în baia metalică, reacția de desulfurare fiind (11/F21).



Deoarece SiO₂ din zgură, imobilizează CaO sub formă de silicați de calciu în zgură, nu se recomandă folosirea ferosiliciului ca reducător pentru FeO. În schimb, utilizarea cocsului ca reducător pentru FeO asigură ireversibilitatea proceselor chimice (9/F21) și (10/F21).

În absența adaosului de cocs sau ferosiliciu pe zgură, reacția chimică (9/F21) și reacția chimică (11/F21) s-ar desfășura foarte lent deoarece ar fi nevoie de o perioadă mare de timp pentru ca elementul chimic C și Si să difuzeze din profunzimea băii metalice spre interfața zgură-baie metalică.

Constanta de echilibru a reacției chimice (8/F21) are valoarea dată de relația (12/F21).

$$K_{(8/F21)} = \frac{a_{(CaS)} \cdot a_{(FeO)}}{a_{[FeS]} \cdot a_{(CaO)}} = \frac{f_{(CaS)} \cdot (\%CaS) \cdot f_{(FeO)} \cdot (\%FeO)}{f_{[FeS]} \cdot [\%FeS] \cdot f_{(CaO)} \cdot (\%CaO)}, \quad (12/F21)$$

în care $K_{(8/F21)}$ reprezintă constanta de echilibru a reacției chimice (8/F21); $f_{(CaS)}$ – fugacitatea CaS din zgură; $(\%CaS)$ – proporția de CaS din zgură; $f_{(FeO)}$ – fugacitatea FeO din zgură; $(\%FeO)$ – proporția de FeO din zgură; $f_{[FeS]}$ – fugacitatea FeS din baia metalică; $[\%FeS]$ – proporția de FeS din baia metalică; $f_{(CaO)}$ – fugacitatea CaO din zgură; $(\%CaO)$ – proporția de CaO din zgură.

Raportul de repartiție al sulfului are valoarea din relația (13/F21).

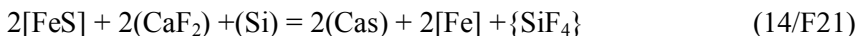
$$L_S = \frac{(\%S)}{[\%S]} = \frac{(\%CaS)}{[\%FeS]} = K_{(8/21)} \cdot f_{[FeS]} \cdot f_{(CaO)} \cdot (\%CaO) / f_{(CaS)} \cdot f_{(FeO)} \cdot (\%FeO), \quad (13/F21)$$

în care $(\%S)$ reprezintă proporția de sulf din zgură iar $[\%S]$ reprezintă proporția de sulf din baia metalică.

Rapoarte mari de repartiție ale sulfului – desulfurarea avansată – se obțin în următoarele condiții:

- constantă de echilibru a reacției chimice (8/F21) cât mai mare. Această condiție se obține în cazul temperaturilor mari deoarece reacția chimică (8/F21) este endotermă. Prin urmare, desulfurarea trebuie să se realizeze după ce fonta a fost supraîncălzită la o temperatură de minimum 1.400°C;

- conținut cât mai mare de CaO în zgură. Această condiție este asigurată prin adaos de var pe suprafața zgurii, adică prin asigurarea unei bazicități cât mai mari pentru zgură. În practică se utilizează adaosuri de 12...24 kg var/t de fontă lichidă. Pe măsură ce crește adaosul de var se mărește și viscozitatea zgurei, zgura devenind inactivă din punct de vedere chimic – reacția chimică de desulfurare este frânată accentuat până la inhibare. Pentru ca zgura să nu-și piardă fluiditatea mare – activitatea metalurgică – o dată cu mărirea adaosului de var, se adaugă pe suprafața ei fluorină în cantitate de 4...12 kg/tona de fontă lichidă. Fluorina conține CaF_2 , mărește și bazicitatea zgurii și contribuie direct la procesul de desulfurare prin formarea produsului gazos SF_6 . Fonta se desulfurează mult mai ușor decât oțelul – bazicități ale zgurei de 0,8...0,9 determină micșorarea conținutului de sulf din baia metalică până la 0,3%. În cazul utilizării de fluorină în zgură iar ca reducător al FeO, ferosiliciu, reacția de desulfurare ar fi (14/F21). Cu cât temperatura este mai mare, cu atât se poate mări adaosul de var, zgura devine mai bazică și procesul de desulfurare se obține mai avansat;

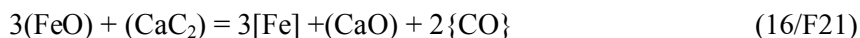


- conținut cât mai mic de FeO în zgură. Această condiție este asigurată prin adaos de reducător pe suprafața zgurei, așa cum s-a prezentat anterior – cocs sau ferosiliciu. În mod curent se utilizează în practica industrială cocsul.

Sub influența arcului electric, oxidul de calciu din zgură interacționează chimic cu carbonul din cocs și formează CaC_2 , conform reacției chimice (15/F21).

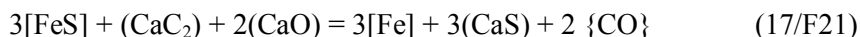


CaC_2 format prin intermediul reacției chimice (15/F21) determină reducerea FeO din zgură conform reacției chimice (16/F21). În felul acesta,



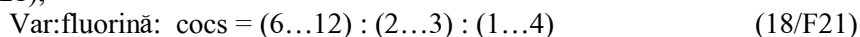
conținutul de FeO din zgură scade foarte mult – până la 0,1...0,2%. Astfel, zgura devine slab oxidantă, adică așa cum ar trebui să fie o zgură desulfurantă. O asemenea zgură cu 0,1...0,2% FeO conține 2...3% CaC_2 , motiv pentru care se numește zgură carbidică (CaC_2 este componentul de bază al carbidului, ceea ce a atras respectiva denumire).

Reacția completă de desulfurare prin intermediul CaC_2 este (17/F21).



Cel mai utilizat agent reducător pentru FeO din zgură – cocsul – se utilizează în cantitate de 2...4 kg cocs/tona de fontă lichidă.

În practică se recomandă să se lucreze cu o cantitate de zgură de 2...5% din fonta lichidă, ce se supune desulfurării, apelându-se la următoarele rapoarte – (18/F21);



– compoziții favorabile de zgură și fontă lichidă ce să asigure valori cât mai mari pentru fugacitățile FeS din baia metalică și CaO din zgură și valori cât mai mici pentru fugacitățile CaS și FeO din zgură.

În cazul în care desulfurarea se realizează în cuptorul cu arc electric, consumul de energie la desulfurare este de 20...60 kWh/t de fontă desulfurată.

Dacă zgura bazică și slab oxidantă conține și MnO sau MgO , procesul de desulfurare poate avea loc și conform reacțiilor chimice (19/F21) și (20/F21).



Prelungirea duratei de contact zgură-baie metalică nu se justifică deoarece există pericolul resulfurării băii metalice, conform reacției chimice (21/F21).



Desulfurarea cu carbid

Carbidul are în compoziție, în principal, CaC_2 și CaO , conținutul de CaC_2 depășind valoarea de 72%.

Pentru desulfurare se utilizează varianta de carbid eutectică ce conține 80% CaC_2 și 15% CaO , [2].

Carbidul are greutatea specifică de circa $2,27 \text{ g/cm}^3$ iar fonta lichidă are greutatea specifică de circa $6,9 \text{ g/cm}^3$, ceea ce înseamnă plutirea lui și crearea de dificultăți în a obține un randament bun de desulfurare în condițiile în care baia metalică nu este foarte bine agitată. Condiții de agitare foarte bune se obțin doar în cazul elaborării fontei în cuptorul electric cu încălzire prin inducție, [3]. Conform [4], particulele de carbid (la modul general, cantitatea de carbid necesară desulfurării variază între limitele $0,8...2,2 \text{ kg/100 kg}$ fontă lichidă) sunt antrenate de către curenții de inducție din baia metalică, ca în figura 2/F21. În felul acesta se creează o suprafață de contact carbid-baie metalică foarte mare, ceea ce conduce la obținerea de grade de desulfurare de peste 80%. Performanțele prin prisma gradului de desulfurare se obțin pentru brasaje (grade de amestecare a băii metalice) de $10...14\%$.

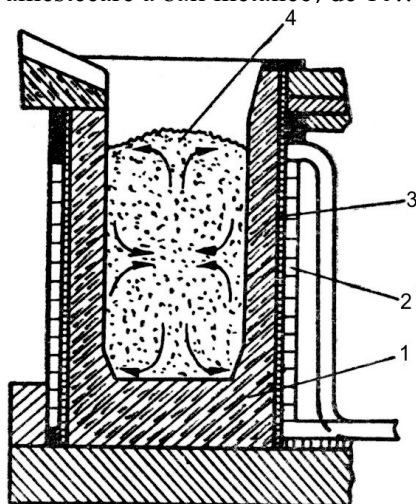


Fig.2/F21. Schema de antrenare a particulelor de carbid în baia metalică de către curenții de inducție. 1 – căptușeală refractară granulară; 2 – spire de cupru (inductor) ; 3 – strat izolator de azbest; 4 – particule de carbid.

Pentru o marcă de fontă dată, gradul de desulfurare depinde de mărimea granulației carbidului, timpul de reacție, temperatura de început de reacție, natura căptușelii refractare, cantitatea de fontă ce se desulfurează etc.

Pentru o fontă dată, figura 3/F21 prezintă variația gradului de desulfurare cu cantitatea de carbid utilizată, în funcție de două tipuri de granulații – $0,3...0,7 \text{ mm}$ și $1...2 \text{ mm}$. Se observă că, pe măsură ce crește cantitatea de carbid adăugat (între limitele $0,4...1,4\%$ din fonta lichidă), crește și gradul de desulfurare iar pe măsură ce se mărește granulația de la $0,3...0,7 \text{ mm}$ la $1...2 \text{ mm}$, se mărește și gradul de desulfurare. Din figura 3/F21 se sesizează că la granulații mai mari de $1,4 \text{ mm}$ există tendința ca gradul de desulfurare să ajungă la valoarea maximă de 90% .

Figura 4/F21 prezintă variația gradului de desulfurare cu timpul de contact carbid-baie metalică, pentru o marcă de fontă dată. Se observă din această figură că după circa 5 min de reacție carbid-baie metalică, gradul de desulfurare atinge valoarea maximă pentru situația dată. Nu se recomandă prelungirea operației de desulfurare peste durata optimă de desulfurare corespunzătoare unei situații date deoarece există pericolul resulfurării băii metalice prin intermediul reacției chimice (21/F21).

Lipsa capacelor de la cuptoarele cu inducție accentuează procesul de resulfurare al băii metalice deoarece se mărește disponibilul de oxigen pentru reacția (21/F21).

La modul general, după 8...12 min de la introducerea carbidului în cuptor procesul de desulfurare a fontei lichide este neglijabil.

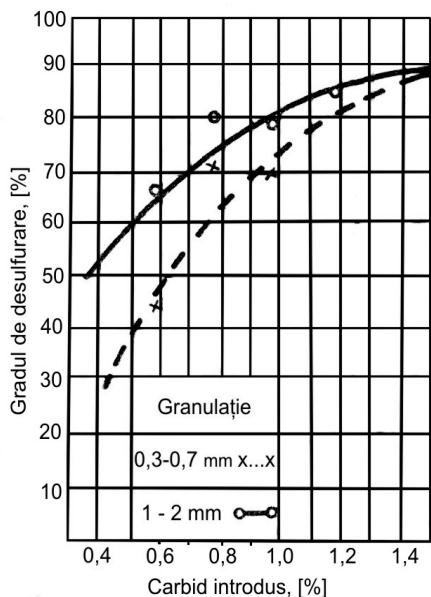


Fig.3/F21. Variația gradului de desulfurare cu cantitatea de carbid și mărimea granulației carbidului, pentru o fontă dată.

Se recomandă ca introducerea carbidului în cuptor să se realizeze atunci când temperatura băii metalice este 1.300...1.350⁰C iar desulfurarea să se termine atunci când temperatura băii metalice ajunge la valori cuprinse în intervalul 1.420...1.450⁰C. În perioada de timp stabilită pentru fonta respectivă trebuie ca creșterea temperaturii băii metalice să se facă lent – să existe o creștere liniară a acesteia. Pentru o fontă dată, în figura 5/F21 se prezintă variația randamentului de desulfurare cu temperatura de începere a reacției de desulfurare dintre carbid și baia metalică. Se observă din această figură că pentru temperaturi mai mari de 1.500⁰C randamentul de desulfurare nu mai crește. Cu cât temperatura fontei lichide ce se desulfurează este mai mare, cu atât există pericolul de sinterizare a carbidului.

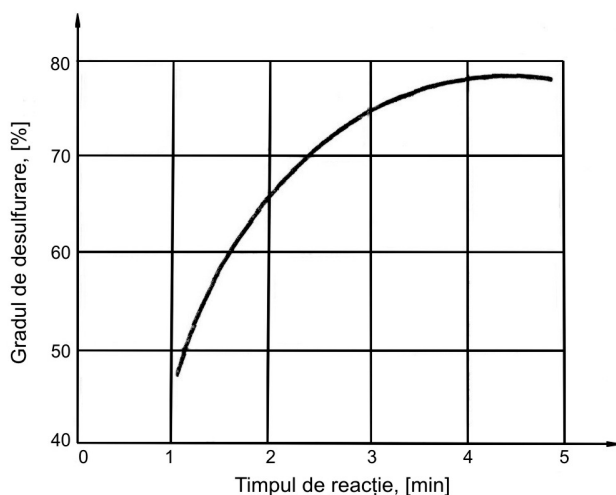


Fig.4/F21. Variația gradului de desulfurare în funcție de timpul de contact carbid-fontă lichidă, pentru o fontă dată.

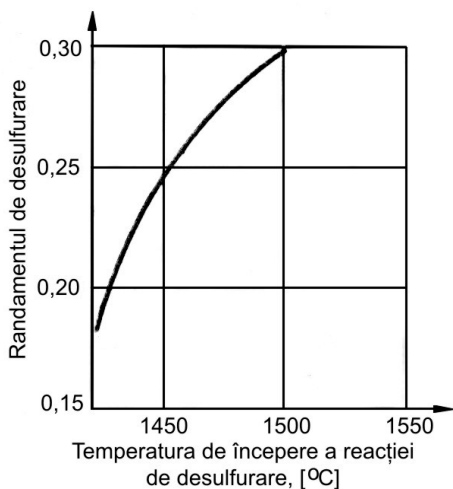


Fig.5/F21. Variația randamentului de desulfurare cu temperatura de începere a reacției de desulfurare a fontei lichide cu carbid.

Consumul de carbid pentru desulfurare se stabilește, de regulă, experimental, însă, se poate utiliza pentru stabilirea lui și calculul stoechiometric. De exemplu, pentru o fontă dată, dacă proporția de sulf scade de la 0,12% la 0,024...0,048%, consumul de carbid este de 1,7...2,0%; dacă proporția de sulf scade de la 0,1 la 0,02...0,04%, consumul de carbid este de 1,6...1,8%; dacă proporția de sulf scade de la 0,06% la 0,012...0,024%, consumul de carbid este de 1,4...1,5%.

Cantitatea de carbid necesară desulfurării se poate calcula, orientativ, cu relația (22/F21), [5].

$$q_{\text{carbid}} = \frac{\Delta S - 0,83[\%S]_i + 0,0722}{0,0036}, \quad (22/F21)$$

în care q_{carbid} reprezintă cantitatea de carbid necesară desulfurării, în kg/tonă; ΔS – proporția de sulf propusă să se elimine din fonta lichidă; $[\%S]_i$ – proporția de sulf din fonta inițială propusă să fie desulfurată.

De exemplu, dacă se propune micșorarea conținutului de sulf de la 0,1% la 0,04%, cantitatea de carbid necesară desulfurării, conform relației (22/F21) are valoarea (23/F21).

$$q_{\text{carbid}} = \frac{(0,1 - 0,04) - 0,83 \cdot 0,1 + 0,0722}{0,0036} = 13,6 \text{ kg/t} = \quad (23/F21)$$

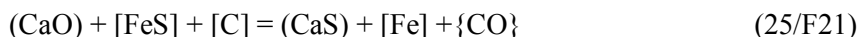
1,36 kg/100 kg de font

Procesul de desulfurare, conform [4], se desfășoară conform reacției chimice (24/F21).

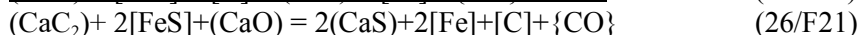
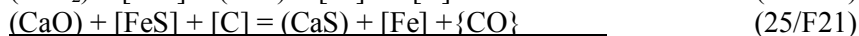


Ținând seama de reacția (24/F21), procesul de desulfurare cu carbid decurge și cu carburarea fontei.

Deoarece carbidul conține și CaO nu este exclusă nici reacția de desulfurare (25/F21).

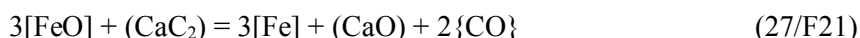


Deoarece reacțiile chimice au loc simultan, se estimează că se poate aplica legea lui Hess, obținându-se următorul proces de desulfurare – (26/F21).



Reacția chimică (26/F21) arată că procesul de desulfurare decurge, de asemenea, cu carburarea băii metalice.

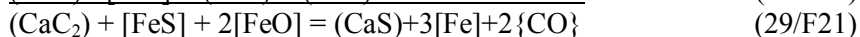
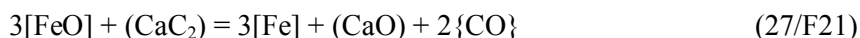
În cazul în care fonta ce se supune desulfurării este oxidată – conține mai mult FeO – la interfața granulelor de carbid cu fonta lichidă are loc reacția chimică (27/F21).



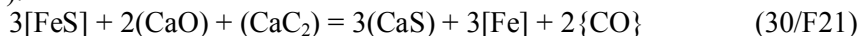
CaO rezultat din reacția (27/F21) interacționează cu FeS din baia metalică conform reacției chimice (28/F21).



Deoarece reacțiile chimice (27/F21) și (28/F21) fac parte din același mecanism de reacții, prin adunare, generează reacția chimică globală (29/F21) – într-o fontă oxidată excesiv.



Conform [3], desulfurarea cu carbid decurge și conform reacției chimice (30/F21).



Deoarece în practica industrială se utilizează cu preponderență cuptoare cu inducție căptușite acid, fiindcă există condiții de interacțiune a CaO din carbid sau a CaO rezultat din reacțiile mai sus prezentate cu SiO₂, liber, din căptușeala refractară acidă – în vederea evitării uzurii avansate a căptușelii refractare, în special în planul zgurii – se recomandă să se evacueze zgura din cuptor imediat după finalizarea desulfurării.

Desulfurarea cu cianamidă de calciu industrială

În practica industrială se utilizează cianamidă de calciu industrială ce conține 55...62% CaCN₂, 0,2...0,6% CaC₂, 20...25% CaO, 2...4% SiO₂, 2...6% (Al₂O₃ + Fe₂O₃) și 11...12% C. Conform [6], există și cianamidă de calciu industrială ce conține CaC₂N₂.

La temperatura de circa 1.400⁰C, cianamida de calciu se disociază conform reacției chimice (30/F21).



Calciul rezultat din reacția chimică (30/31) participă la desulfurarea fontei – reacția chimică (31/F21).



Carbonul disponibilizat prin reacția (30/F21), parțial, se dizolvă în baia metalică – carburează – și parțial, se oxidează cu oxigenul din atmosfera cuptorului și cu FeO din baia metalică, conform reacțiilor chimice (32/F21) și (33/F21).



Monooxidul de carbon rezultat din reacțiile (32/F21) și (33/F21) creează o atmosferă reducătoare, de protecție împotriva oxidării calciului de către oxigenul din atmosfera cuptorului.

Cianamida de calciu industrială se utilizează pentru desulfurarea și în amestec cu alte substanțe. Astfel, de exemplu, se utilizează amestecul format din 74...77% cianamidă de calciu industrială (ce conține CaCN_2), 18...20% silicat de sodiu și 5...6% fluorină. Acest amestec se utilizează în cantitate de 0,8...1 kg/100 kg de fontă lichidă, impunându-se o amestecare a băii metalice mai intensă și o menținere a băii metalice sub amestec timp de 25...30 min. Se recomandă, desulfurarea cu acest amestec în cuptorul electric cu încălzire prin inducție. Se apreciază că procesul de desulfurare propriu-zis începe la circa 5 min după ce s-a introdus în cuptor amestecul desulfurant.

Cianamida de calciu industrială, folosită ca atare sau sub formă de amestec este un material ecologic deoarece gazele ce se degajă în timpul desulfurării fontei lichide se încadrează între limitele impuse de normativele sanitare.

Desulfurarea cu zguri sintetice

Pentru desulfurarea fontei lichide se poate practica și menținerea fontei lichide, în cuptorul electric cu arc electric căptușit bazic, sub un strat de zgură sintetică ce face parte din sistemul $\text{CaO-Na}_2\text{O-CaF}_2$.

Elementul chimic Na se caracterizează și el cu afinitate chimică față de sulf mai mare decât a fierului, ceea ce conduce la desulfurarea fontei după reacția chimică (34/F21).



De asemenea, Na_2O este redus de către carbonul din baia metalică, natriul rezultat din reducere – (35/F21) – contribuind direct la desulfurarea fontei – (36/F21).





Desulfurarea fontei în cubilou

Desulfurarea fontei în cubilou este semnificativă dacă se utilizează căptușeală refractară de natură chimică bazică.

Desulfurarea în cubilou se realizează, în principal, prin intermediul CaO introdus în încărcătură sub formă de calcar. Calcarul conține CaCO₃ ce în zona de preîncălzire se disociază, obținându-se astfel CaO.

Reacția principală de desulfurare a fontei în cubilou este (10/F21), reacție chimică puternic endotermă, ceea ce face ca ea să se desfășoare în zona de oxidare și în creuzet.

În cazul cubilourilor acide, capacitatea de desulfurare este mică din cauza bazicității mici a zgurii – 0,4...1,0 (conținut mic de CaO și mare de FeO).

Măsurile complementare ce trebuie luate în cazul unui cubilou acid pentru ca fonta să se elaboreze cu un conținut minim de sulf sunt următoarele:

– consum mic de cocs (cocsul este sursa principală de sulfurare a fontei lichide);

– utilizarea de cocs cu un conținut mic de sulf;

– evitarea utilizării cocsului de granulație mică;

– elaborarea fontei atunci când aerul are umiditate mai mică. În caz contrar crește conținutul de CO₂ din gaze și, astfel, și conținutul de FeO din zgură;

– utilizarea de aer de combustie preîncălzit;

– utilizarea de aer de combustie îmbogățit în oxigen;

– utilizarea de debite de aer mici.

În cazul cubilourilor căptușite bazic se pot realiza zguri cu bazicitatea de 1,8...2,5, ceea ce asigură obținerea unor fonte cu un conținut de 0,02...0,04% sulf.

3. Modul de lucru

Desulfurarea se realizează în cuptorul electric cu încălzire prin inducție căptușit acid.

Se utilizează pentru desulfurare carbid cu mărimea granulației de 0,5...1,5 mm.

Carbidul se introduce în cuptor după ce s-a evacuat zgura și după ce fonta lichidă a fost supraîncălzită la temperatura de circa 1.300⁰C.

Desulfurarea este programată să se realizeze timp de 6 min.

Se prelevează probe pentru analiza conținutului de sulf din fonta lichidă, înainte de introducerea în cuptor a carbidului, și la intervale de 2 min după introducerea carbidului, adică după 2 min, 4 min și 6 min de la introducerea carbidului în cuptor.

Se analizează conținutul de sulf și de carbon din cele 4 probe prelevate.

4. Măsurile speciale de asigurare a securității muncii

Se respectă măsurile speciale de asigurare a securității muncii ce au fost

prezentate la lucrarea F9.

5. Interpretarea rezultatelor

Se trasează graficul de dependență a gradului de desulfurare cu timpul de reacție de desulfurare.

Se trag concluzii asupra fenomenului de carburare a băii metalice în timpul operației de desulfurare cu carbid.

6. Bibliografie

1. Vacu, S. ș.a. Elaborarea oțelurilor aliate. Editura Tehnică. Vol. I. București. 1980;
2. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;
3. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Editura Samia. Iași. 2003;
4. Cosneanu, C. Covacevici, V., Dumitrescu, V. și Vicenz, C. Elaborarea aliajelor de turnătorie în cuptoare electrice prin inducție. Editura Tehnică. București. 1974;
5. Ripoșan, I. și Chișamera, M. Tehnologia elaborării și turnării fontei. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1981;
6. Laplanche, H. Les fontes et leurs traitements thermiques. Pyc – Edition-Desforges, Paris. 1975.

F23. Influența vitezei de răcire asupra caracteristicilor fontei cu grafit lamelar

1. Scopul

Corelația dintre viteza de răcire, pe de o parte și structura metalografică împreună cu proprietățile mecanice de rezistență, pe de altă parte.

2. Considerații teoretice generale

Viteza de răcire reprezintă expresia transmiterii căldurii prin metalul lichid sau solid.

Viteza de răcire acționează asupra structurii fontei lichide, structurii primare și structurii secundare.

Acțiunea vitezei de răcire asupra structurii fontei lichide

Mărirea vitezei de răcire a fontei lichide determină următoarele implicații:

– se intensifică fluctuația atomilor elementelor chimice din compoziția chimică. Foarte importantă este intensificarea fluctuațiilor atomilor de carbon, ceea ce înseamnă mărirea probabilității de formare a germeilor omogeni de cristalizare. De exemplu, la o fontă cenușie hipoeutectică, se mărește probabilitatea ca mai multe grupări de atomi să îndeplinească condițiile energetice de formare a soluției solide de interstiție de carbon în Fe_γ , adică a austenitei primare, [1], [2];

– se mărește gradul de subrăcire la cristalizarea primară. Astfel, dacă se ia în considerație diagrama de echilibru Fe-C, primele formațiuni de solid nu vor mai apărea la temperatura lichidus corespunzătoare diagramei de echilibru, ci la o temperatură mai mică. Diferența dintre temperatura de echilibru și temperatura reală de început de solidificare se notează de regulă cu ΔT și reprezintă gradul de subrăcire. Prin mărirea gradului de subrăcire, temperaturile de transformare din diagrama de echilibru se deplasează spre valori mai mici iar punctele din respectiva diagramă de echilibru se deplasează înspre dreapta. În figura 1/F23 se prezintă influența vitezei de răcire asupra punctelor critice din diagrama Fe-C. Se observă din figura 1/F23 deplasarea curbelor de echilibru înspre temperaturi mai mici iar a punctelor critice înspre dreapta. O dată cu mărirea vitezei de răcire, în raport cu diagrama de echilibru, se mărește proporția de austenită primară de la valoarea corespunzătoare segmentului de dreaptă A' la valoarea corespunzătoare segmentului de dreaptă A*;

– se evită formarea incluziunilor nemetalice endogene. În fonta lichidă se află incluziuni nemetalice endogene greu fuzibile ce au, în general, formă globulară. Acestea iau naștere în urma desfășurării unor procese de forma (1/F23).



în care A și B reprezintă elemente chimice din baia metalică: $A_m B_n$ – compus

chimic (incluziune nemetalică endogenă). În timpul răcirii lente, reacția chimică (1/F23) are timp să se desfășoare de la stânga spre dreapta (în timpul încălzirii în stare lichidă – al supraîncălzirii – reacția chimică (1/F23) se desfășoară în sensul endoterm, adică de la dreapta spre stânga; incluziunile nemetalice endogene greu fuzibile se disociază iar produșii de disociere se dizolvă în matricea metalică lichidă). Dacă răcirea băii metalice se face cu viteză mare, înseamnă că reactanții din reacția chimică (1/F23) nu mai au timp să interacționeze chimic, adică reacția chimică (1/F23) nu se mai desfășoară de la stânga spre dreapta;

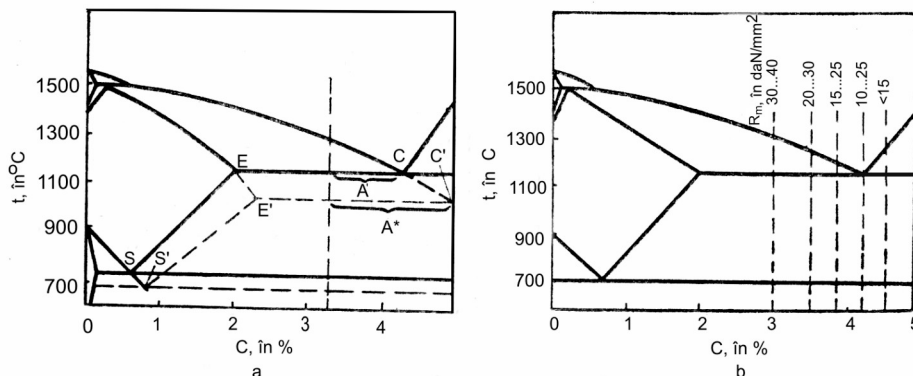


Fig.1/F23. Influența vitezei de răcire asupra punctelor critice din diagrama Fe–C: A' – proporția de austenită primară în condiții de echilibru; A* – proporția de austenită primară în condiții de viteză de răcire mărită; curbele corespunzătoare unei viteze de răcire mărite;

– se micșorează solubilitatea unor gaze în fonta lichidă. În timpul încălzirii în stare lichidă până la temperatura de echilibru a reacției chimice (2/F23) – temperatura de echilibru a acestei reacții chimice – conținutul de oxigen crește în fonta lichidă.



În figura (2/F23) se prezintă variația conținutului de oxigen din fonta lichidă, în funcție de temperatura acesteia și de gradul de supraîncălzire Δt_s , în absența și în prezența siliciului (2,5%). Răcirea rapidă a băii metalice prin introducerea în fonta lichidă de bucăți de deșuri de oțel sau prin evacuarea fontei în oale de turnare reci, fixează conținutul de oxigen prin modificarea fontei cu FeSi sau CaSi sub formă de SiO_2 , mai ales sub formă de tridimit, cu efect de germinare la cristalizarea primară. Cantitatea de modificador este de 0,1...0,6% etc.

Actiunea vitezei de răcire asupra structurii primare

Pe măsură ce crește viteza de răcire, cristalizarea are loc la subrăcirii tot mai mari iar fonta devine tot mai suprasaturată în carbon.

În principiu, prin mărirea vitezei de răcire, procesele de difuzie ce stau la baza cristalizării nu au posibilitatea să se desfășoare complet într-o perioadă

dată de timp.

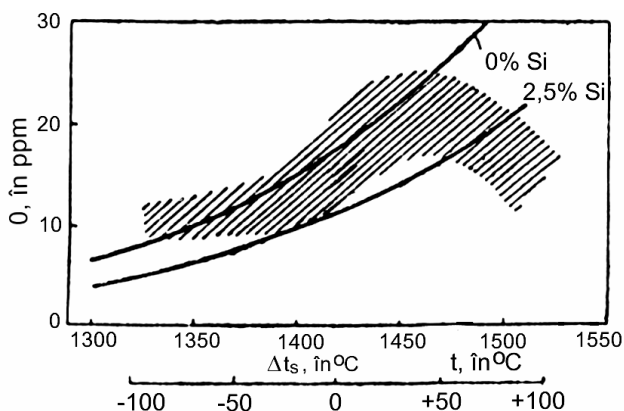


Fig. 2/F23. Variația conținutului de oxigen din fonta lichidă în funcție de temperatura acesteia și gradul de supraîncălzire, în absența și prezența siliciului: Δt_s – gradul de supraîncălzire; t – temperatura; O – simbolul oxigenului; ppm – părți per milion.

La cristalizarea primară cel mai mult afectat este grafitul deoarece creșterea lui implică difuzia atomilor de carbon pe distanțe mari. În schimb, formarea cementitei, în cazul fontelor albe – cementita liberă – implică un proces de interacțiune chimică, nu unul de difuzie pe distanțe mari.

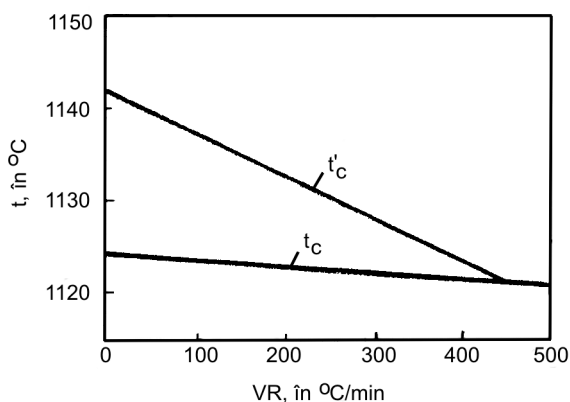


Fig. 3/F23. Influența vitezei de răcire asupra temperaturilor de transformare eutectică din sistemele stabil (t'_C) și metastabil (t_C); t – temperatura; VR – viteza de răcire

Temperatura la care cristalizează eutecticul austenită-grafit (celulele eutectice) – t'_C – în sistemul stabil Fe-C se micșorează accentuat pe măsură ce crește viteza de răcire – figura 3/F23 – cauza fiind frânarea difuziei carbonului prin matricea metalică lichidă. O dată cu mărirea vitezei de răcire se micșorează

și temperatura la care se separă eutecticul de austenită-cementită (coloniile eutectice) – t_c –, însă, într-o măsură mult mai mică decât t'_c . În figura 3/F23 intervalul dintre t'_c și t_c este intervalul de temperaturi în care se poate separa grafitul.

În cazul vitezelor de răcire foarte mari, t'_c și t_c din fiura 3/F23 devin egale. Acest lucru se întâmplă la viteze de răcire mai mari de circa $450^\circ\text{C}/\text{min}$. Prin urmare, în cazul vitezelor de răcire mai mari de $450^\circ\text{C}/\text{min}$ fonta cristalizează în sistemul metastabil – devine albă.

O dată cu mărirea vitezei de răcire, curbele de răcire își schimbă forma, așa încât, de exemplu, începutul și finalul cristalizării eutectice se află în apropierea și sub temperatura la care se formează eutecticul austenită-grafit și deasupra temperaturii la care se formează autecticul austenită-cementită – pentru viteze de răcire mici – sau începutul și finalul cristalizării eutectice se află sub temperatura la care se formează autecticul austenită-cementită – pentru viteze de răcire mari (figura4/F23).

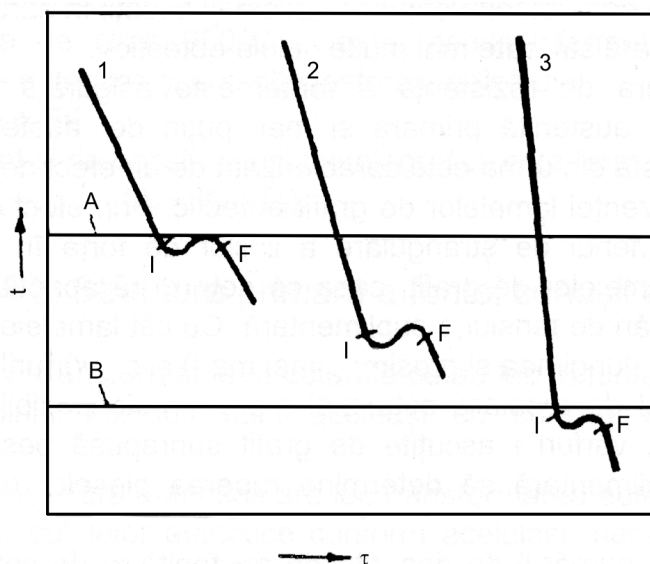


Fig. 4/F23. Influența vitezei de răcire asupra curbelor de răcire 1,2 și 3 (viteza de răcire crește de la curba 1 la curba 2 și apoi la curba 3); A – temperatura sub care se formează eutecticul austenită-grafit; B – temperatura sub care se formează autecticul austenită-cementită; I – începutul transformării eutectice; F – finalul transformării eutectice; t – temperatura; τ – timpul.

Pe secțiunea unei probe până cu vârful ascuțit – figura 5/F23.a –, [3], în cazul fără atac cu reactiv chimic metalografic, se observă că în zona vârfului probei până fonda este albă – lipsește grafitul. În zona groasă a probei până fonda este cenușie – se observă grafit de diverse forme, adică de tipul A, B și D, forme de grafit prezentate în figura 6/F23.

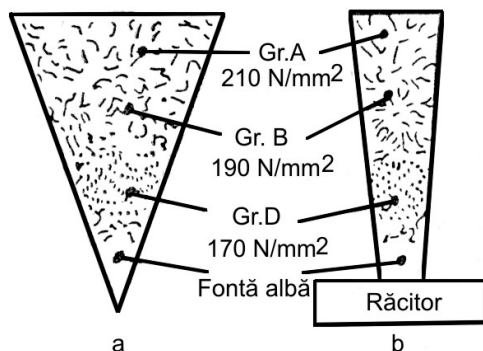


Figura 5/F23. Structura pe suprafața unor probe pană – cu vârful ascuțit (a) și cu vârful plat turnată pe răcitor (b) împreună cu rezistența la tracțiune, în cazul unei fonte cenușii eutectice (carbonul echivalent egal cu 4,3)

În figura 5/F23 se prezintă și structura pe secțiunea unei probe pană cu vârful plat, turnate pe răcitor, observându-se fontă albă în zona contactului probei pană cu răcitorul și fontă cenușie în părțile mai groase (ies în evidență aceleași forme lamelare de grafit ca și la proba pană ascuțită).

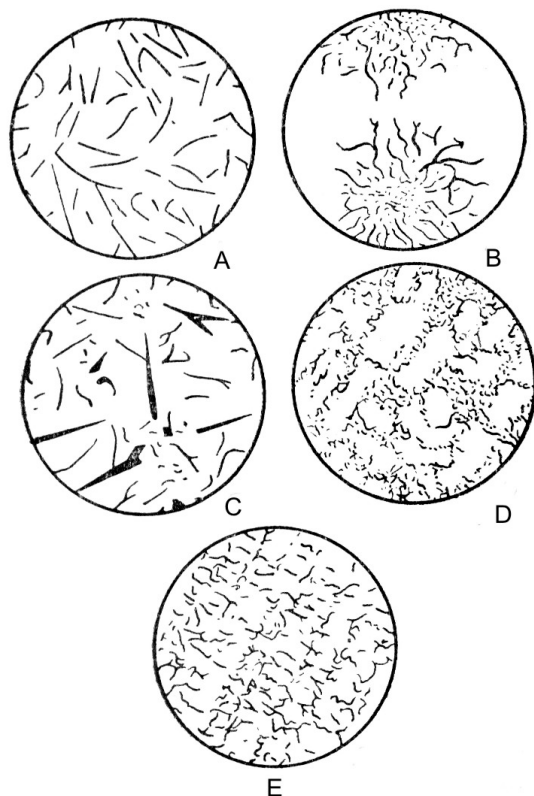


Fig.6/F23. Forme tipice de grafit lamelar în fontele cenușii: A – separări izolate, uniforme repartizate; b – separări sub formă de rozetă; C – separări specifice fontelor hipereutectice; D – separări sub formă de rețea, numit și de subrăcire; E – separări sub formă de rețea, specifice fontelor puternic hipoeutectice; mărirea 100:1.

Formele de grafit lamelar prezentate în figura 6/F23 pot fi întâlnite, la aceeași fontă, în funcție de mărimea vitezei de răcire. Astfel, o dată cu mărirea vitezei de răcire (o dată cu apropierea de vârful probei pană) se produce trecerea de la grafitul tip A la cel de tip B și apoi la cel de tip D, această particularitate determinând micșorarea rezistenței la tracțiune pe

măsură ce zonele din secțiunea probei pană se apropie de vârf. În figura 5/F23, pentru o fontă dată, în zona în care grafitul este de tip A, rezistența la tracțiune este de 210 N/mm², în zona în care grafitul este de tip B, rezistența la tracțiune este de 190 N/mm², pentru că în zona în care grafitul este de tip D, rezistența la tracțiune să fie de 170 N/mm².

Grafitul de tip D apare în cazul fontelor eutectice sau slab hipoeutectice, la subrăcirii mari – în cazul vitezelor de răcire mari.

Dimensiunile și structura eutecticelor depind într-o mare măsură de mărimea vitezei de răcire. Astfel, cu cât viteza de răcire este mai mare, cu atât subrăcirea crește și cu atât numărul de germeni ce pot crește în fonta lichidă este mai mare.

În cazul celulelor eutectice, mărimea vitezei de răcire conduce la întreruperea scheletului de grafit eutectic continuu așa cum s-ar fi obținut în cazul vitezelor mici de răcire (piese cu pereți groși) – figura 7/F23-a.

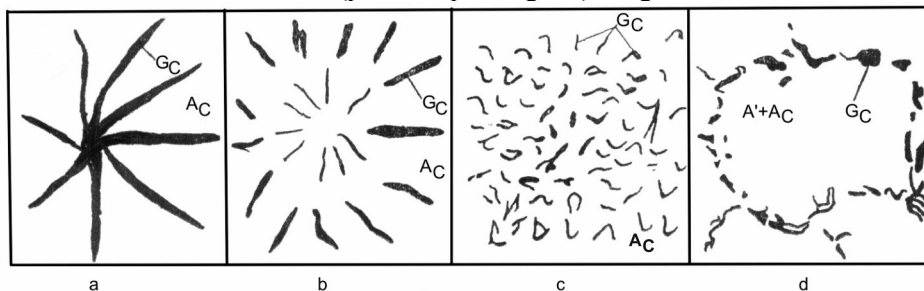


Fig. 7/F23. Schimbarea geometriei separărilor de grafit eutectic din celulele eutectice o dată cu mărirea vitezei de răcire, la fonta cu grafit lamelar. Viteza de răcire crește de la a la d: a și b – celule eutectice de tip I ce conțin grafit eutectic radial; c – celule eutectice de tipul al II-lea ce conțin parțial grafit eutectic radial și parțial grafit interdendritic; d – celule eutectice de tipul al III-lea ce conțin grafit eutectic orientat interdendritic; G_c – grafit eutectic; A_c – austenită eutectică; A' – austenită primară.

În cazul vitezelor de răcire mai mari, grafitul eutectic își păstrează distribuția radială, însă, scheletul continuu de grafit devine întrerupt – înspre exterior există lamele de grafit eutectic mai mari iar în interiorul celulelor eutectice separările de grafit eutectic sunt mai mici (mai fine), așa cum se observă în figura 7/F23.b.

Dacă se mărește viteza de răcire mai mult decât cea corespunzătoare aliniatului precedent, o parte din grafitul eutectic rămâne cu distribuția de formă radială, în timp ce cealaltă parte de grafit eutectic are o distribuție interdendritică. Amândouă tipurile de grafit sunt fine (figura 7/F23.c).

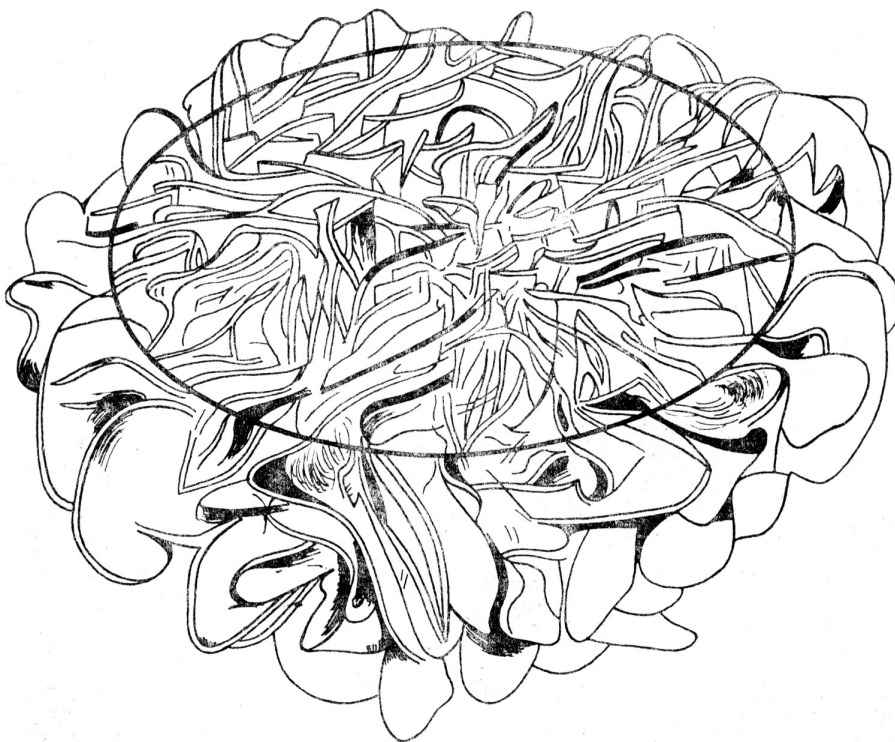
În cazul vitezelor de răcire și mai mari decât cele corespunzătoare aliniatului precedent, faza determinantă la cristalizare devine austenita eutectică ce se contopește cu dendritele de austenit primară, luând naștere agregate complexe de dimensiuni mari, constituite din austenită primară și austenită eutectică – figura 7/F23.d.

În figura 8/F23 se arată o reprezentare axonometrică a două celule eutectice, în varianta obținută cu viteză de răcire mică – a – în care grafitul eutectic este mai grosolan (de exemplu, grosime mai mare) și în varianta obținută cu viteză de răcire mare – b – în care grafitul eutectic este mai fin (de exemplu, grosime mai mică), [1].

Așa cum s-a precizat, o dată cu creșterea vitezei de răcire crește



a.



b.

Fig. 8/F23. Reprezentarea axonometrică a două celule eutectice – a scheletului de grafit eutectic – obținute în cazul a două viteze de răcire: a – viteză de răcire mică; b – viteză de răcire mare.

numărul de germeni de cristalizare și, prin urmare, și numărul de celule

eutectice. În figura 9/F23 se prezintă variația numărului de celule eutectice cu temperatura de turnare (cu cât temperatura de turnare este mai mare, cu atât forma de turnare se încălzește mai repede și viteza de răcire a fontei este mai mică) iar în figura 10/F23 se prezintă variația numărului de celule eutectice cu diametrul barei turnate, respectiv cu viteza de răcire, în cazul a două fonte date.

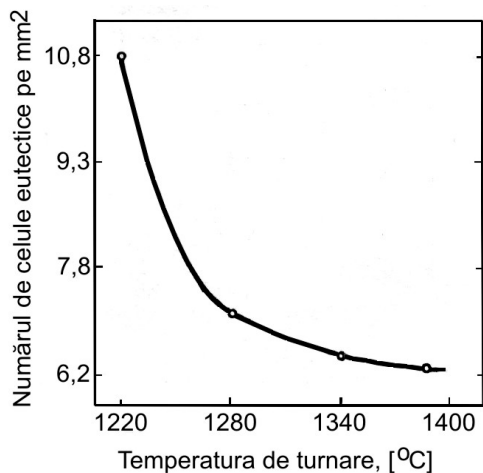


Fig.9/F23. Variația numărului de celule eutectice cu temperatura de turnare

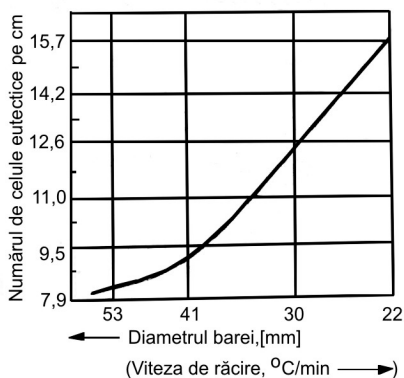


Fig.10/F23. Variația numărului de celule eutectice cu diametrul barei turnate (cu viteza de răcire).

Un număr mai mare de celule eutectice înseamnă distribuția incluziunilor nemetalice intercelulare într-un volum mai mic, separări de grafit eutectic mai fine, mărirea suprafeței de contact a celulelor eutectice, micșorarea gradului de ramificare a grafitului eutectic, ceea ce înseamnă un efect de creștere mai mic, toate acestea însemnând mărirea caracteristicilor mecanice de rezistență.

În cazul fontelor albe, o dată cu mărirea vitezei de răcire, în coloniile eutectice se sesizează mărirea numărului de cilindri de austenită eutectică iar numărul de colonii eutectice se mărește și el, ceea ce înseamnă micșorarea durtății și mărirea sensibilă a rezistenței la tracțiune.

La viteze mari de răcire crește și numărul de separări de grafit primar (la fontele cenușii) și de cementită primară (la fontele albe), în cazul fontelor hipereutectice. Creșterea numărului de dendrite de austenită primară (la fontele hipoeutectice) este foarte importantă deoarece austenita primară reprezintă scheletul de rezistență al fontei – consecința este mărirea suprafeței de contact a dendritelor, repartizarea incluziunilor nemetalice interdendritice într-un volum mare, adică mărirea caracteristicilor mecanice de rezistență.

Mărirea vitezei de răcire conduce și la creșterea lungimii dendritelor de austenită primară.

Actiunea vitezei de răcire asupra structurii secundare

În cazul fontelor cenușii nealiate, austenita primară și eutectică, se transformă la temperatura eutectoidă, în mod diferit, în funcție de mărirea

vitezei de răcire, adică în regimurile următoare:

- viteză de răcire mare: austenită → perlită;
- viteză de răcire moderată: austenită → perlită + ferită + grafit eutectoid;
- viteză de răcire mică: austenită → ferită + grafit eutectoid.

Având în vedere caracteristicile feritei și perlitei (ferita, de exemplu, are duritatea de 80 HB, alungirea de 35%, rezistența la tracțiune de 250 N/mm² și reziliența – KCU – de 200 N/cm², iar perlita, de exemplu, are duritatea de 200 HB, alungirea de 10% iar rezistența la tracțiune de 800...850 N/mm²), rezultă că, măbind viteza de răcire în intervalul eutectoid de temperaturi, se măresc și caracteristicile mecanice de rezistență.

La această lucrare se analizează doar vitezele de răcire ce determină obținerea constituienților metalografici de echilibru.

Prin mărirea vitezei de răcire se mărește gradul de dispersie al perlitei și, astfel, se mărește rezistența la tracțiune a acesteia.

Influența vitezei de răcire asupra structurii pereților pieselor

Creșterea grosimii de perete înseamnă micșorarea vitezei de răcire și are următoarele consecințe (figura 11/F23):

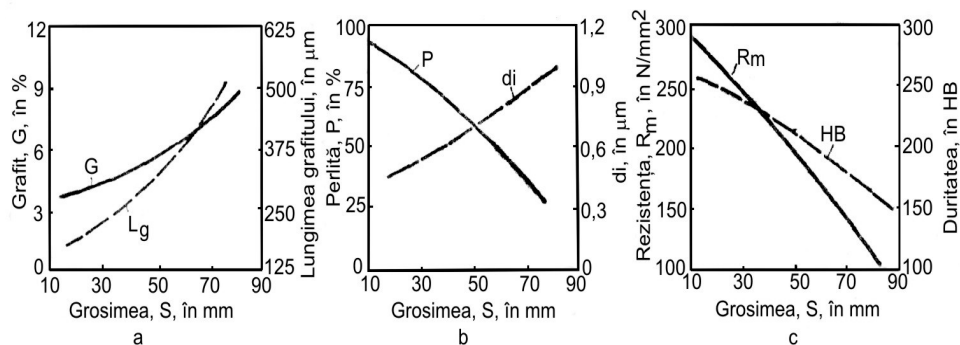


Fig. 11/F23. Influența grosimii de perete asupra caracteristicilor grafitului, masei metalice de bază și a unor caracteristici mecanice pentru o fontă dată; d_i – distanța dintre lamelele de ferită și cementită ale perlitei; R_m – rezistența la tracțiune; L_g – lungimea lamelelor de grafit.

- mărirea cantității de grafit – curba G din figura 11/F23.a;
- mărirea lungimii lamelelor de grafit – curba L_g din figura 11/F23.a;
- micșorarea proporției de perlită – curba P din figura 11/F23.b;
- mărirea distanței dintre lamelele de ferită și cementită – curba d_i din figura 11/F23.b;
- micșorarea rezistenței la tracțiune – curba R_m din figura 11/F23.c;
- micșorarea durității – curba HB din figura 11/F23.c.

Viteza de răcire variază și pe grosimea unui perete al piesei, având în vedere că axa termică a peretelui se răcește cu o viteză mică, în timp ce periferia peretelui (partea în contact cu materialul formei) se răcește cu viteză mare.

Pentru o fontă dată, se prezintă în figura 12/F23 variația proporției de perlită, a lungimii separărilor de grafit, a rezistenței la tracțiune și a durtității, cu grosimea unui perete de piesă (pentru o probă cu diametrul de 100 mm). Se observă că la periferia peretelui proporția de perlită, rezistența la tracțiune și durtitatea sunt mai mari decât în zona axei termice iar lungimea separărilor de grafit (a lamelelor) este mai mică decât în zona centrală a peretelui.

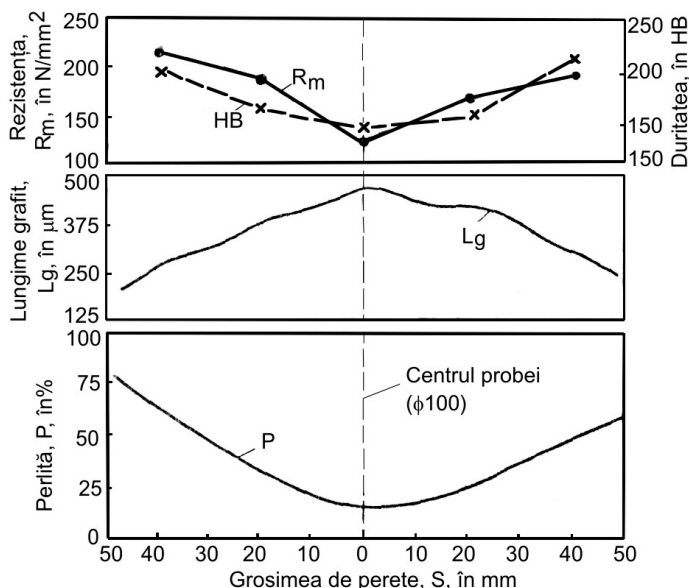


Fig. 12/F23. Variația pe grosimea unui perete de piesă a cantității de perlită, lungimii separărilor de grafit, rezistenței la tracțiune și durtității, pentru o fontă dată și un perete de formă circulară, cu diametrul de 100 mm. Simbolurile au aceeași semnificație ca în figura 11/F23

Variația caracteristicilor mecanice de rezistență pe grosimea unui perete de piesă se numește anizotropia proprietăților. Sensibilitatea fontelor la variația vitezei de răcire este apreciată prin intermediul coeficientului de cvasiizotropie. Coeficientul de cvasiizotropie se calculează pentru fiecare proprietate în parte. De exemplu, pentru rezistența la tracțiune, coeficientul de cvasiizotropie are valoarea de 0,2...0,75 pentru fonta cenușie cu grafit lamelar, are valoarea de 0,05...0,15 pentru fonta cu grafit nodular și are valoarea de 0,02...0,07 pentru oțelul turnat. Valorile coeficientului de cvasiizotropie menționate anterior arată că fonta cenușie cu grafit lamelar este cea mai susceptibilă la variația proprietăților mecanice pe grosimea peretilor.

Factorii ce variază viteza de răcire

Viteza de răcire poate fi variată prin acțiunea următorilor factori:

- grosimea de perete a piesei. La creșterea grosimii de perete a piesei scade viteza de răcire;
- proprietățile termofizice ale formei. Constantele termofizice ale formei ce determină viteza de răcire a pieselor turnate sunt următoarele: conductibilitatea termică, căldura specifică, greutatea specifică a materialului

formeii, coeficientul de acumulare a căldurii etc. Turnarea în forme metalice asigură o viteză de răcire mare și urmărește două aspecte distincte, respectiv finisarea structurii și obținerea de piese cu crustă dură (în primul caz se urmărește finisarea masei metalice de bază și a grafitului, acționându-se prin încălzirea formelor metalice, utilizarea straturilor de acoperire pentru suprafața cavității formeii, reducerea la minimum a timpului în care piesele stau în forma metalică după solidificare, micșorarea grosimii de perete a formelor metalice etc., iar în al doilea caz se urmărește acționarea în sensul invers al modalităților de intervenție anterioare);

– temperatura de turnare. Mărirea temperaturii de turnare determină micșorarea vitezei de răcire;

– viteza de turnare. Mărirea vitezei de turnare conduce la creșterea vitezei de umplere a formeii, prin aceasta, la cedarea de mai multă căldură formeii, și, astfel, la micșorarea vitezei de răcire.

Anomalii structurale generate de viteza de răcire mare

În anumite condiții de răcire – viteza mărită – în zona de fontă peștrită, pe lângă perlită, cementită și grafit, apare și ferita.

În condiții de răcire cu viteză mare, se obține grafit interdendritic de tipul D (de subrăcire) și din cauza grafitului foarte fin interdendritic, la transformarea eutectoidă este favorizată difuzia carbonului între separările fine de grafit și foarte apropiate între ele, astfel, pe lângă perlită, cementită și grafit, în structură, se întâlnește și ferită ce se separă din austenită la viteza de răcire mare.

La turnarea în forme metalice, în cazul vitezelor de răcire ce depășesc o valoare critică, în straturile superficiale ale pereților pieselor apare și ferită pe lângă perlită din cauza separării grafitului de tip D.

În unele cazuri se constată apariția cementitei libere în centrul pereților pieselor – nu la exteriorul lor cum ar trebui să fie normal – apreciindu-se că pe lângă alte cauze ar fi vorba și despre constituirea în formă metalică a stratului exterior solidificat mai devreme. Astfel, fonta din axa termică se răcește cu o viteză mai mare.

3. Modul de lucru

Se toarnă următoarea probă tehnologică – figura 13/F23.

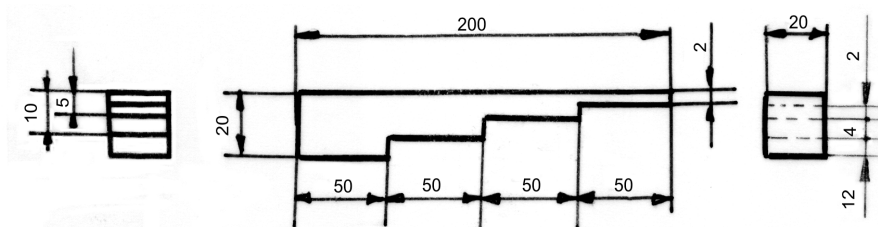


Fig. 13/F23. Probă tehnologică pentru studiul influenței vitezei de răcire asupra structurii secundare a fontei cenușii cu grafit lamelar.

Proba tehnologică se toarnă în amestec de formare crud.

Temperatura de turnare, măsurată cu pirometrul optic, se sugerează să fie 1.400°C.

Fonta se elaborează în cuptorul electric cu încălzire prin inducție și trebuie să fie cu grafit lamelar.

Se prelevează probe pentru analiza structurii metalografice în variantele cu și fără atac cu reactiv chimic metalografic.

Se consemnează structurile observate pentru cele 4 probe, respectiv cu grosimile de 20 mm, 10 mm, 5 mm și 2 mm.

4. Măsurile speciale de asigurare a securității muncii

Măsurile speciale de asigurare a securității muncii sunt cele consemnate la lucrarea F 9.

5. Interpretarea rezultatelor

Se face corelarea între structurile consemnate și variația vitezei de răcire.

6. Bibliografie

1. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;
2. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Editura Samia. Iași. 2003;
3. Ripoșan, I. și Chișamera, M. Tehnologia elaborării și turnării fontei. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1981.

C1. Măsuri de asigurare a securității muncii

1. Scopul

Având în vedere că unele lucrări se realizează la societăți comerciale și majoritatea lucrărilor impun procesarea de băi metalice, înainte de realizarea fiecărei lucrări se vor prelucra studenții toate măsurile ce privesc lucrarea care urmează să se efectueze, și, după aprofundarea acestora, se vor seminariza.

În cazul efectuării lucrărilor la societăți comerciale, studenții vor purta, în mod obligatoriu, căști de protecție și vor avea și avizul de acces în secțiile convenite al serviciului specializat de protecție a muncii al societății respective.

La toate lucrările ce se efectuează, studenții trebuie să aibă lucrarea C1 listată de la adresa de internet www.sim.tuiasi.ro

2. Măsuri generale

Factorii ce generează probleme sunt temperatura din preajma agregatelor de elaborare, a instalațiilor de preîncălzire și a instalațiilor de tratare a fontei în stare lichidă, praful și gazele ce se degajă în timpul procesării încărcăturilor și a metalului lichid și zgomotul provocat de utilajele implicate în fluxul tehnologic de elaborare a fontei.

Pentru evitarea arsurilor, se impune ca personalul ce deservește instalațiile ce radiază termic maximum $3...4 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ să poarte echipament de protecție (în cazul unei radiații termice mai mari de $4 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ se produc arsuri). Impotriva radiație termice, de exemplu, pe platforma de lucru a cuptorului electric cu încălzire prin inducție, se utilizează paravane metalice, prevăzute, eventual, cu vizoare din materiale transparente necesare în urma contactului cu stropi de metal. Ușile sau capacele utilajelor trebuie să fie deschise doar pentru asigurarea intervențiilor impuse de fluxul tehnologic.

Praful degajat, în special, în cazul elaborării în cubilou și în cuptorul electric cu încălzire prin arc electric, trebuie să fie în mod obligatoriu filtrat (de exemplu, la modul general, în cazul unei producții de 1 t piese turnate, se degajă 10...50 kg de praf). Materialele pulverulente trebuie manipulate prin transport containerizat, transport pneumatic etc. Particulele prăfoase incandescente trebuie stinse înainte de a intra în filtrele consacrate purificării gazelor ce le conțin.

Gazele ce rezultă din fluxul tehnologic de elaborare a fontei pot conține și componente toxice (în cazul obținerii unei tone de piese turnate, pot rezulta 150...300 kg de oxizi de carbon, 0,8...1,0 kg de oxizi de sulf, produse de descompunere a uleiurilor, produse de ardere a materialelor nemetalice, oxizi de azot etc.), ceea ce obligă tratarea acestora prin diverse mijloace, cum ar fi filtrarea, arderea monooxidului de carbon etc. Ventilarea spațiilor de lucru cu gaze toxice este obligatorie. Monooxidul de carbon este un gaz incolor, fără miros și fără gust. CO se combină cu hemoglobina din sânge rezultând un produs stabil – carboxihemoglobina –, astfel sângele pierzând capacitatea de a transporta și lega suficient oxigen (se produce intoxicarea – otrăvirea – cu

monooxid de carbon). Simptomele de intoxicare cu monooxid de carbon sunt următoarele: dureri puternice de cap, respirație grea, pierderea cunoștinței, convulsii, sufocare etc. CO este admis în spațiile în care are acces personalul de lucru la cel mult 30 mg/m³N. Locurile în care există gaze toxice trebuie semnalate vizual. În caz de intoxicare cu CO, accidentatul trebuie scos urgent la aer curat și supus respirației artificiale.

Micșorarea intensității zgomotelor produse de arcele electrice, generatoarele mecanice de frecvență, ventilatoarele de aer etc. se realizează prin izolarea fonică a fundațiilor, pereților și tavanele încăperilor în care sunt amplasate sursele de zgomot, utilizarea de către personalul de deservire a instalațiilor de căști prevăzute cu materiale izolatoare fonic etc.

3. Securitatea muncii în depozitele de materiale (baza de șarjare)

Principalele măsuri ce trebuie avute în vedere sunt următoarele:

- amplasarea depozitului pe un teren orizontal;
- depozitul trebuie să fie bine drenat și iluminat;
- existența căilor de acces ce să evite blocarea mijloacelor de transport și să asigure circulația fără riscuri de accidentare a personalului de deservire;
 - debitarea și sortarea se realizează în afara zonei de acțiune a podurilor rulante;
 - o atenție mare trebuie să se acorde pregătirii dimensionale a bucăților de fontă prin metoda sonetei, personalul muncitor ce deservește o asemenea instalație trebuind să fie instruit în mod corespunzător;
 - ancorarea în cârligul podurilor rulante se face numai de către personal instruit în acest scop;
 - se pun în funcțiune numai acele utilaje ce sunt dotate cu dispozitive de protecție pentru mecanismele aflate în mișcare și sunt în perfectă stare de funcționare;
 - revizia și reparația utilajelor se face numai după scoaterea acestora din funcțiune;
 - accesul pe podurile rulante și pe utilaje se face numai pe scări special amenajate;
 - iluminatul cabinei podurilor rulante precum și a zonelor ușor accesibile (pasarele, scări, cărucioare, părți mobile etc.) se face prin intermediul surselor alimentate la o tensiune de maximum 24 V;
 - ungerea roților benzilor transportoare se face numai în cazul când acestea sunt oprite sau în timpul mersului, în cazul în care dispozitivele de ungere sunt amplasate în afara zonei benzii de cauciuc;
 - în cazul în care se realizează manipulări de praf de cocs sau cărbune, trebuie luate măsuri de evitare a autoaprinderii prafului de cocs (temperatura de autoaprindere este de 600...700°C), cum ar fi evitarea depozitării o perioadă mare de timp a prafului de cocs, evitarea formării de canale de acces a aerului etc. De asemenea, trebuie să se evite pericolul de formare a exploziilor (praful de cocs, în cantitate de 17...24 g într-un metru cub

de aer, în circumstanțele existenței unei flăcări deschise, face explozie – explozia poate fi provocată și de o scânteie electrică, o țigară aprinsă, un chibrit aprins, flacăra de la sudura oxiacetilenică sau chiar de o scânteie provocată de lovirea a două bucăți de metal etc., dacă există 17...24 g de praf de cocs/m³ de aer) etc.

4. Securitatea muncii pentru evitarea accidentelor din cauza instalațiilor electrice

Electrocutarea se produce atunci când prin corpul omenesc circulă un curent electric a cărui intensitate depășește limita de 0,01 A, în cazul curentului electric alternativ, și limita de 0,05 A, în cazul curentului electric continuu.

Curentul electric poate avea influență asupra inimii (se produce fibrilația inimii – contractări și destinderi cu frecvență mare, adică de câteva sute de ori pe minut, ceea ce înseamnă stoparea funcționării inimii), sistemului nervos, cauzează arsuri sau chiar orbiri etc.

Măsurile principale de evitare a accidentării prin electrocutare sunt următoarele:

- izolarea dielectrică a părților metalice aflate sub tensiune;
- inaccessibilitatea atingerii întâmplătoare, în timpul lucrului, a părților metalice aflate sub tensiune;
- carcasarea de protecție;
- îngrădiri cu plase metalice sau table perforate;
- amplasări la înălțimi inaccesibile;
- folosirea tensiunilor mici (36 V, 24 V, 12 V sau mai mici) pentru aparatele de măsură și control portabile;
- protecția prin legare la pământ se aplică la instalațiile electrice cu tensiunea de lucru de până la 1 000 V ce funcționează cu punctul neutru al sursei de alimentare (transformator sau generator) izolat față de pământ, precum și la toate instalațiile electrice cu tensiuni mai mari de 1 000 V;
- protecția prin legare la conductorul de nul se aplică numai la instalațiile electrice cu punctul neutru al sursei de alimentare legat direct la pământ;
- deconectarea automată în cazul apariției unei tensiuni de atingere periculoase;
- deconectarea automată în cazul apariției unor scurgeri de curenți periculoase;
- egalizarea potențialelor;
- separarea de protecție prin intermediul unui transformator de separație;
- dotarea cu mijloace individuale de protecție;
- verificarea periodică a instalațiilor electrice;
- este interzis categoric lucrul pe linia de tensiune înainte de scoaterea de sub tensiune a respectivei linii;
- este interzisă folosirea de instalații electrice improvizate;

– nu se ating, sub nici un motiv, conductoarele (firele) căzute, chiar, la pământ etc.

5. Securitatea muncii la elaborarea fontei și oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție

Se prezintă, în continuare, măsurile mai importante ce trebuie avute în vedere cu scopul evitării apariției de accidente, acestea fiind următoarele:

– exploatarea cuptoarelor cu inducție se încredințează numai persoanelor instruite, pregătite profesional și autorizate care au îndeplinit vârsta de 18 ani;

– este interzisă intrarea persoanelor străine în incintele în care se află instalațiile de alimentare electrică a cuptorului, accesul fiind permis numai personalului care deservește aceste instalații;

– în timpul funcționării cuptorului este interzis a se efectua reparațiile la tabloul de comandă de pe platforma de lucru. În cazul apariției unei defecțiuni în timpul funcționării cuptorului, tabloul de comandă se va deconecta de la rețeaua de alimentare după care se vor lua măsurile necesare de remediere de către personalul instruit special în acest scop și autorizat să execute respectivele intervenții de specialitate;

– ștamparea masei refractare granulare se realizează de către personalul calificat pentru acest scop și instruit în legătură cu importanța calității căptușelii refractare asupra securității muncii și sistemului de producție;

– pentru operația de ștampare se vor utiliza numai materiale corespunzătoare din punct de vedere al compoziției chimice, granulometriei, caracteristicilor fizice etc., conform normelor în vigoare, prescripțiilor din proiect sau indicațiilor furnizorului;

– uscarea și sinterizarea masei refractare granulare se realizează în strictă conformitate cu prescripțiile din proiect sau ale furnizorului, respectându-se în mod riguros diagrama de încălzire – de tratament termic;

– remedierea defecțiunilor de la bateria de condensatoare se efectuează numai după deconectarea stației de la rețeaua de alimentare și descărcarea bateriilor de condensatoare prin intermediul unei rezistențe de descărcare transportabilă;

– se interzice descărcarea bateriei de condensatoare cu sârmă sau bare metalice;

– este interzisă cu desăvârșire părăsirea și lăsarea cuptorului și instalațiilor fără supraveghere din partea celor desemnați pentru aceasta, în timpul funcționării;

– prezența persoanelor străine pe platforma de lucru sau în apropierea creuzetului cuptorului în timpul basculării acestuia este interzisă;

– distrugerea podului format deasupra băii metalice din creuzet se face numai prin înclinarea cuptorului și menținerea lui în poziția corespunzătoare. Distrugerea podului cu corpuri metalice (bare) nu este permisă din cauza riscului de distrugere a căptușelii;

– groapa de colectare și incinta cuptorului se mențin în stare perfect

uscată iar pardoseala trebuie să fie în permanentă uscată, curată și lipsită de urme de apă;

- în cazul perforării creuzetului de metalul lichid, se deconectează cuptorul de la rețeaua electrică iar baia metalică se toarnă în oale de avarie în timpul cel mai mic, prin bascularea cuptorului;

- este interzisă turnarea fontei în groapa de colectare deoarece există pericolul prezenței apei reziduale în aceasta;

- pentru mărirea gradului de siguranță în exploatarea cuptorului, se verifică periodic, conform notei tehnice, starea căptușelii refractare;

- anual, se controlează cilindrii de basculare ai cuptorului pentru a se constata eventualele acumulări de aer, luându-se imediat măsuri pentru evacuarea acestuia;

- pentru a se preveni formarea câmpurilor electromagnetice, peretele cuptorului și toate conductoarele de alimentare se ecranează în mod corespunzător;

- din 6 în 6 luni se controlează instalația de răcire cu apă iar impuritățile depuse pe pereții elementelor răcite vor fi eliminate;

- în cazul în care desulfurarea băii metalice se realizează cu carbid, acesta trebuie să fie foarte bine uscat;

- cuptoarele alimentate de la condensatoarele convertizorului de frecvență trebuie să aibă inductorul în așa fel amplasat încât să nu se permită atingerea accidentală a lui;

- în momentul întreruperii accidentale a alimentării cu apă a bobinei inductoare, sistemul de deconectare automată a tensiunii de alimentare trebuie să funcționeze perfect;

- este interzisă atingerea materialului topit cu scule neizolate și mânăuirea sculelor fără mănuși electroizolante;

- conectarea condensatoarelor sub tensiune pentru reglarea frecvenței în timpul topirii este permisă numai prin separatori comandați de la distanță;

- electricianul de serviciu, în timpul evacuării fontei din cuptor, trebuie să fie prezent lângă cuptor, iar în timpul topirii trebuie să fie ușor de găsit;

- pentru eliminarea gazelor produse în cuptor, acesta este prevăzut cu instalație de ventilație locală;

- cuptorul trebuie prevăzut cu sistem dublu de răcire a inductorului, generatorului de frecvență și bateriei de condensatoare, dintre care unul este manual, pentru intervenție în caz de întrerupere a alimentării cu tensiune;

- cuptoarele cu creuzet trebuie să fie prevăzute cu capace rabatabile ce vor fi deschise numai în timpul încărcării cuptorului sau atunci când se prelevează probe, [213];

- cuptoarele trebuie să fie prevăzute cu dispozitive ce să nu permită bascularea cuptorului fără scoaterea de sub tensiune a bobinei inductoare;

- furtunurile pentru apa de răcire trebuie să fie prevăzute la capete cu inele metalice legate la pământ, [214];

- la pornirea cuptorului după o întrerupere de durată, la punerea în

funcțiune a unui cuptor nou sau după reparații, la inductor se verifică starea izolației și se măsoară rezistența acesteia cu un megohmmetru de 1 000 V. Rezistența de izolație trebuie să fie mai mare de 100 MΩ. Se verifică consolidarea spirelor și, dacă este cazul, se curăță bobina de praf și umezeală prin suflare de aer comprimat;

- presiunea apei de răcire trebuie să fie de 4...7 atmosfere;
- dacă respectivul cuptor nu are reglare automată a factorului de putere, se urmărește indicația «cosfimetrului» și se conectează, dacă factorul de putere este inductiv, sau se deconectează, dacă factorul de putere este capacitiv, un număr de condensatoare, pentru a se avea un factor de putere cât mai apropiat de valoarea unu;

- în cazul în care creuzetul se goleşte prin basculare, eliminarea resturilor de zgură sau de metal se realizează, de pe jghebul de evacuare, pereți și fund, în timp ce acestea sunt incandescente;

- dacă la cuptoarele de capacitate mare se observă defecte mari în mai multe locuri, căptușeala refractară granulară se reface cu ajutorul unui șablon metalic, între pereții vechi și șablon ștampându-se masa refractară granulară în straturi succesive, în mod similar cazului de confecționare a unui creuzet nou. Uscarea sau sinterizarea se realizează după aceleași reguli ca la uscarea sau sinterizarea creuzetului nou;

- dacă se constată supraîncălziri locale ale căptușelii, înroșirea acesteia în exterior sau scurtcircuite între spire, cuptorul trebuie deconectat imediat și apoi golit cu scopul remedierii defectelor, [211];

- în timpul încărcării mecanizate cu benă, nu este permisă staționarea în jurul cuptorului, deoarece există pericolul desprinderii și căderii bucăților metalice la ridicarea benei;

- materialele adăugate în cuptor după formarea topiturii nu trebuie să conțină uleiuri, emulsii etc., înainte de adăugare trebuind să fie uscate și preîncălzite cu scopul prevenirii împrăscării cu metal lichid;

- nu este permisă adăugarea materialelor de la înălțime mare sau lovirea căptușelii refractare în timpul introducerii acestora etc.

6. Securitatea muncii la elaborarea fontei și oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric

În mare parte, măsurile de asigurare a securității muncii sunt comune cu cele întâlnite la paragraful 5.4. În plus, se subliniază și următoarele măsuri:

- mantaua metalică a cuptorului și plăcile platformei de lucru trebuie să fie legate la pământ;

- părțile cuptoarelor ce se află sub tensiune trebuie să fie vopsite în culoare roșie și să fie prevăzute cu săgeți și inscripții contra atingerilor;

- încărcarea manuală expune personalul la radiații termice puternice și eforturi fizice mari;

- manevrarea ușii de lucru a cuptorului trebuie să se facă mecanizat;

- cu scopul reducerii nivelului de zgomot în timpul topirii trebuie să se ia măsuri de stabilizare a arcului electric în cât mai scurt timp;

- pentru a proteja personalul de lucru de radiația termică puternică a zgurii și a incintei cuptorului în momentul în care este eliminată zgura prin ușa de lucru, se folosește un paravan de protecție căptușit cu plăci de azbest;
- după evacuarea zgurii lichide din cuptor în vagonet sau cochilă, aceasta se acoperă cu bauxită cu scopul accelerării solidificării și micșorării intensității radiațiilor termice;
- ușa cuptorului este deschisă doar atât timp cât se fac intervenții asupra băii metalice;
- se acordă o mare atenție sortării materialelor ce urmează a fi introduse în cuptor și ce ar exploda, așa cum ar fi proiectile, focoase, butelii, recipiente cu lichid inflamabil, vase închise etc. (asemenea materiale metalice, înainte de a fi utilizate, sunt verificate de pirotehnicieni);
- înclinarea cuptorului în vederea evacuării se realizează cu viteză mică, evitându-se mișcările bruște ce pot provoca accidente grave;
- operația de prelungire a electrozilor sau de schimbare a acestora se execută, în mod obligatoriu cu cuptorul deconectat de la rețeaua electrică, [215];
- nu este admisă pornirea simultană a două cuptoare din cauza șocurilor mari de curent ce se produc în timpul topirii. Decalarea funcționării este deosebit de importantă în cazul cuptoarelor de capacitate medie și mare;
- înainte de conectarea transformatorului trebuie verificat dacă nu există pe cuptor obiecte metalice ce să producă scurt circuit;
- în cazul întreruperii apei de răcire a inelelor de etanșare, cuptorul trebuie deconectat de la rețeaua electrică. La revenirea apei de răcire, aceasta nu trebuie să curgă în mod continuu, ci în mod intermitent, prin deschiderea și închiderea robinetului, până la răcirea completă a inelelor;
- personalul ce deservește cuptorul trebuie să poarte echipament de protecție;
- alimentarea electrică a cuptoarelor trebuie făcută printr-un transformator ce să separe galvanic circuitul de alimentare al electrozilor de circuitul legat la rețeaua electrică;
- conductoarele de alimentare a electrozilor împreună cu piesele de susținere trebuie să fie îngrădite împotriva atingerilor. Gardul de plasă de sârmă, cu o înălțime 2,3 m, trebuie să fie amplasat la o distanță pe orizontală de minimum un metru de poziția cea mai apropiată posibilă a conductoarelor față de gard;
- tensiunea maximă posibilă între electrozi nu trebuie să depășească valoarea de 250 V;
- pupitrul de comandă se amplasează într-o încăpere specială în care are acces numai personalul special instruit pentru manevrarea cuptorului;
- înainte de bascularea cuptorului se verifică dacă mecanismul de basculare nu riscă să fie blocat de bucăți metalice;
- construcției metalice a cuptorului i se va asigura o continuitate electrică realizată prin sudură. Construcția metalică a cuptorului trebuie folosită drept conductor de protecție;
- în cazul introducerii uneltelor în cuptor, scula metalică se sprijină de o bară metalică orizontală, fixată de construcția metalică a cuptorului și legată

electric de construcția metalică a cuptorului. Personalul care introduce o sculă în cuptor trebuie să poarte mănuși electroizolante;

- construcția metalică a cuptorului se leagă prin sudură, în cel puțin două locuri, de instalația de legare la pământ a halei, la care trebuie să fie racordate toate echipamentele electrice aferente cuptorului, inclusiv transformatorului de alimentare;

- mânerul pentru reglarea manuală a electrozilor se leagă electric la pământ și trebuie acoperit cu un material electroizolant. Platforma, pe care stă personalul care manipulează mânerul pentru reglarea electrozilor, trebuie să fie izolată etc.

7. Securitatea muncii la elaborarea fontei în cubilou

Principalele măsuri de asigurare a securității muncii sunt următoarele:

- se preferă prevederea cubilourilor cu parascânteie umede și este obligatorie prevederea cubilourilor cu parascânteie;

- în scopul preîntâmpinării exploziilor la gurile de aer, se prevăd dispozitive de comunicație între gurile de aer și atmosferă;

- pe conducta de aer dintre ventilatoare și cutia de aer trebuie să existe un dispozitiv automat pentru semnalizarea încetării funcționării ventilatoarelor și o supapă ce să evite pătrunderea gazelor de cubilou pe conductă, în timpul opririi neprevăzute a ventilatoarelor. Supapa se amplasează la capătul conductei de aer dinspre cubilou și se montează în așa fel încât să intre în funcțiune automat;

- în cazul în care gurile de aer sunt amplasate mai sus de 1,5 m de nivelul pardoselei, în jurul cubiloului se amenajează o platformă cu o înălțime de minimum 0,8 m și prevăzută cu balustradă;

- mărirea presiunii aerului la valoarea de regim se face treptat prin deschiderea progresivă a vanei;

- în cazul în care cubiloul funcționează cu cocs și gaz metan, se impune ca instalația de ardere a gazului metan să fie prevăzută cu sisteme de protecție împotriva pericolului de explozie;

- pentru supravegherea mersului cubiloului și pentru desfundarea gurilor de aer, fiecare gură de aer este prevăzută cu o ramă rabatabilă cu vizor;

- încărcarea cubiloului se preferă să se facă mecanizat (în cazul cubilourilor noi, încărcarea mecanizată este obligatorie);

- nu se depășește sarcina maximă ce poate fi suportată de platforma de încărcare, sarcina maximă fiind afișată vizibil;

- platforma de încărcare trebuie să aibă o suprafață de minimum 8 m², să nu fie alunecoasă, să fie executată din material ignifug, să aibă balustradă, să aibă la margine o bordură cu înălțimea de 10 mm și să fie prevăzută cu scară de acces ce are balustradă și trepte nealunecoase;

- în fața cubilourilor se rezervă ca loc de lucru un teren cu lățimea de minimum 5 m, pardosit de regulă cu plăci de fontă, întreținut în stare perfect uscată etc.;

- mantaua metalică a cubiloului trebuie să aibă toate îmbinările

etanșe;

- în cazul încălzirii mantalei până la culoarea roșie, se oprește cubiloul imediat și se răcește porțiunea supraîncălzită prin suflare cu aer până la descărcarea cubiloului (se interzice răcirea prin stropire cu apă);

- cubilourile răcite cu apă se prevăd cu două surse de alimentare cu apă. La aceste cubilouri se controlează zilnic etanșeitatea mantalei de răcire, a conductelor de aducțiune și a conductelor de evacuare a apei (neetanșeitățile se remediază imediat);

- fundurile cubilourilor trebuie să fie prevăzute cu orificii necesare evacuării vaporilor de apă ce se degajă în timpul uscării vetrei după căptușire;

- înainte de evacuarea fontei, jghebul cubiloului se încălzește la temperatura de minimum 200°C și apoi este acoperit, până la evacuare, cu o placă de oțel sau de azbest. Înainte de evacuare, se pregătesc cel puțin două dopuri de obturare a orificiului de evacuare a fontei montate pe mânere speciale;

- staționarea sau trecerea pe sub cubilou în timpul funcționării lui este interzisă;

- descărcarea cubiloului (prăbușirea vetrei) se realizează numai de către personalul instruit special în acest scop, avându-se în vedere și instalarea de paravane de protecție împotriva stropilor de zgură, metal incandescent și, de asemenea, cocs și fondant incandescenti;

- pentru a se micșora concentrația de monoxid de carbon de pe platforma de încărcare, se introduce aer proaspăt pe aceasta sau se prevede o perdea de aer deasupra gurii de încărcare;

- în cazul blocării încărcăturii în cuva cubiloului, deblocarea se realizează de la distanță, prin intermediul unor rânghi cu lungimea de minimum 2,5 m. Deblocarea încărcăturii poate produce refularea gazelor de cubilou prin orificiile vizoarelor de la gurile de aer, ceea ce impune, ca în timpul deblocării încărcăturii, să se evacueze personalul din jurul cubiloului iar insuflarea aerului de combustie să fie întreruptă;

- la evacuarea fontei, orificiul de evacuare trebuie să fie dezobturat complet, urmărindu-se obținerea unui orificiu cu secțiune transversală circulară ce să asigure curgerea fontei într-un jet uniform, fără stropi;

- personalul ce deservește cubiloul trebuie să poarte obligatoriu echipament de protecție.